กรมทางหลวง

# คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

สำนักสำรวจและออกแบบ
กรมทางหลวง

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **1. บทนำ** | 1 |
| 1.1. ความเป็นมาและเหตุผลความจำเป็น | 1 |
| 1.2. วัตถุประสงค์ | 3 |
| 1.3. ขอบเขตของคู่มือ | 3 |
| **2. ระบบระบายน้ำในงานทางหลวง** | 5 |
| 2.1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำในงานทางหลวง | 6 |
| 2.1.1. อุทกวิทยาและชลศาสตร์ | 6 |
| 2.1.1.1. ลุ่มน้ำ (Watershed or Catchment) | 6 |
| 2.1.1.2. ฝน (Rain) | 13 |
| 2.1.1.3. น้ำท่า (Stream flow or Runoff) | 21 |
| 2.1.1.4. วิธีการคำนวณ อัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า | 24 |
| 1) วิธี Rational Formula | 26 |
| 2) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) | 36 |
| 3) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) โดยวิธีของ Snyder | 51 |
| 4) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค Regional Flood Frequency analysis สำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย | 56 |
| 2.1.1.5. ชลศาสตร์การไหล | 81 |
| 1) การไหลในรางเปิด | 81 |
| 2) การไหลผ่านท่อ | 85 |
| 3) การกำหนดความเร็วการไหลสูงสุดที่ไม่เกิดการกัดเซาะและตกตะกอน | 96 |
| 2.1.2. ภูมิประเทศและภูมิอากาศ | 98 |
| 2.1.3. ลักษณะทางธรณีวิทยา และการใช้พื้นที่ | 113 |

*หน้า*


2.2. ระบบระบายน้ำผิวดิน 121

2.2.1. ระบบระบายน้ำตามยาว ( Longitudinal Drainage ) 121

2.2.1.1. ข้อกำหนด สำหรับระบบระบายน้ำตามยาว 121

2.2.1.2. หลักการออกแบบระบบระบายน้ำตามยาว 124

2.2.1.3. ระบบระบายน้ำตามยาวในย่านชุมชน 126

2.2.1.4. Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูง 147

2.2.1.5. Interceptor บนลาดตัดเขา 151

2.2.1.6. ระบบระบายน้ำในเกาะกลางลักษณะต่างๆ 162

2.2.2. ระบบระบายน้ำตามขวาง ( Cross Drain ) 167

2.2.2.1. ทฤษฎีและข้อกำหนด สำหรับระบบระบายน้ำตามขวาง 167

2.2.2.2. ประเภทและรูปแบบทั่วไปของอาคารระบายน้ำตามขวาง 177

2.2.2.3. แนวทางและข้อแนะนำในการเลือกใช้รูปแบบและประเภทของอาคารระบายน้ำ 179

2.3. ระบบระบายน้ำใต้ดิน 189

2.3.1 ลักษณะความเสียหายจากน้ำใต้ดินต่องานทางหลวง 189

2.3.1.1 ความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทาง 191

2.3.1.2 ความเสียหายต่อคันทาง 200

2.3.2 การออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดิน 202

2.3.2.1 ชั้นระบายน้ำใต้ดิน (Drainage Layer หรือ Blanket) 204

2.3.2.2 ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain หรือ Underdrain) 213

2.3.2.3 การเจาะและวางท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal drain) 223

2.3.3 แนวทางการออกแบบและพิจารณาใช้งานระบบระบายน้ำใต้ดิน 226

2.4. ระบบระบายน้ำบนสะพาน ( Bridge Drainage) และทางลอด ( Underpass ) 229

2.4.1. ระบบระบายน้ำบนสะพาน 229

2.4.2. แนวความคิดและหลักการออกแบบระบายน้ำบนสะพาน 240

2.4.3. มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน 242

2.4.4. การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน 243

2.4.5. ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน 266

*หน้า*


2.4.6. ระบบระบายน้ำในทางลอด 270

2.4.7. แนวความคิดและหลักการออกแบบระบายน้ำในทางลอด 273

2.4.8. มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด 273

2.4.9. การออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด 274

2.4.10. ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด 279

**3. การสำรวจข้อมูลเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทางหลวง** 293

3.1. รายละเอียดการสำรวจ 293

3.2. การสำรวจรายละเอียดช่องน้ำ (อ.1-01) และ (อ.1-02) 297

3.3. งานสำรวจน้ำใต้ดิน 303

**4. การออกแบบระบบระบายน้ำในงานทาง** 305

4.1 หลักเกณฑ์และข้อดี ข้อเสีย การเลือกใช้อาคารระบายน้ำ 306

4.2. ขั้นตอนการออกแบบอาคารระบายน้ำ 308

4.2.1. ระบบระบายน้ำตามแนวขวาง 308

4.2.2. การคำนวณออกแบบร่องระบายน้ำตามแนวยาว 332

4.3. ข้อพิจารณาในการออกแบบสะพานในเส้นทางภูเขา 346

**5. การออกแบบป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง** 353

5.1. ลักษณะและสาเหตุของการกัดเซาะ และการพังทลายในงานทางหลวงกรณีต่าง ๆ 353

5.1.1 น้ำกัดเซาะฐานเชิงลาด (Toe erosion) 358

5.1.2 น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด (Surface erosion) 359

5.1.3 น้ำล้นไหลกัดเซาะคันทาง (Erosion by overflow water) 360

5.1.4 น้ำกัดเซาะบริเวณคอสะพาน (Scouring) 361

5.2. เทคนิคและวิธีการในการป้องกันการกัดเซาะ 371

5.2.1 การทิ้งหินและการเรียงหินยาแนว 371

5.2.2 การดาดผิวหน้าด้วยคอนกรีต 373

5.2.2 การติดตั้งกล่อง Gabion และ Mattress 373

5.2.3 การทำระบบระบายน้ำผิวดิน 375

5.2.5 การใช้วัสดุคลุมดิน 376

5.2.5 การปลูกพืชคลุมดิน 376

5.3. แบบมาตรฐานสำหรับการป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง 378

**6. การออกแบบอาคารระบายน้ำโดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** 381

**7. ปัญหาน้ำท่วมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทางหลวง สาเหตุและแนวทางป้องกัน** 385

**เอกสารอ้างอิง** 401

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและเหตุผลความจำเป็น

เนื่องจากปัญหาอุทกภัยและปัญหาการระบายน้ำในงานทางหลวงเป็นประเด็นสำคัญระดับชาติที่เกิดขึ้นเป็นประจำเกือบทุกปี สร้างความเสียหายต่อทางหลวงเป็นอย่างมาก โดยสาเหตุของน้ำท่วมดังกล่าว เกิดจากหลายปัจจัย ได้แก่ การเกิดพายุฝนตกมากกว่าปกติ การตัดไม้ทำลายป่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ในที่ดิน การบุกรุกลำน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ การขยายตัวของพื้นที่ชุมชนเมืองโดยไม่มีการวางแผนในเรื่องระบบระบายน้ำที่เหมาะสม และอีกสาเหตุหนึ่งที่กล่าวถึงกันมากในปัจจุบัน คือ การก่อสร้างถนนขวางทางน้ำ ซึ่งหมายรวมถึงทางรถไฟ และคลองชลประทานด้วย กรมทางหลวงเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบในการก่อสร้างถนน ซึ่งเป็นโครงข่ายหลักของการคมนาคมทางบกทั่วประเทศ มักจะตกเป็นจำเลยของสังคมเสมอ ในฐานะเป็นผู้ก่อสร้างถนนขวางทางน้ำ เป็นเหตุให้เกิดน้ำท่วม ซึ่งข้อกล่าวหาดังกล่าวมีทั้งส่วนที่มีมูลความจริงและส่วนที่ไม่จริง กรมทางหลวงได้ติดตามตรวจสอบสาเหตุของน้ำท่วมและชี้แจงปัญหาในเรื่องดังกล่าวมาโดยตลอด โดยหลักการในการออกแบบและก่อสร้างถนนหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องมีแนวตัดขวางทางน้ำ แต่กรมทางหลวงก็ได้ออกแบบก่อสร้างระบบระบายน้ำและอาคารระบายน้ำให้มีพื้นที่ช่องเปิดสำหรับการระบายน้ำอย่างเพียงพอต่อการระบายน้ำที่เกิดจากฝนตกหนักสูงสุดในรอบปีของการออกแบบ (Return Period) เช่น 25 ปี หรือ 50 ปี เป็นต้น โดยการออกแบบดังกล่าวเป็นไปตามหลักการและทฤษฎีในการออกแบบระบบระบายน้ำในงานทาง (Highway Drainage) ซึ่งใช้กันเป็นสากล แต่เนื่องจากถนนส่วนหนึ่งมีอายุการใช้งานมาแล้วหลายสิบปี การเปลี่ยนแปลงไปของธรรมชาติ และการใช้ที่ดิน (Land Used) ของพื้นที่รับน้ำ การบุกรุกและถมที่ปิดขวางทางน้ำ เป็นเหตุให้ปริมาณและทางไหลของน้ำเปลี่ยนไป สะพานและอาคารระบายน้ำหลายแห่งที่เคยออกแบบไว้ให้มีช่องเปิดขนาดใหญ่ แต่ปัจจุบันกลายเป็นสะพานบก เพราะมีการขยายตัวของชุมชนด้านเหนือน้ำ ถมปิดขวางทางน้ำไม่สามารถไหลมาสู่อาคารระบายน้ำดังกล่าวได้ น้ำส่วนนี้ก็จะเกิดการท่วมขังและไหลไปทางอื่นบางครั้งก็ไหลไปสู่อาคารระบายน้ำที่เป็นท่อกลม หรือท่อเหลี่ยมที่ไม่ได้ออกแบบไว้เผื่อ อัตราการไหลของน้ำส่วนนี้ ก็จะทำให้อาคารระบายน้ำดังกล่าวไม่สามารถระบายน้ำได้อย่างเพียงพอ อาจทำให้เกิดน้ำท่วมทางได้ ดังจะเห็นได้จากข้อมูลน้ำท่วมที่เกิดจากอาคารระบายน้ำไม่เพียงพอ มักจะเกิดในสายทางที่มีอายุการใช้งานมานาน

แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้การออกแบบระบบระบายน้ำในงานทางหลวงที่ผ่านมา จะได้ดำเนินการตามหลักวิศวกรรมแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากปัจจุบันสภาพธรรมชาติ ภูมิประเทศ และภูมิอากาศ ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก ข้อมูลและหลักเกณฑ์บางอย่างที่เคยใช้ในการออกแบบ อาจไม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน นอกจากนั้นการพัฒนาทางด้านวิชาการและเทคโนโลยีใหม่ๆ ทางด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องอาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น และเพื่อให้หลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารระบายน้ำเป็นที่ยอมรับด้านวิชาการและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ระหว่างหน่วยงานราชการอื่นๆ จึงเป็นการสมควรที่จะได้มีการปรับปรุงหลักเกณฑ์ และข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ เพื่อเป็นองค์ความรู้ และคู่มือในการออกแบบงานระบายน้ำในงานทางหลวงต่อไป ซึ่งแนวคิดดังกล่าวสอดคล้องตามมาตรการในการแก้ปัญหา ถนนขวางทางน้ำที่ทำให้เกิดน้ำท่วมของรัฐบาล ซึ่งดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 โดยได้มติที่ประชุมหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เมื่อวันพุธที่ 30 สิงหาคม 2549 ณ ห้องประชุม 301 ตึกบัญชาการทำเนียบรัฐบาล ซึ่งมีอดีตรองนายกรัฐมนตรีในขณะนั้นเป็นประธาน มอบหมายให้กรมชลประทาน จัดการสัมมนา เรื่อง การกำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบอาคารระบายน้ำของถนนที่ตัดผ่านทางน้ำ โดยมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย กรมทรัพยากรน้ำ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น การรถไฟแห่งประเทศไทย และกรมชลประทาน เข้าร่วมสัมมนาเพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ การออกแบบอาคารระบายน้ำของถนนที่ตัดผ่านทางน้ำให้เป็นมาตรฐานเดียวกันของทุกหน่วยงาน ซึ่งกรมชลประทานได้ดำเนินการจัดสัมมนาเรื่องดังกล่าว เมื่อวันที่ 29 กันยายน 2549 ในการประชุมครั้งนั้น แต่ละหน่วยงานได้นำเสนอแนวทางในการดำเนินการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ดำเนินการอยู่ ของแต่ละหน่วยงาน แต่ยังไม่มีข้อสรุปหลักเกณฑ์ร่วมกัน กรมทางหลวงในฐานะเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเรื่องดังกล่าวโดยตรง จึงควรดำเนินการในเรื่องนี้ต่อไป เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว

ในขณะเดียวกัน ปัญหาการกัดเซาะพังทลายตามแนวทางหลวง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก็นับเป็นเรื่องสำคัญที่สร้างความเสียหาย และเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาทางหลวงเป็นอย่างมาก และมักจะเป็นปัญหาที่เกิดควบคู่ในช่วงเดียวกันกับฝนตกหนัก และน้ำท่วมอยู่เสมอ ซึ่งลักษณะและสาเหตุของการกัดเซาะพังทลายมีหลายรูปแบบ เทคนิคและวิธีการใหม่ๆ ในการแก้ไขและป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทางหลวง ปัจจุบันมีการพัฒนาไปมาก เป็นการสมควรที่จะได้มีการพิจารณาสรุปจัดทำเป็นคู่มือ แนวทางในการออกแบบ แก้ไข และป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทางหลวง เพื่อเป็นองค์ความรู้ในเรื่องดังกล่าว ควบคู่ไปในคราวเดียวกันกับการจัดทำองค์ความรู้การออกแบบงานระบายน้ำ

กรมทางหลวงจึงได้มีคำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการ และคณะทำงานเพื่อดำเนินการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง โดยคณะกรรมการ และคณะทำงานดังกล่าว ประกอบด้วยวิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญ และมีส่วนเกี่ยวข้องในเรื่องดังกล่าวทั้งที่เป็นข้าราชการของกรมทางหลวง และส่วนราชการอื่น คือ กรมทางหลวงชนบท กรม

ชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และนักวิชาการที่มีความเชี่ยวชาญจากสถาบันการศึกษา คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ตามรายชื่อในคำสั่งแนบ

## 1.2 วัตถุประสงค์

ในการจัดทำคู่มือออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวงในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อรวบรวมองค์ความรู้ หลักเกณฑ์ และ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง ทั้งจากตำรา คู่มือ และ ผลการศึกษาของหน่วยงานและ ผู้เชี่ยวชาญในเรื่องน้ำโดยตรง มาพิจารณา กลั่นกรอง จัดทำคู่มือ ให้มีความถูกต้อง เหมาะสม เป็นที่ยอมรับทางด้านวิชาการ และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับส่วนราชการอื่น ที่มีลักษณะงานคล้ายคลึงกันสามารถใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในการออกแบบงานของกรมทางหลวง และหน่วยงานอื่นต่อไป

## 1.3 ขอบเขตของคู่มือ

คู่มือฉบับนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบขนาดและชนิดของอาคารระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะ ในงานทางหลวง การนำคู่มือฉบับนี้ไปใช้อ้างอิง อาจจำเป็นต้องพิจารณาปรับปรุง หลักเกณฑ์ และข้อกำหนดบางประการให้สอดคล้องตามลักษณะงานที่จะดำเนินการ

**รายนามคณะผู้จัดทำคู่มือการออกแบบอาคารระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง**

__คณะกรรมการ__

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. นายเกษม | ศรีวรานันท์ | วิศวกรใหญ่ด้านสำรวจและออกแบบ | ประธานกรรมการ |
| 2. รองอธิบดีกรมทางหลวง ฝ่ายวิชาการ | | | ที่ปรึกษาโครงการ |
| 3. นายอัศวิน | กรรณสูต | ที่ปรึกษาด้านสำรวจและออกแบบ | ที่ปรึกษาโครงการ |
| 4. นายสมบัติ | เจริญพัฒน์ | ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการ |
| 5. รศ.ดร.ทวนทัน | กิจไพศาลสกุล | ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ<br>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | กรรมการ |
| 6. ผศ.ดร.สุทัศน์ | วีสกุล | ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำและการจัดการ<br>สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย | กรรมการ |
| 7. นายวิรัตน์ | นาคเรือง | ผู้แทน กรมชลประทาน | กรรมการ |
| 7. นายสุรพล | ศรีเสาวชาติ | ผู้แทน กรมทางหลวงชนบท | กรรมการ |
| 8. นายพิสิฐ | ศรีวรานันท์ | ผู้แทน กรมทางหลวงชนบท | กรรมการ |
| 9. นายประสิทธิ์ | พัวทวี | ผู้แทน กรมทรัพยากรน้ำ | กรรมการ |
| 10. นายกษิดิศ | วัฒนศัพท์ | ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างทางที่.1 | กรรมการ |
| 11. นายอิทธิ์ศักดิ์ | นวกิจวัฒนา | ผู้แทน ผู้อำนวยการสำนักบริหารบำรุงทาง | กรรมการ |
| 12. นายบัญชา | สุทัยบำรุง | ผู้แทน สำนักก่อสร้างสะพาน | กรรมการ |
| 13. ดร.อัครพัฒน์ | สว่างสุรีย์ | ผู้แทน สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง | กรรมการ |
| 14. นายสุรจิต | ทิพยเกษร | ผู้แทน กลุ่มงานสิ่งแวดล้อม สำนักแผนงาน | กรรมการ |
| 15. นายวารินทร์ | เพชราวุธ | ผู้อำนวยการกลุ่มงานออกแบบทาง<br>สำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการ |
| 16. นายสมพร | รัตนบุรี | ผู้อำนวยการกลุ่มงานออกแบบโครงสร้าง<br>สำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการและ<br>เลขานุการ |
| 17. นายณัฐศักดิ์ | อริยพฤกษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ<br>สำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |

**คณะทำงาน**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. นายอัศวิน | กรรณสูต | ที่ปรึกษาด้านสำรวจและออกแบบ | ที่ปรึกษา |
| 2. นายสมบัติ | เจริญพัฒน์ | ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ | ประธานคณะทำงาน |
| 3. นายอิฐศักดิ์ | นวกิจ | ผู้แทน ผู้อำนวยการสำนักบริหารบำรุงทาง | คณะทำงาน |
| 4. นายบัญชา | สุทัยบำรุง | ผู้แทน ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน | คณะทำงาน |
| 5. ดร.อัครพัฒน์ | สว่างสุรีย์ | ผู้แทน สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง | คณะทำงาน |
| 6. ดร.จิรโรจน์ | ศุกลรัตน์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงาน |
| 7. นายวารินทร์ | เพชราวุธ | ผู้อำนวยการกลุ่มงานออกแบบทาง<br>สำนักสำรวจและออกแบบ | คณะทำงาน |
| 8. นายสมพร | รัตนบุรี | ผู้อำนวยการกลุ่มงานออกแบบโครงสร้าง<br>สำนักสำรวจและออกแบบ | คณะทำงาน |
| 9. นายพงศ์พันธุ์ | จันทรกุล | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 10. นายวันจักร | ฉายากุล | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 11. นายธานินทร์ | ริรัตนพงษ์ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 12. นายสิทธิชัย | บุญสะอาด | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 13. นายพรพรต | สุริยนต์ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 14. นายสมบูรณ์ | เทียนธรรมชาติ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 15. นายอาณัติ | ประทานทรัพย์ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 16. นายวิโรจน์ | คงแก้ว | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 17. นายคเณศร์ | เลิศรัตนเดชากุล | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 18. นายไพศาล | สุวรรณรักษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 19. นายสมคเน | เสมทัพพระ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 20. นายบุญธรรม | ไกรศรศรี | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 21. นายบุญฤทธิ์ | ศรีวะรมย์ | รก.วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 22. นายปรีชา | สมผุด | นักธรณีวิทยาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 23. นางศิริลักษณ์ | ศิริพรบุญญา | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงาน |
| 24. นายศรัณย์ | กำจัดโรค | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 25. นายวิศิษฐ์ศักดิ์ | หนูสุวรรณ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 26. นายศิริศักดิ์ | จินดาพล | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 27. นายวศิน | รุจิเกียรติกำจร | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 28. นายจักรพันธุ์ | ประสาททอง | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |

| | | |
|---|---|---|
| 29. นายณัฐศักดิ์ อริยพฤกษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงานและเลขานุการ |
| 30. นายศุภชัย มหากิจ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 31. นายจารุพัฒน์ ศรีสะอาด | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 32. นายอธิปไตย ธิบูรณ์บุญ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |

คำสั่งกรมทางหลวง

ที่ บ.1/ 204 /2553

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

---

เพื่อเป็นการลดระดับความเสียหายจากปัญหาอุทกภัย ปัญหาการระบายน้ำ และการกัดเซาะพังทลาย ในงานทางหลวงที่เกิดขึ้นเป็นประจำเกือบทุกปี สร้างความเสียหายและเป็นอุปสรรคในการพัฒนาทางหลวงเป็นอย่างมาก กรมทางหลวงจึงแต่งตั้งคณะกรรมการ เพื่อร่างหลักสูตรและจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวงให้มีความถูกต้อง เหมาะสม ทันสมัย และเป็นที่ยอมรับ รวมทั้งเพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับหน่วยงานอื่น โดยคณะกรรมการดังกล่าว ประกอบด้วยผู้แทนของมหาวิทยาลัยและหน่วยงานราชการ ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ และมีลักษณะงานคล้ายคลึงกัน ดังนี้

**1. องค์ประกอบ**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.1 | รองอธิบดีกรมทางหลวง ฝ่ายวิชาการ | | ประธานกรรมการ |
| 1.2 | นายอัศวิน กรรณสูต | ที่ปรึกษาด้านสำรวจและออกแบบ | ที่ปรึกษาโครงการ |
| 1.3 | ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ | | กรรมการ |
| 1.4 | รศ.ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล | ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย | กรรมการ |
| 1.5 | ผศ.ดร.สุทัศน์ วีสกุล | ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำและการจัดการ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย | กรรมการ |
| 1.6 | นายวิรัตน์ นาคเรือง | ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ) กรมชลประทาน | กรรมการ |
| 1.7 | นายสุรพล ศรีเสาวชาติ | ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท | กรรมการ |
| 1.8 | นายนิวัติชัย คัมภีร์ | ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ | กรรมการ |
| 1.9 | นายกษิดิศ วัฒนศัพท์ | ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างทางที่ 1 | กรรมการ |
| 1.10 | ผู้อำนวยการสำนักบริหารบำรุงทางหรือผู้แทน | | กรรมการ |
| 1.11 | ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพานหรือผู้แทน | | กรรมการ |
| 1.12 | ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนางานทางหรือผู้แทน | | กรรมการ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.13 | ผู้อำนวยการกลุ่มงานสิ่งแวดล้อม สำนักแผนงาน | | กรรมการ |
| 1.14 | นายสมบัติ เจริญพัฒน์ | ผู้อำนวยการกลุ่มงานออกแบบโครงสร้าง สำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการ |
| 1.15 | นายวารินทร์ เพชราวุธ | ผู้อำนวยการกลุ่มงานออกแบบทาง สำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการ |
| 1.16 | นายสมพร รัตนบุรี | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการและเลขานุการ |
| 1.17 | นายณัฐศักดิ์ อริยพฤกษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ สำนักสำรวจและออกแบบ | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |

**2. อำนาจหน้าที่**

2.1 พิจารณาทบทวน และพัฒนาปรับปรุงข้อมูล องค์ความรู้ รวมทั้งแนวทางในการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวงให้มีความถูกต้องทันสมัย และเหมาะสม กับสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

2.2 จัดทำคู่มือในการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

2.3 ประธานมีอำนาจแต่งตั้งคณะทำงานในการรวบรวมข้อมูล และจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง ตามความเหมาะสม

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2553

(นายวีระ เรืองสุขศรีวงศ์)
อธิบดีกรมทางหลวง

คำสั่งกรมทางหลวง

ที่ บ.๑/ ๗๙ /๒๕๕๔

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ
และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

---

ตามคำสั่งกรมทางหลวง ที่ บ.๑/๒๐๔/๒๕๕๓ ลงวันที่ ๗ ตุลาคม ๒๕๕๓ เรื่องแต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง นั้น

เพื่อประโยชน์ต่อทางราชการจึงขอแก้ไขเปลี่ยนแปลงรายชื่อคณะกรรมการบางราย ตามคำสั่งดังกล่าว เป็นดังนี้

๑. วิศวกรใหญ่ด้านสำรวจและออกแบบ เป็น ประธานกรรมการ

๒. รองอธิบดีกรมทางหลวง ฝ่ายวิชาการ เป็น ที่ปรึกษาโครงการ

๓. นายประสิทธิ์ พัวทวี ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านระบบการพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ เป็นกรรมการแทนนายนิวัติชัย คัมภีร์ ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ

โดยคณะกรรมการรายอื่น และอำนาจหน้าที่ให้เป็นไปตามคำสั่งกรมทางหลวงที่ บ.๑/๒๐๔/๒๕๕๓ ลงวันที่ ๗ ตุลาคม ๒๕๕๓ เดิม

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๘ เมษายน พ.ศ. ๒๕๕๔

(นายวีระ เรืองสุขศรีวงศ์)

อธิบดีกรมทางหลวง

คำสั่งกรมทางหลวง

ที่ บ.1/ 205 /2553

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ
และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

---

เพื่อให้การศึกษาและรวบรวมข้อมูลในการจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เป็นไปอย่างเหมาะสมกับสภาวะในปัจจุบัน และสนับสนุนการดำเนินงานในการจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวงของคณะกรรมการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง ให้เป็นอย่างเหมาะสมและสำเร็จตามวัตถุประสงค์ จึงแต่งตั้งคณะทำงานพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง ดังนี้

1. รายชื่อคณะทำงาน

| | | |
|---|---|---|
| 1.1 นายอัศวิน กรรณสูต | ที่ปรึกษาด้านสำรวจและออกแบบ | ที่ปรึกษา |
| 1.2 ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ | | ประธานคณะทำงาน |
| 1.3 ผู้อำนวยการสำนักบริหารบำรุงทาง หรือผู้แทน | | คณะทำงาน |
| 1.4 ผู้อำนวยการสำนักก่อสร้างสะพาน หรือผู้แทน | | คณะทำงาน |
| 1.5 ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง หรือผู้แทน | | คณะทำงาน |
| 1.6 นายสมบัติ เจริญพัฒน์ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 1.7 นายวารินทร์ เพชราวุธ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 1.8 นายพงศ์พันธุ์ จันทรกุล | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 1.9 นายสมพร รัตนบุรี | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 1.10 นายสิทธิชัย บุญสะอาด | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 1.11 นายพรพรต สุริยนต์ | รก.วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | คณะทำงาน |
| 1.12 นายธานินทร์ ริรัตนพงษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 1.13 นายสมบูรณ์ เทียนธรรมชาติ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 1.14 นายบุญธรรม ไกรศรศรี | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงาน |
| 1.15 นายจักรพันธุ์ ประสาททอง | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 1.16 นางศิริลักษณ์ ศิริพรบุญญา | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงาน |
| 1.17 นายปรีชา สมผุด | นักธรณีวิทยาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |

/1.18 นาย...

| | | |
|---|---|---|
| 1.18 นายณัฐศักดิ์ อริยพฤกษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงานและเลขานุการ |
| 1.19 นายจารุพัฒน์ ศรีสะอาด | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 1.20 นายอธิปไตย ธิบูรณ์บุญ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 1.21 นายศุภชัย มหากิจ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |

2. อำนาจหน้าที่

2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งเสนอแนวทางในการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวงเสนอต่อคณะกรรมการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

2.2 จัดทำร่างคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เสนอต่อคณะกรรมการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

2.3 ปฏิบัติงานอื่นตามที่ประธานคณะกรรมการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง มอบหมาย

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2553

(นายวีระ เรืองสุขศรีวงศ์)

อธิบดีกรมทางหลวง

คำสั่งกรมทางหลวง

ที่ บ.๑/๑๕๗/๒๕๕๔

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำ

และป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เพิ่มเติม

---

ตามคำสั่งกรมทางหลวง ที่ บ.๑/๒๐๕/๒๕๕๓ ลงวันที่ ๗ ตุลาคม ๒๕๕๓ เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง นั้น

เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างเหมาะสม และสำเร็จตามวัตถุประสงค์ จึงแต่งตั้งคณะทำงานเพิ่มเติม ดังนี้

| | |
|---|---|
| ๑. นายวันจักร ฉายากุล | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ |
| ๒. นายวิโรจน์ คงแก้ว | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ |
| ๓. นายคเณศร์ เลิศรัตน์เดชากุล | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ |
| ๔. นายอาณัติ ประทานทรัพย์ | รก.วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ |
| ๕. นายไพศาล สุวรรณรักษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ |
| ๖. นายสมคเน เสมทัพพระ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ |
| ๗. นายจิรโรจน์ ศุกลรัตน์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ |
| ๘. นายบุญฤทธิ์ ศรีวะรมย์ | รก.วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ |
| ๙. นายศรัณย์ กำจัดโรค | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ |
| ๑๐. นายวิศิษฐ์ศักดิ์ หนูสุวรรณ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ |
| ๑๑. นายสุกิจ ยินดีสุข | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ |
| ๑๒. นายศิริศักดิ์ จินดาพล | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ |
| ๑๓. นายวศิน รุจิเกียรติกำจร | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ |

โดยให้มีอำนาจหน้าที่ตามคำสั่งกรมทางหลวง ที่ บ.๑/๒๐๕/๒๕๕๓ ลงวันที่ ๗ ตุลาคม ๒๕๕๓

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๑๔ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

(นายเกษม ศรีวรานันท์)

วิศวกรใหญ่ด้านสำรวจและออกแบบ ปฏิบัติราชการแทน

อธิบดีกรมทางหลวง

# บทที่ 2
# ระบบระบายน้ำในงานทางหลวง

ระบบระบายน้ำในงานทางหลวงแบ่งเป็นระบบใหญ่ๆ ได้ 3 ระบบ คือ ระบบระบายน้ำตามยาว (Longitudinal Drain) ระบบระบายน้ำตามขวาง (Cross Drain) และระบบระบายน้ำใต้ดิน (Sub Drain) โดยแต่ละระบบ มีรูปแบบและรายละเอียดแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการระบายน้ำในส่วนที่แตกต่างกัน กล่าวคือ

**1). ระบบระบายน้ำตามยาว** เป็นระบบระบายน้ำที่ออกแบบเพื่อระบายน้ำฝนที่ตกในพื้นผิวจราจร และพื้นที่ประชิดเขตทางไปสู่ลำน้ำธรรมชาติ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาน้ำท่วมขังในผิวจราจรและความเสียหายจากการกัดเซาะลาดข้างทาง ในกรณีถนนผ่านย่านชุมชน ระบบระบายน้ำตามยาวจะออกแบบให้สามารถรองรับส่วนของน้ำทิ้งจากชุมชนประชิดข้างทางด้วย แต่จะไม่รวมน้ำทิ้ง และน้ำเสียจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรม หรือ ชุมชน หมู่บ้านขนาดใหญ่ ที่อยู่นอกพื้นที่ประชิด ระบบระบายน้ำตามยาว ได้แก่ ระบบระบายน้ำข้างทาง เช่น ท่อกลม ท่อเหลี่ยม รางตื้น รางยู บ่อพัก Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูง Interceptor ช่วงลาดตัดเขา Drain Chute เป็นต้น

**2). ระบบระบายน้ำตามขวาง** เป็นระบบระบายน้ำที่ออกแบบเพื่อระบายน้ำฝนจากพื้นที่รับน้ำฝน (Catchment Area) ที่อยู่ด้านเหนือน้ำซึ่งมีทิศทางการไหลตัดผ่านแนวทางเป็นลำน้ำธรรมชาติ เช่น ลำห้วย ลำคลอง แม่น้ำ หรือ น้ำหลากผ่าน (Flood plain) ซึ่งจะต้องออกแบบอาคารระบายน้ำให้มีขนาดพื้นที่ช่องเปิดที่เพียงพอต่อการระบายน้ำที่มีอัตราการไหลสูงสุดในรอบปีที่ใช้ในการออกแบบโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วมคันทาง และพื้นที่ด้านเหนือน้ำ อาคารระบายน้ำตามขวาง ได้แก่ ท่อกลม ท่อเหลี่ยม และสะพานเป็นต้น

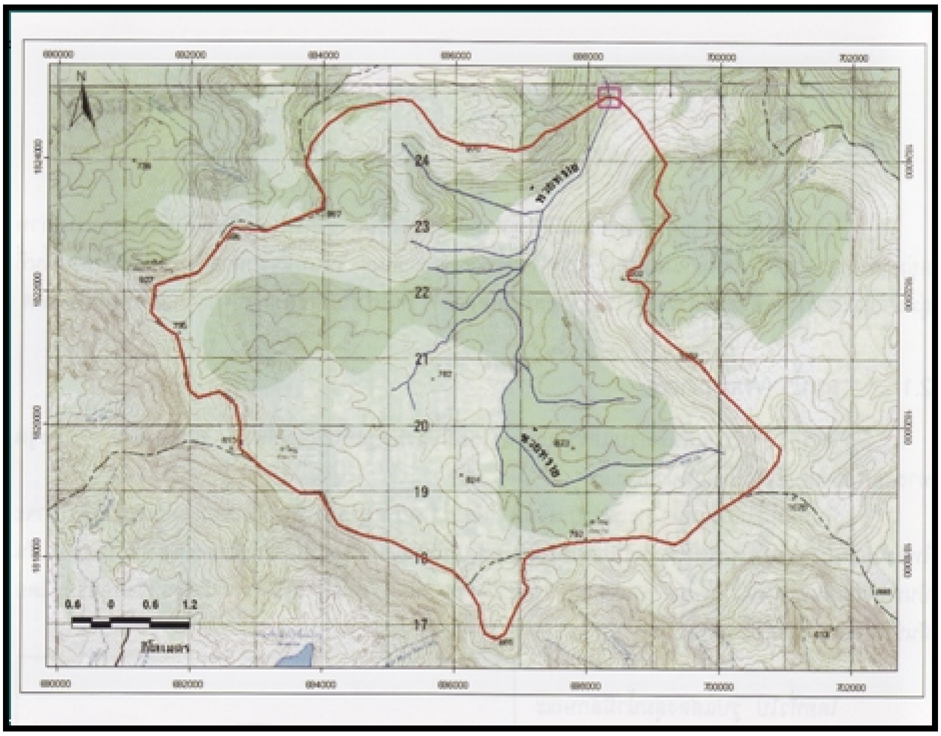
**3). ระบบระบายน้ำใต้ดิน** เป็นระบบระบายน้ำที่ออกแบบเพื่อระบายน้ำในชั้นใต้ดินที่ขังอยู่ในชั้นดินฐานรากและโครงสร้างชั้นทางและทางไหลธรรมชาติของน้ำใต้ดิน เพื่อป้องกันความเสียหายของโครงสร้างชั้นทาง และเสถียรภาพของคันทางและลาดข้างทาง รูปแบบและรายละเอียดของระบบระบายน้ำใต้ดิน จะได้กล่าวถึงในหัวข้อ ระบบระบายน้ำใต้ดินต่อไป

## 2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำในงานทางหลวง

### 2.1.1 ปัจจัยด้าน อุทกวิทยา และ ชลศาสตร์ (Hydrology and Hydraulic)

ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ทางด้านอุทกวิทยาเป็นศาสตร์เกี่ยวกับการเกิดขึ้นของฝนและการเคลื่อนตัวของน้ำท่า (Rainfall and Runoff) ส่วนชลศาสตร์เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับการไหล ในทางน้ำภายใต้สภาวะการไหลและเงื่อนไขต่างๆ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กันและต้องพิจารณาควบคู่กันไปเสมอในการออกแบบระบบระบายน้ำ ซึ่งจะได้กล่าวถึงปัจจัยต่างๆที่จะต้องพิจารณา และมีผลต่อการออกแบบระบบระบายน้ำ ต่อไป

**2.1.1.1 ลุ่มน้ำ (Basin or Watershed or Catchment)** หมายถึง บริเวณพื้นที่ที่รับน้ำฝนและระบายน้ำไหลไปรวมกันโดยนับรวมตั้งแต่บริเวณต้นน้ำ (Upstream) จนถึงจุดออกที่พิจารณา (Outlet) หรือปากน้ำ (Eatury) แนวเส้นขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำ เรียกว่า สันปันน้ำ (Water divide) ซึ่งจะเป็นแนวเส้นที่ลากไปตามแนวสันเขาหรือ สันเนินที่แบ่งทิศทางการไหลของน้ำฝนไปคนละด้านของสันเขาหรือสันเนินดังกล่าวไปลงลำน้ำที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำประชิดกัน การหาขอบเขตพื้นที่รับน้ำหรือแนวสันปันน้ำสามารถทำได้โดยพิจารณาจากเส้นระดับชั้นความสูง (Contour line) ในแผนที่ภูมิประเทศ (Base Map) โดยการลากเส้นผ่านแนวสันเขาซึ่งก็คือบริเวณที่มีเส้นระดับความสูงที่สูงที่สุดนั่นเอง ซึ่งเส้นที่ได้จะต่อเนื่องกัน และมาบรรจบกันที่จุดที่พิจารณาดังแสดงในรูปที่ 2.1-1 และข้อมูลเกี่ยวกับลุ่มน้ำที่ควรรู้มีดังนี้

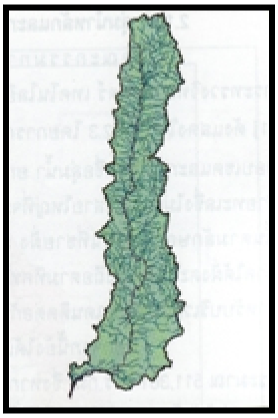


**รูปที่ 2.1-1** ตัวอย่างการหาขอบเขตพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำห้วยทราย อ.เมือง จ.เพชรบุรี

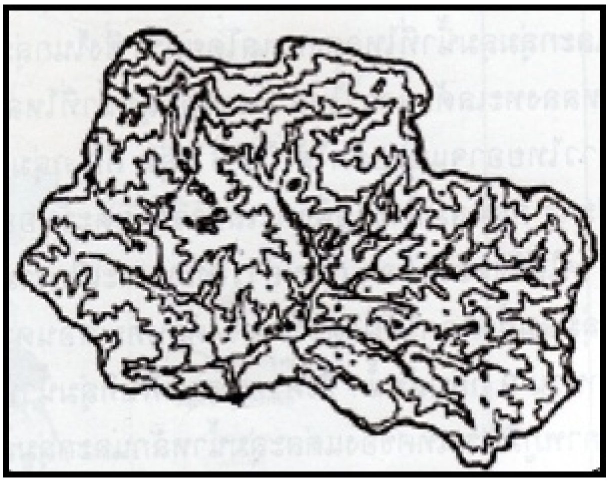
**1.) <u>ลักษณะรูปร่างของพื้นที่รับน้ำฝน</u>**

ในพื้นที่รับน้ำฝนที่มีขนาดพื้นที่เท่ากัน ถ้ามีรูปร่างและลักษณะของพื้นที่รับน้ำฝนแตกต่างกันจะมีผลให้เกิดน้ำท่วมในระดับที่แตกต่างกัน ดังนั้น วิศวกรผู้ออกแบบควรทราบลักษณะที่สำคัญของลุ่มน้ำแต่ละรูปแบบ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกขนาดและชนิดของอาคารระบายน้ำ รูปร่างของพื้นที่รับน้ำแบ่งออกได้ดังนี้

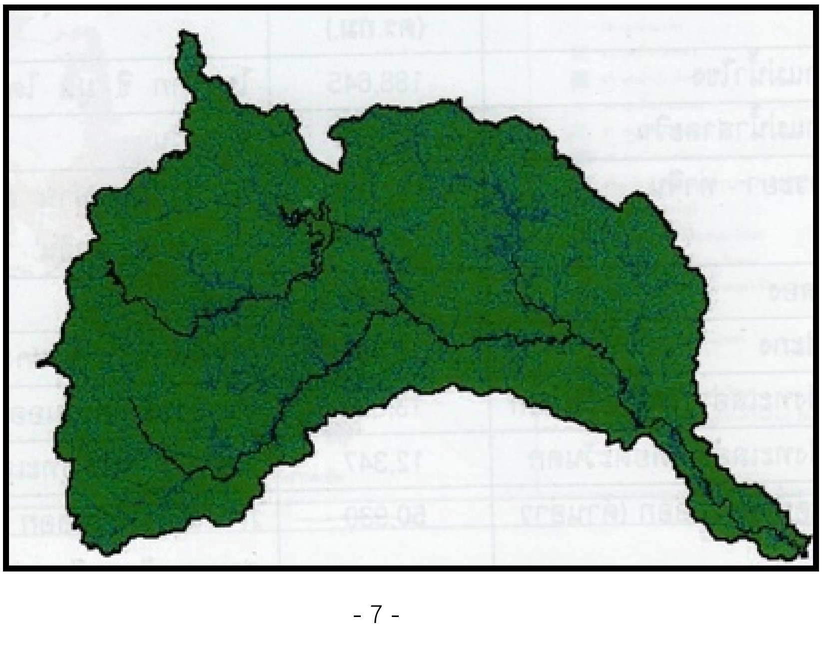
1.1) <u>ลุ่มน้ำรูปขนนก</u> (Featherlike basin) ลุ่มน้ำรูปขนนกมีพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กและยาวเรียว มีลำน้ำสาขาไหลไหลลงสู่ลำน้ำสายใหญ่ทั้ง 2 ฝั่ง ปริมาณน้ำ จากลุ่มน้ำชนิดนี้จะมีอัตราค่อนข้างต่ำ เพราะว่า ระยะเวลาที่ปริมาณน้ำของลำน้ำสาขาต่างๆ ไหลมาถึงจุดที่พิจารณาจะไม่เท่ากันหรือไม่ตรงกัน และใช้เวลานานในการเดินทางถึงจุดทางออกไม่เท่ากัน



1.2) <u>ลุ่มน้ำรูปวงกลม</u> ( Radial basin) ลุ่มน้ำรูปวงกลมมีพื้นที่ลุ่มที่มีสันปันน้ำเป็นรูปคล้ายพัดหรือรูปวงกลม และมีลำน้ำสาขาไหลลงสู่ลำน้ำสายใหญ่ที่จุดใดจุดหนึ่งดุจเป็นรัศมีของวงกลม ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะเช่นนี้ปริมาณน้ำจะมารวมกันที่จุดเดียว ทำให้มีโอกาสเกิดน้ำท่วมขนาดใหญ่ใกล้กับจุดบรรจบของลำน้ำ



1.3) <u>ลุ่มน้ำรูปขนาน</u> (Parallel basin) ลุ่มน้ำชนิดนี้ มีพื้นที่ลุ่มน้ำแยกเป็น 2 ส่วน ซึ่งจะมาบรรจบกันในตอนล่างหรือด้านท้ายน้ำของลุ่มน้ำ และน่าจะเกิดน้ำท่วมบริเวณตอนใต้ของสบแม่น้ำ

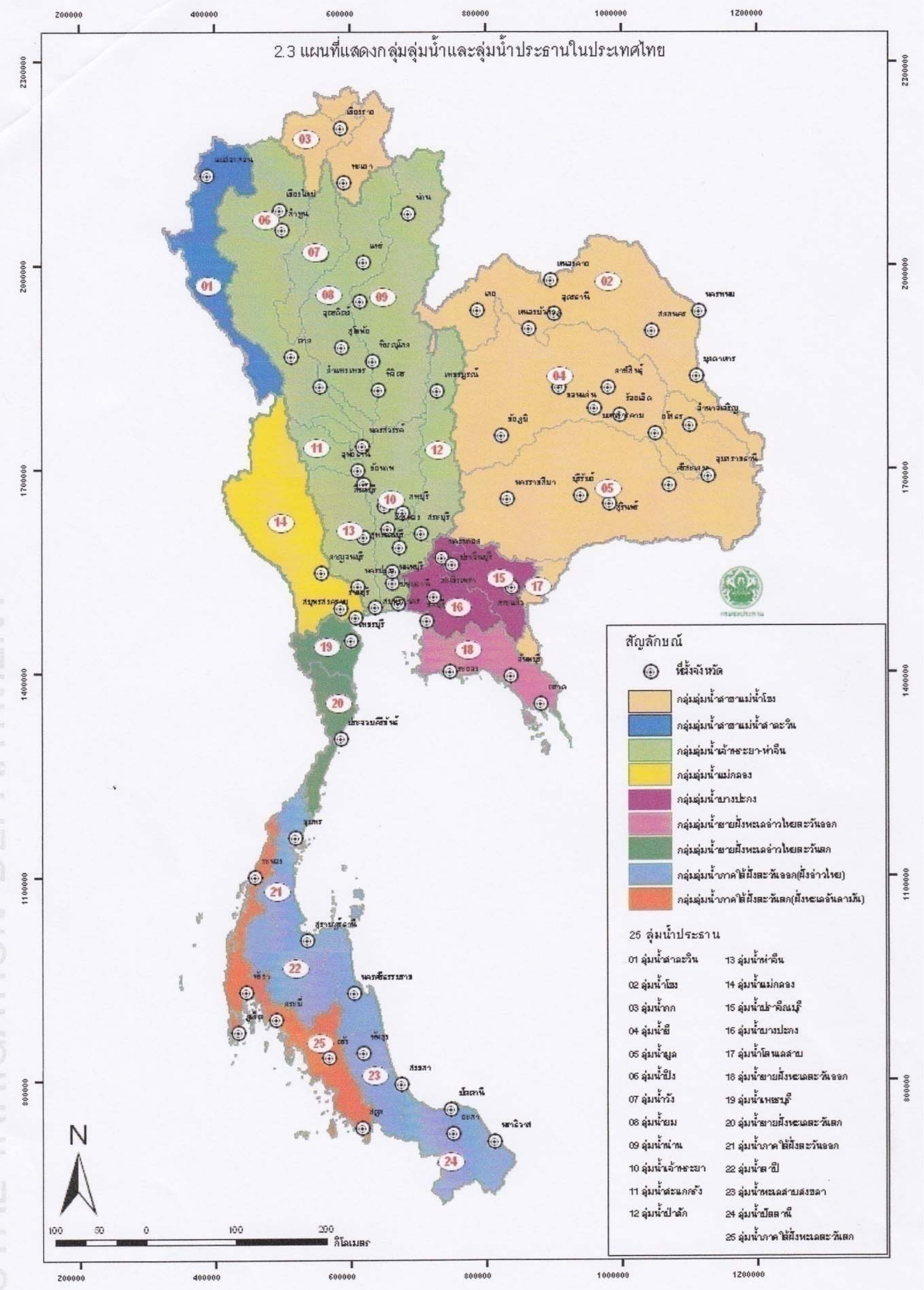


1.4) <u>ลุ่มน้ำรูปผสม </u>(Complexed basin) ตามปกติแล้ว ลุ่มน้ำเพียงไม่กี่แห่งมีคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งดังกล่าวข้างต้น แต่ส่วนใหญ่แล้วลุ่มน้ำหนึ่งจะมีคุณลักษณะหลายๆ ชนิดรวมอยู่ด้วยกันซึ่งเรียกว่า ลุ่มน้ำรูปผสม

**2). ลุ่มน้ำหลักและการจัดการลุ่มน้ำของประเทศไทย**

คณะกรรมการการอุทกวิทยาแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้แบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็นลุ่มน้ำสำคัญ 25 ลุ่มน้ำดังแสดงในในรูปที่ 2.1-2 โดยการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำหลักจะยึดถือแม่น้ำสายใหญ่เป็นหลักในการกำหนดขอบเขตและการเรียกชื่อลุ่มน้ำ ยกเว้นในบางพื้นที่ เช่น บริเวณใกล้เขตแดนติดต่อกับประเทศอื่น หรือบริเวณชายทะเลซึ่งไม่มีแม่น้ำสายใหญ่ที่จะใช้เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำที่จัดแบ่งได้ จะกำหนดขอบเขตและเรียกชื่อลุ่มน้ำนั้นตามลักษณะของพื้นที่ชายฝั่ง เช่น ชายฝั่งทะเลตะวันออก ชายฝั่งทะเลตะวันตก ภาคใต้ฝั่งทะเลตะวันออก ภาคใต้ฝั่งทะเลตะวันตก ซึ่งถือตามทิศทางการไหลของน้ำลงสู่ทะเลในบริเวณพื้นที่นั้นๆ เป็นหลัก และโตนเลสาปสำหรับบริเวณใกล้เขตแดนติดต่อกับประเทศกัมพูชา

นอกจากนี้ยังได้แบ่งพื้นที่ออกเป็นลุ่มน้ำย่อย 254 ลุ่มน้ำย่อย มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งประเทศประมาณ 511,361 ตร.กม. พบว่าประเทศไทยสามารถแบ่งเป็นลุ่มน้ำหลักได้จำนวน 9 กลุ่มลุ่มน้ำ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำทั้ง 25 ลุ่มน้ำหลัก และ 254 ลุ่มน้ำย่อย แสดงในตารางที่ 2.1-1 ในการออกแบบระบบระบายน้ำวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องทราบว่าพื้นที่โครงการที่ออกแบบ อยู่ในเขตลุ่มน้ำใด เพื่อจะได้เลือกใช้ข้อมูล การไหลของน้ำได้ถูกต้อง




**รูปที่ 2.1-2** แผนที่แสดง 25 ลุ่มน้ำหลักและขอบเขตการปกครองของประเทศไทย

**ตารางที่ 2.1-1** กลุ่มลุ่มน้ำหลักและจำนวนลุ่มน้ำย่อยของประเทศไทย

| **กลุ่มลุ่มน้ำหลัก** | **พื้นที่ลุ่มน้ำรวม (ตร.กม.)** | **ชื่อลุ่มน้ำหลัก** | **จำนวนลุ่มน้ำย่อย** |
|---|---|---|---|
| 1. กลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขง | 188,645 | โขง กก ชี มูล โตนเลสาบ | 95 |
| 2. กลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสาละวิน | 17,918 | สาละวิน | 17 |
| 3. กลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา | 157,925 | ปิง วัง ยม น่าน สะแกกรัง ป่าสัก เจ้าพระยา ท่าจีน | 70 |
| 4. กลุ่มลุ่มน้ำแม่กลอง | 30,836 | แม่กลอง | 11 |
| 5. กลุ่มลุ่มน้ำบางปะกง | 18,458 | ปราจีนบุรี บางปะกง | 8 |
| 6. กลุ่มลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออก | 13,829 | ชายฝั่งทะเลตะวันออก | 6 |
| 7. กลุ่มลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันตก | 12,347 | เพชรบุรี ชายฝั่งทะเลตะวันตก | 8 |
| 8. กลุ่มลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก (ด้านอ่าวไทย) | 50,930 | ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ตาปี ทะเลสาบ สงขลา ปัตตานี | 26 |
| 9. กลุ่มลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก (ด้านทะเลอันดามัน) | 20,473 | ภาคใต้ฝั่งตะวันตก | 13 |
| **รวม** | **551,361** | | **254** |

**3.) การวัดค่าตัวแปรทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ**

ตัวแปรทางกายภาพที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถวัดค่าได้จากแผนที่ภูมิประเทศ ซึ่งปกติกรมทางหลวงใช้แผนที่ Base Map มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการคำนวณอัตราการไหลของน้ำมี 3 ตัวแปร คือ

- ความยาวของลำน้ำ
- ความลาดเอียง (Slope) ของลำน้ำ
- พื้นที่ลุ่มน้ำ

การวัดค่าตัวแปรดังกล่าวทำได้ดังนี้

**3.1) การวัดความยาวลำน้ำ** ให้วัดจากต้นน้ำที่ไกลที่สุดคดเคี้ยวไปตามแนวศูนย์กลางของลำน้ำสายหลักจนถึงจุดออก หรือจุดที่พิจารณา เนื่องจากลำน้ำมีความคดเคี้ยว การใช้ไม้บรรทัด หรือ ไม้สเกล วัดโดยตรง อาจทำได้ยากและคลาดเคลื่อนได้มาก ดังนั้น การวัดระยะจึงควรใช้ อุปกรณ์อื่นช่วย เช่น วงเวียน สายวัด หรือด้ายวัด ริมแถบกระดาษ ล้อวัดระยะทาง (Opisometer or Curvimeter) เป็นต้น ปัจจุบันสามารถนำแผนที่ลงใน File Autocad ทำให้สามารถวัดระยะความยาวตามแนวคดเคี้ยวของลำนำได้อย่างแม่นยำโดยใช้คำสั่งวัดระยะ (Measure)

**3.2) การวัดความลาดเอียงหรือความต่างระดับ** ความลาดเอียงของพื้นที่รับน้ำ และลำน้ำ เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำ และความเร็วของน้ำ โดยปกติทั่วไปมักจะมีความลาดเอียงสูงในช่วงต้นน้ำ และจะมีความลาดเอียงน้อยลงเมื่อไหลเข้าสู่พื้นที่ราบ การหาความลาดเอียงของลำน้ำสามารถทำไปได้ในขั้นตอนเดียวกันกับการวัดความยาวของลำน้ำโดยการอ่านค่าความต่างระดับ ของลำน้ำช่วงต่างๆ ได้จากเส้นระดับความสูงในแผนที่ภูมิประเทศ 1:50,000

**3.3) การวัดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ หรือพื้นที่รับน้ำฝน** ซึ่งเป็นพื้นที่ภายในขอบเขตของเส้นสันปันน้ำ โดยทำการวัดขนาดพื้นที่บนแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งสามารถประมาณขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนได้หลายวิธี ได้แก่

- การนับจำนวนช่องตารางสี่เหลี่ยม (Grid) ภายในขอบเขตของพื้นที่รับน้ำ สำหรับพื้นที่ส่วนที่ไม่เต็มช่องตารางใช้วิธีประมาณตามสัดส่วนของตาราง เมื่อรู้ขนาดของพื้นที่ตารางสี่เหลี่ยมก็สามารถหาขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนได้ สำหรับตารางสี่เหลี่ยมบนแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 มีขนาดพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งผู้ออกแบบสามารถแบ่งซอยตารางให้เล็กลงได้เพื่อให้การหาขนาดของพื้นที่มีความละเอียดมากขึ้น

- การวัดพื้นที่โดยใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ (Polar Planimeter) เป็นเครื่องมือซึ่งใช้กันกว้างขวางโดยอ่านค่าจากหน้าปัทม์ตัวเลข ซึ่งจะมีค่าเป็นสัดส่วนกับขนาดพื้นที่ที่ลากเครื่องมือไปโดยรอบเส้นขอบเขตของพื้นที่ เครื่องมือชนิดนี้จะมีจุดลาก (Traccer Point or Optical Cursor) ซึ่งจะวางไว้ตรงจุดเริ่มต้นบนเส้นรอบรูปหรือเส้นขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำ (ดูรูปที่ 2.1-3) อ่านตัวเลขเริ่มต้นบนหน้าปัทม์ไว้ก่อน (เครื่องวัดพื้นที่บางชนิดจะติดตั้งอุปกรณ์ที่ปรับตัวเลขบนหน้าปัทม์ให้เป็นศูนย์ได้ทันทีตอนเริ่มต้นลากจุดลาก) จากนั้นก็ลากจุดไปตามแนวเส้นรอบรูปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาโดยต้อง

ให้จุดลากเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นรอบรูปให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้จนกลับมาที่จุดเริ่มต้นอีกครั้ง และทำการอ่านหน้าปัทม์อีกครั้ง ตัวเลขความแตกต่างที่อ่านได้จากตอนเริ่มต้นและตอนหลังสุดนี้จะเป็นสัดส่วนกับขนาดของพื้นที่ดังกล่าว โดยปกติจะทำการวัดพื้นที่ประมาณสามครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นได้ ขนาดของพื้นที่ในแผนที่จะคำนวณได้จากสูตร

ขนาดพื้นที่ = (จำนวนหน่วยของเครื่องวัดพื้นที่ที่อ่านได้) x (พื้นที่ต่อหน่วยของเครื่องวัดพื้นที่) x (มาตราส่วนของแผนที่)

พื้นที่ต่อหน่วยของเครื่องมือวัดพื้นที่หาได้โดยลากเส้นรอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งทราบขนาดพื้นที่ในหน่วยของพื้นที่ลุ่มน้ำต่อตัวเลขที่อ่านได้จากเครื่องวัด ในบางกรณีอาจจะใช้มาตราส่วนในแผนที่ไปเปิดค่าแฟคเตอร์จากตารางที่ติดมากับเครื่องวัดพื้นที่ ซึ่งเมื่อนำค่าแฟคเตอร์นี้ไปคูณกับตัวเลขที่อ่านได้ ก็จะเป็นขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำในแผนที่นั่นเอง

**รูปที่ 2.1-3** เครื่องวัดพื้นที่ 2 แบบ :
1) แบบ Siemens & Halske (ผลิตโดย A. Blankenburg), ประเทศเยอรมัน ประมาณปี ค.ศ. 1930 (รูปบนซ้าย) และ 2) แบบ Allbrit/Stanley, ประเทศเยอรมัน ปี ค.ศ. 1950 (รูปบนขวา)
รูปมุมล่างซ้าย : รายละเอียดเกี่ยวกับ Carriage Block ของเครื่องวัดแบบ Siemens & Halske
**ที่มา :** http://www.science.uva.nl/museum/planimeter.html

- การวัดพื้นที่โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการคำนวณพื้นที่ เช่น AutoCAD, Soft Desk, Land Desktop, Ask GIS ฯลฯ โดยการนำแผนที่ภูมิประเทศที่ทราบมาตราส่วนลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าว แล้วทำการลากขอบเขตของพื้นที่รับน้ำที่พิจารณา ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้ ก็จะคำนวณพื้นที่ให้อย่างถูกต้อง แม่นยำ

### 2.1.1.2 ฝน (Rain)

ฝนเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณออกแบบระบบระบายน้ำ ฝนเป็นรูปแบบหนึ่งของหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ซึ่งเป็นน้ำที่ตกจากบรรยากาศอยู่ในหลายรูปแบบได้แก่ ฝน (Drain) หิมะ (Snow), ลูกเห็บ (hail) , ลูกปรายน้ำแข็ง (sleet) , ฝนละออง (Drizzle) เป็นต้น กระบวนการเกิดฝน เกิดจากการกลั่นตัว (Condensation) ของไอน้ำในบรรยากาศกลายเป็นเมฆซึ่งต้องอาศัยเชื้ออนุภาคกลั่นตัวเล็กๆ (Condensing nuclei) อนุภาคเล็กๆดังกล่าว ได้แก่ ละอองหรืออนุภาคของสารต่างๆที่ลอยอยู่ในบรรยากาศละอองจากการเผาไหม้ เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจนและอนุภาคเกลือต่างๆ เมื่ออากาศมีความชื้นเย็นตัวลงมากพอละอองน้ำในเมฆจะรวมตัวกันจะกลายเป็นหยดน้ำฝนขนาด 2-5 มิลลิเมตร ก็จะตกลงสู่พื้นที่ดิน

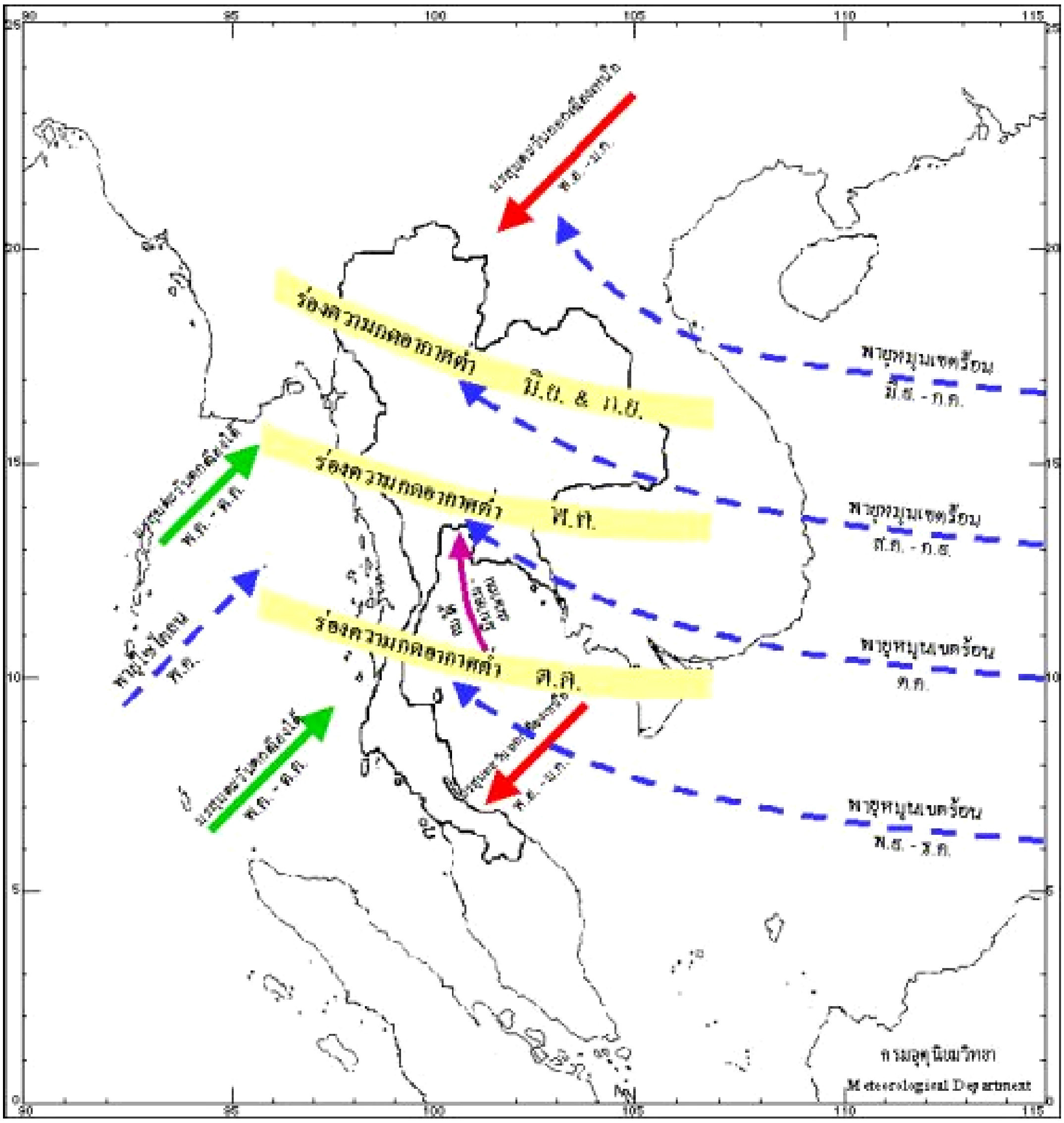
**ฝนในประเทศไทย**

ประเทศไทยจะสิ้นสุดฤดูฝนประมาณกลางเดือนตุลาคมจึงถือว่าสิ้นสุดฤดูฝนและเข้าฤดูหนาว รวมระยะเวลาฤดูฝนนานประมาณ 5 เดือน ซึ่งช่วงดังกล่าวจะมีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาเอาความชื้นจากทะเลเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ฤดูฝนอาจเริ่มต้นเร็วหรือช้ากว่ากำหนดนี้ได้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ แล้วแต่ความแปรปรวนของสภาพอากาศในแต่ละปี สำหรับบริเวณภาคใต้ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ฝั่ง คือ ภาคใต้ฝั่งตะวันออกและภาคใต้ฝั่งตะวันตก จะแตกต่างจากภาคอื่นๆ เพราะยังคงมีฝนตกชุกหนาแน่นตลอดเดือนตุลาคม และยังมีฝนตกต่อเนื่องต่อไปอีกจนถึงสิ้นปี โดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออก ซึ่งเป็นด้านรับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดพาเอาความชุ่มชื้นจากอ่าวไทยเข้ามาปกคลุมภาคใต้ รูปที่ 2.1-4 แสดงลมมรสุมและทางเดินพายุที่พัดผ่านประเทศไทย

ฝนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเกิดขึ้นได้จากสาเหตุหลายประการ การจำแนกประเภทของฝนนอกจากพิจารณาตามกลไกการลอยตัวของอากาศดังกล่าวข้างต้น ยังมีฝนอีก 2 ลักษณะที่เกิดขึ้นในประเทศไทย คือ ฝนมรสุม (Monsoon rain) และพายุหมุน (Cyclonic rain) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**1.) ฝนมรสุม (Monsoon rain)** เป็นฝนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมที่พัดประจำฤดูกาล

**1.1) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้** ลมนี้จะพัดปกคลุมประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้บริเวณมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งพัดออกจากแหล่งกำเนิดเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้ และเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้เมื่อข้ามเส้นผ่าศูนย์สูตร ลมมรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนตกชุกในพื้นที่ทั่วไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณชายฝั่งทะเลและเทือกเขาด้านรับลมจะมีฝนมากกว่าบริเวณอื่น




**รูปที่ 2.1-4** ลมมรสุมและทางเดินพายุที่ผ่านประเทศไทย

**ที่มา :** กลุ่มภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา

**1.2) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ** หลังจากหมดอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แล้ว ประมาณกลางเดือนตุลาคมจะมีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมนี้มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือแถบประเทศมองโกเลีย และจีน จึงพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ท้องฟ้าโปร่ง มีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งปกคลุมทั่วไปโดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนภาคใต้จะมีฝนตกเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออกเนื่องจากมรสุมนี้นำความชุ่มชื้นจากอ่าวไทยเข้ามาปกคลุม

**2.) แนวปะทะลมร้อนหรือร่องมรสุม** การที่ประเทศไทยอยู่ในอิทธิพลของลมมรสุมทั้ง 2 ฤดู ทำให้มีแนวปะทะอากาศที่เรียกว่า ร่องมรสุม (Monsoon Trough) เป็นแนวปะทะระหว่างลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมทั้งสองชนิดนี้จะพัดสอบเข้าหากันเป็นแนวใกล้เส้นศูนย์สูตร แต่แนวนี้เคลื่อนที่ไปมาได้ตามดิคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์ ดังนั้นจึงมักเรียกชื่อแนวนี้อีกอย่างหนึ่งว่า “แนวลมพัดสอบในเขตร้อน” (Intertropical Convergence Zone) หรือร่องความกดอากาศต่ำ (Low pressure trough) เพราะเป็นแนวที่มีความกดอากาศต่ำ มวลอากาศมีการยกตัวขึ้นสู่เบื้องต้น มีการก่อตัวของเมฆจึงทำให้มีฝนตกชุกโดยเฉพาะเมื่อมีกระแสลมวนอยู่ในแนวนี้ด้วยจะทำให้มีฝนตกหนักได้

แนวร่องมรสุมจะเลื่อนลงไปอยู่ในซีกโลกใต้ เมื่อซีกโลกเหนือเป็นฤดูหนาวและพาดอยู่ในแนวต่ำสุด ที่ประมาณละติจูด 10 องศาใต้ หลังจากนั้นจะเลื่อนขึ้นมาทางเหนือเรื่อยๆ ผ่านเส้นศูนย์สูตรขึ้นมาอยู่ในซีกโลกเหนือในฤดูร้อน และพาดอยู่ในแนวสูงสุดที่ละติจูด 25 องศาเหนือ การที่ร่องความกดอากาศต่ำเลื่อนขึ้นไปอยู่ในซีกโลกเหนือได้มากกว่าในซีกโลกใต้ก็เพราะซีกโลกเหนือมีพื้นที่แผ่นดินมากกว่าซีกโลกใต้นั่นเอง ร่องนี้จะเริ่มพาดผ่านอยู่ในแนวละติจูดของประเทศไทยประมาณเดือนพฤษภาคม ซึ่งในแต่ละปีอาจเร็วหรือล่าช้ากว่านี้ได้ โดยพาดผ่านภาคใต้แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านภาคกลางและภาคเหนือตามลำดับ จนถึงช่วงประมาณปลายเดือนมิถุนายนจะพาดผ่านบริเวณประเทศจีนตอนใต้ทำให้ฝนในประเทศไทยลดลงระยะหนึ่ง เรียกว่าเป็น “ช่วงทิ้งฝน” (dry spell) ซึ่งอาจมีช่วงเวลานานประมาณ 1-2 สัปดาห์หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรงและมีฝนน้อยนานนับเดือน ในเดือนกรกฎาคมปกติร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาทางใต้พาดผ่านประเทศไทยอีกครั้ง ทำให้มีฝนตกชุกต่อเนื่องจนกระทั่งลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้ามาปกคลุมประเทศไทยแทนที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ประมาณกลางเดือนตุลาคมประเทศไทยตอนบนจึงเริ่มมีอากาศเย็นและฝนตกลงลดโดยเฉพาะภาคเหนือและภายตะวันออกเฉียงเหนือเว้นแต่ภาคใต้ยังคงมีฝนตกชุกต่อไปจนถึงเดือนธันวาคม และมักมีฝนตกหนักถึงหนักมากจนก่อให้เกิดอุทกภัยโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งจะมีปริมาณฝนตกมากกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก

**3) ฝนพายุหมุน (Cyclonic rain)** เป็นฝนที่เกิดจากอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อน ซึ่งเป็นพายุที่มีถิ่นกำเนิดเหนือมหาสมุทรในเขตร้อนแถบเส้นรุ้งต่ำใกล้เขตศูนย์สูตร (ระหว่าง 23.5 องศาเหนือและ 23.5 องศาใต้) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 300-1,500 กิโลเมตร จะเริ่มก่อตัวจากหย่อมความกดอากาศต่ำในทะเลหรือมหาสมุทรที่อุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 80 องศาฟาเรนไฮน์ หรือ 26 องศาเซลเซียส เป็นบริเวณที่กลุ่มเมฆจำนวนมากรวมตัวกันอยู่โดยไม่มีการหมุนเวียนของลมเลย หย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงนี้ เมื่ออยู่ในสภาพที่เติบโตเต็มที่ จะปรากฏระบบหมุนเวียนของลมชัดเจน โดยลมจะพัดเวียนเกือบเป็นวงกลมเข้าหาศูนย์กลางพายุในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาสำหรับพายุที่เกิดในซีกโลกเหนือและพัดเวียนเข้าหาศูนย์กลางในทิศทางตามเข็มนาฬิกาสำหรับพายุที่เกิดในซีกโลกใต้

พายุเขตร้อนเมื่อมีกำลังแรงสูงสุดจะมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามแหล่งกำเนิด เช่น

- เกิดในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือดานตะวันตก มหาสมุทรแปซิฟิกใต้ และทะเลจีนใต้ เรียกว่า ใต้ฝุ่น (Typhoon)
- เกิดในอ่าวเบงกอล และทะเลอาราเบียนในมหาสมุทรอินเดีย เรียกว่า พายุไซโคลน (Cyclone)
- เกิดในมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือ ทะเลแคริเบียน อ่าวแม็กซิโก และฝั่งทะเลด้านตะวันตกของประเทศแม็กซิโก (ด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิกฟิกเหนือ) เรียกว่า พายุเฮอร์ริเคน (Hurricane)
- เกิดในประเทศฟิลิปปินส์ เรียกว่า บาเกียว (Baquio) หรือ บาเรียว (Baruio)
- ในแม็กซิโก เรียกว่า คอร์โดนาโว (Cordonazo)
- เกิดในออสเตรเลีย เรียกว่า วิลลี-วิลลี (Willy-Willy)

*สำหรับพายุทอร์นาโด (Tornado) เป็นชื่อเรียกพายุหมุนที่เกิดในทวีปอเมริกา มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยแต่หมุนด้วยความเร็วสูง หรือ ความเร็วที่จุดศูนย์กลางสูงมากกว่าพายุหมุนอื่น ๆ ก่อความเสียหายได้รุนแรงในบริเวณที่พัดผ่าน เกิดได้ทั้งบนบกและในทะเล*

พายุหมุนเขตร้อนที่มีแหล่งกำเนิดในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือด้านเหนือด้านตะวันตกและทะเลจีนใต้ มีการแบ่งเกณฑ์ความรุนแรงของพายุ ตามข้อตกลงระหว่างประเทศโดยใช้ความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางพายุกำหนดดังนี้

• พายุดีเปรสชั่น (Depression) มีความเร็วลมไม่เกิน 33 นอต (knot) หรือ 61 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นพายุที่กำลังอ่อนที่สุด (ขั้นก่อตัว) จะไม่มีความรุนแรงมากนักและอาจปกคลมอยู่เหนือบริเวณใดบริเวณหนึ่งได้นานเป็นเวลาหลายวัน

• พายุโซนร้อน (Tropical Storm) มีความเร็วลมตั้งแต่ 34 - 63 นอต (knot) หรือ 62 - 117 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นพายุที่มีกำลังปานกลาง ที่เรียกว่าพายุโซนร้อนเพราะมีต้นกำเนิดบริเวณทะเลหรือมหาสมุทรในเขตโซนร้อนใกล้ศูนย์สูตรและเคลื่อนที่ไปในละติจูดสูงๆ นอกโซนร้อน

• พายุใต้ฝุ่น (Typhoon) มีความเร็วลม 64 นอต หรือ 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป คำว่า "ไต้ฝุ่น" เป็นภาษาจีน แปลว่า "ลมใหญ่" เป็นพายุที่มีความรุนแรงมาก

พายุเขตร้อน ทั้ง 3 ประเภทมีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น พายุดีเปรสชั่นเมื่อมีความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจะกลายเป็นพายุโซนร้อนหรือพายุไต้ฝุ่น ในขณะเดียวกันเมื่อพายุไต้ฝุ่นลดความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางลงจะกลายเป็นพายุโซนร้อนหรือพายุดีเปรสชั่น และเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำแล้วจึงสลายตัวไปในที่สุด

## การวัดปริมาณน้ำฝน

การวัดปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาที่กำหนดจะแสดงผลในหน่วยของความลึกของน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่โดยถือว่าปริมาณฝนแผ่กระจายและมีความลึกสม่ำเสมอ (equivalent uniform depth) ครอบคลุมทั้งพื้นที่และมีสมมุติฐานว่าไม่มีการไหลออกของน้ำท่า การซึมผ่านผิวดินหรือการระเหย หน่วยที่นิยมใช้วัดความลึกฝนคือ มิลลิเมตร หรืออาจใช้หน่วยเป็น เซนติเมตร หรือ นิ้ว

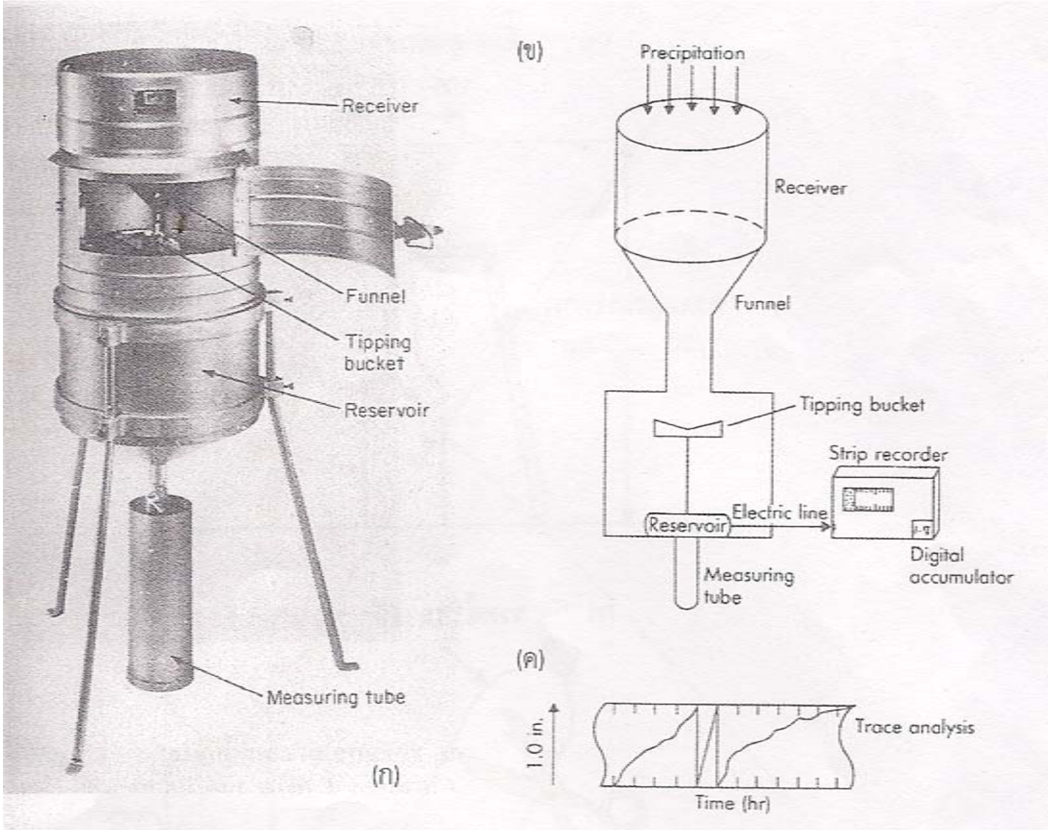
การวัดปริมาณน้ำฝนกระทำได้โดยการใช้เครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน การตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ และการตรวจวัดฝนด้วยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณน้ำฝน (rain gauge) แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ เครื่องวัดน้ำฝนแบบธรรมดาหรือเครื่องวัดน้ำฝนแบบมาตรฐาน (Ordinary or standard rain gauge) และเครื่องวัดน้ำฝนแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง (recording rain gauge)

**1.)** เครื่องวัดน้ำฝนแบบธรรมดาหรือเครื่องวัดน้ำฝนแบบมาตรฐาน มีลักษณะเป็นกระบอกตวงใช้วัดปริมาณน้ำฝนรวมที่ตกลงมาในแต่ละครั้ง ไม่สามารถวัดข้อมูลปริมาณฝนอย่างต่อเนื่องได้ (non-recording rain gauge) เครื่องวัดน้ำฝนแบบธรรมดาที่ใช้ในแต่ละประเทศอาจมีมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการเดียวกันคือใช้สำหรับวัดความลึกฝนที่ตกในแต่ละช่วงระยะเวลาหนึ่ง

**รูปที่ 2.1-5** แสดงเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบธรรมดา

**2.)** เครื่องวัดน้ำฝนแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง เป็นเครื่องวันที่สามารถบันทึกปริมาณฝนตามเวลาได้อย่างต่อเนื่อง โดยบันทึกลงในแผ่นกราฟ ข้อมูลกราฟน้ำฝนที่ได้ เรียกว่า ไฮเอ็ทโตกราฟ (Hyetograph) ซึ่งจะแบ่งเวลาให้ได้แผ่นละ 24 ชั่วโมง สำหรับการเก็บและการเปลี่ยนกระดาษกราฟทุกๆวัน




**รูปที่ 2.1-6** เครื่องวัดน้ำฝนบันทึกข้อมูลต่อเนื่องแบบถ้วยกระดก

## ความเข้มของฝน (Rainfall intensity)

ความเข้มของฝน หรือความรุนแรงของฝน หมายถึง ปริมาณความลึกฝนเทียบต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น มม./ชั่งโมง หรือ นิ้ว/ชั่วโมง เป็นต้น ในกรณีที่มีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนสะสม (accumulated rainfall depth) กับเวลา สามารถหาความเข้มฝนในแต่ละช่วงเวลาได้จากความลาด (slope) ของเส้นกราฟ

สำหรับในประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยาได้กำหนดให้รายงานอัตราการตกของฝนในรูปความรุนแรงของฝน ดังนี้

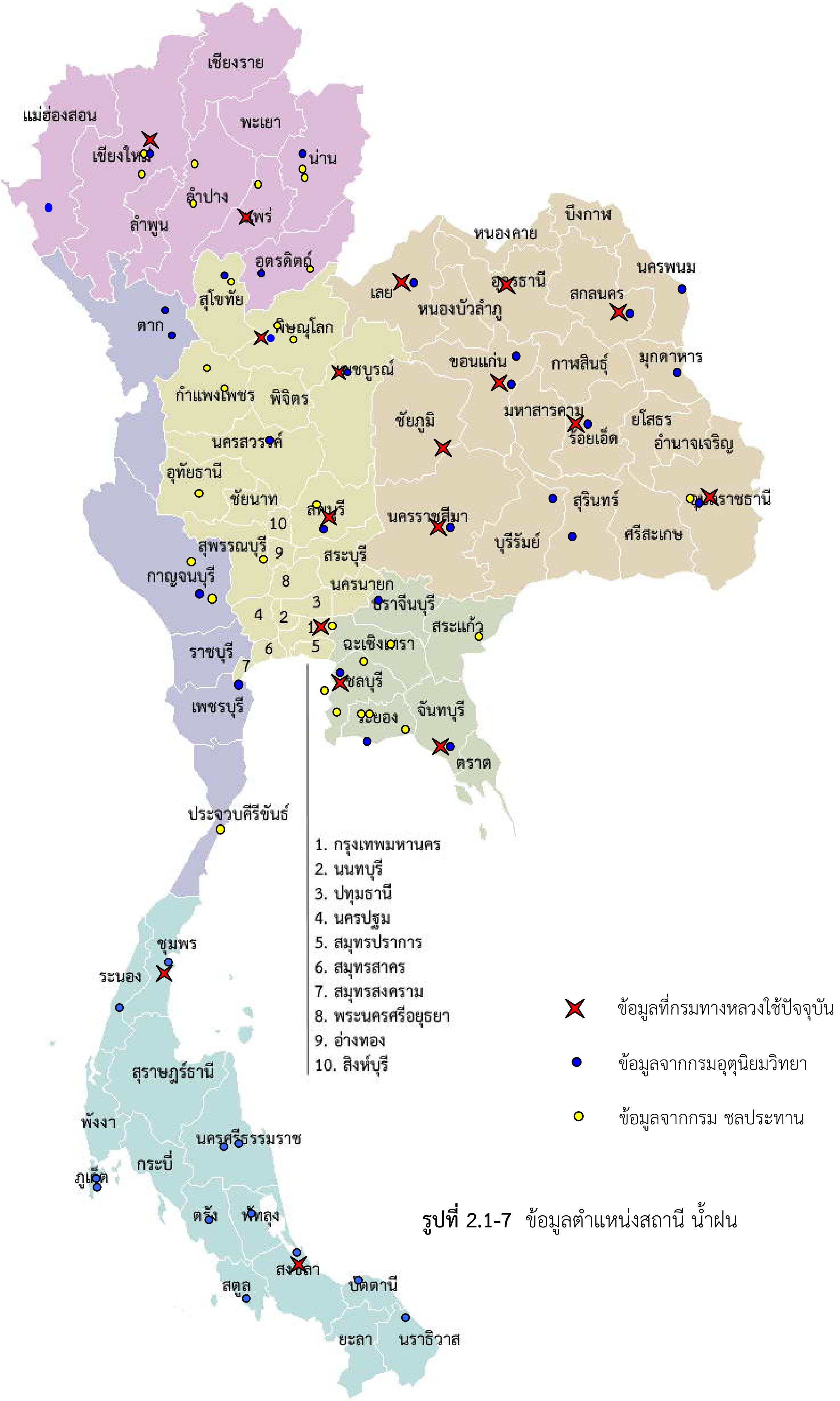
- ฝนตกเล็กน้อย คือ ฝนที่ตกในอัตรา 1 ถึง 5 มม./ชั่วโมง
- ฝนตกหนักปานกลาง คือ ฝนที่ตกในอัตรา 5 ถึง 10 มม./ชั่วโมง
- ฝนตกหนัก คือ ฝนที่ตกในอัตรา 10 ถึง 20 มม./ชั่วโมง
- ฝนตกหนักมาก คือ ฝนที่ตกในอัตรามากกว่า 20 มม./ชั่วโมง ขึ้นไป

การรายงานลักษณะฝนตกตามปริมาณความลึกฝน แบ่งลักษณะฝนที่ตกดังนี้

- ฝนวัดจำนวนไม่ได้ คือ ปริมาณฝนที่มีความลึกน้อยกว่า 0.1 มม.
- ฝนตกเล็กน้อย คือ ปริมาณฝนที่มีความลึก 0.1 มม . ถึง 10 มม.
- ฝนตกปานกลาง คือ ปริมาณฝนที่มีความลึก 10.1 มม. ถึง 35 มม.
- ฝนตกหนัก คือ ปริมาณฝนที่มีความลึก 35.1 มม. ถึง 90 มม.
- ฝนตกหนักมาก คือ ปริมาณฝนที่มีความลึกสูงกว่า 90 มม. ขึ้นไป

## ข้อมูลน้ำฝนที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ

อาคารระบายน้ำในงานทางหลวงต้องออกแบบให้สามารถรองรับอัตราการไหลสูงสุดที่เกิดจากฝนตกสูงสุดในรอบปีที่กำหนด (Return period) ดังนั้นข้อมูลน้ำฝนที่ใช้ในการออกแบบจึงต้องเป็นข้อมูลที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดซ้ำของฝนซึ่งต้องอาศัยข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดที่มีการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเรื่องน้ำโดยตรง ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิต กรมพัฒนาพลังงานแห่งชาติ ได้วิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) กับช่วงเวลาของการตก (Duration) กับความถี่ของการเกิด (Frequency) สรุปไว้ในรูปแบบของกราฟที่เรียกว่า Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve หรือ IDF Curve ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1-10 ซึ่งคู่มือเล่มนี้ ได้รวบรวมข้อมูล IDF Curve ของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใหม่ที่สุดเท่าที่มีอยู่ในปัจจุบัน (พ.ศ.2555) ตำแหน่งของสถานีวัดที่มีข้อมูล IDF Curve ดังแสดง ในรูปที่ 2.1-7 สำหรับรายละเอียดของข้อมูลทั้งหมดอยู่ในคู่มือการออกแบบฯ ส่วนที่ 2




**รูปที่ 2.1-7** ข้อมูลตำแหน่งสถานี น้ำฝน

### 2.1.1.3 น้ำท่า ( Stream flow or Runoff )

น้ำท่า คือ การรวมตัวของการไหลของน้ำ ในลำน้ำ ซึ่งแหล่งที่มาของน้ำท่าประกอบด้วย การไหลตามผิวดิน ( Surface runoff ) การไหลเสริม ( interflow ) และการไหลจากน้ำใต้ดิน ( ground water flow ) ซึ่งในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำท่า ได้แก่ ค่ารับดับน้ำ ความเร็ว และอัตราการไหลของน้ำ ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำท่ากับเวลาและตัวแปรอื่น ซึ่งจะเป็นความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับข้อมูลทางอุทกวิทยาที่จะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบระบบระบายน้ำต่อไป

**1 ) การวัดระดับน้ำ** เป็นการวัดระดับผิวน้ำเทียบกับระดับอ้างอิงที่กำหนดซึ่งระดับอ้างอิงมาตรฐานคือระดับน้ำทะเลปานกลาง ( Mean sea level) หรือในกรณีที่ไม่สามารถอิงกับระดับน้ำทะเลปานกลางได้ อาจใช้ระดับสมมุติ ( Assume datum ) โดยสร้างหมุดหลักฐานไว้ ( Bench mark ) ซึ่งกรณีนี้โดยทั่วไปมักใช้ระดับท้องน้ำเป็นระดับอ้างอิงแทนเครื่องมือในการวัดค่าระดับน้ำมีทั้งแบบไม่บันทึกข้อมูล และแบบบันทึกข้อมูล สำหรับแบบไม่บันทึกข้อมูลได้แก่ ไม้วัดระดับน้ำ (staff gauge ) เครื่องวัดระดับน้ำแบบลวดน้ำหนัก ( wire–weight ganger ) ส่วนเครื่องวัดระดับน้ำแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง จะมีอุปกรณ์บันทึกการขึ้นลงของระดับน้ำลงบนกระดาษกราฟซึ่งหมุนตลอดเวลาด้วยลานนาฬิกาซึ่งที่ใช้กันทั่วไปมี 2 ประเภทคือเครื่องบันทึกข้อมูลแบบลูกลอย (Float–gauge Recorder) และเครื่องบันทึกข้อมูลแบบใช้หลักความดัน ( Bubbles gage Recorder )

**2 ) การวัดความเร็วของการไหล**

การวัดความเร็วของการไหลของน้ำในลำน้ำโดยทั่วไปทำได้ 2 วิธีคือ การวัดความเร็วการไหลโดยใช้ทุ่นลอย และโดยใช้เครื่องมือวัดวัดความเร็วกระแสน้ำ ( current meter ) ซึ่งที่นิยมใช้มี 2 แบบคือ แบบถ้วย ( Cup Type ) และแบบใบพัด ( propeller type )

**2.1 ) การวัดความเร็วโดยใช้ทุ่นลอย ( Float )** ทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

- กำหนดจุดที่จะทำการวัดขึ้น 2 จุดโดยมีระยะห่างกันตามแนวลำน้ำพอสมควร โดยตำแหน่งของจุดทั้ง 2 ควรอยู่ในช่วงทางตรงของลำน้ำ
- วัดระยะทางระหว่างจุดทั้งสองตามแนวขนานกับศูนย์กลางลำน้ำ
- ปล่อยทุ่นลอยจากด้านเหนือน้ำของจุดที่กำหนดทั้ง 2 โดยทุ่นลอยที่ใช้อาจเป็นท่อนไม้ ขวดพลาสติก หรือวัสดุลอยน้ำอื่นๆ
- เริ่มต้นจับเวลาเมื่อทุ่นลอยผ่านจุดที่ 1 และหยุดเวลาเมื่อทุ่นลอยผ่านจุดที่ 2 บันทึกเวลา
- ทำซ้ำโดยปล่อยทุ่นลอยที่แนวต่าง ๆ ตามความกว้างของลำน้ำอย่างน้อย 3 แนว คือตามแนวกลางร่องน้ำหลักและที่แนวระยะประมาณ ¼ ของความกว้างลำน้ำ จากริมฝั่งทั้ง 2 ข้างหรือกรณีลำน้ำกว้างมากก็ให้พิจารณาตำแหน่งและจำนวนครั้งที่จะปล่อยทุ่นลอยเพื่อหาเวลาเฉลี่ยของการเดินทางของทุ่นระหว่างจุดทั้ง 2

$$\text{ความเร็วเฉลี่ยของการไหล} = \frac{\text{ระยะทางระหว่างจุด 2 จุด}}{\text{เวลาเฉลี่ยที่ได้จากการปล่อยทุ่น}}$$

แต่อย่างไรก็ตามความเร็วที่ได้เป็นความเร็วที่ผิวน้ำซึ่งจะมากกว่าความเร็วของน้ำที่ระดับลึกลงไป ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยตลอดความลึกของน้ำจึงต้องคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ค่าหนึ่งโดยแนะนำให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.70 สำหรับลำน้ำที่มีความลึก 1 เมตร และใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.80 สำหรับลำน้ำที่ลึก 6 เมตรหรือมากกว่า

**2.2 ) การวัดความเร็วโดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ (Current Meter)** เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ ที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบถ้วย (Cup Type) และแบบใบพัด (Propeller Type) ดังรูปที่ 2.1-8 และ 2.1-9

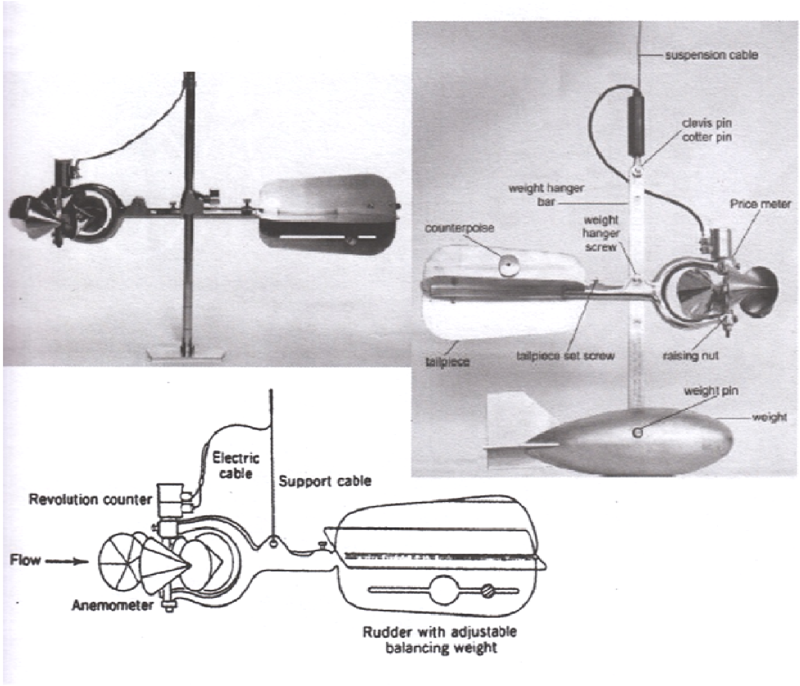
ความเร็วของกระแสน้ำจะได้จากความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนรอบของการหมุนของถ้วย หรือใบพัด ดังนี้

ความเร็วของการไหล : $V = a + bN$

โดยที่ $a$ = ความเร็วเริ่มต้นที่พอจะทำให้ถ้วยหรือใบพัดเริ่มหมุน

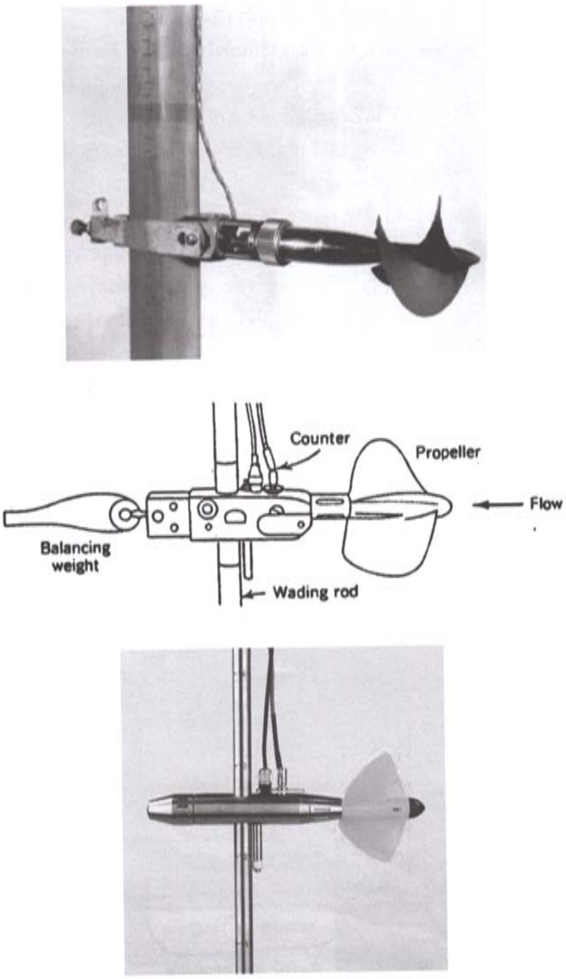
$b$ = ค่าคงที่สำหรับเครื่องมือวัด

$N$ = จำนวนรอบที่ถ้วยหรือใบพัดหมุน ในเวลา 1 นาที




**รูปที่ 2.1-8** เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบถ้วย

**ที่มา :** http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/pubs/wmm/chap10_07.html
http://www.gpi-hydro.com/Meter_Manual.pdf และ Wanielista, M., et al. [19]




**รูปที่ 2.1-9** เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด (ภาพด้านล่างเป็นเครื่องวัดขนาดเล็ก)

**ที่มา** : http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/pubs/wmm/chap10_07.html และ Wanielista, M., et al. [19]

http://www.eijkelkamp.com/PKD/PKDPages/20Waterflowandwatervelocitymeasurements/tabid/141/Default.aspx#

### 2.1.1.4 วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า

ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ ขั้นตอนสำคัญที่สุดคือการคำนวณ อัตราการไหลสูงสุด ของน้ำท่า จากพื้นที่รับน้ำฝนทางด้านเหนือ น้ำที่จะไหลมายัง ตำแหน่งอาคารระบายน้ำที่ต้องการออกแบบ เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารระบายน้ำให้มีช่องเปิด (Opening Area) เพียงพอต่อการระบายน้ำด้วยอัตราการไหล สูงสุดในรอบปีการเกิดซ้ำของฝนที่ใช้ในการคิดคำนวณ (Return period) โดยไม่ทำให้เกิดน้ำเอ่อท่วมถนนและพื้นที่ด้านเหนือน้ำ วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า แบ่งตามข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ 3 วิธีคือ

1) การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้ข้อมูลน้ำฝน ได้แก่วิธี Rational Formula

2) การคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้ข้อมูลน้ำท่า ได้แก่ วิธีวิเคราะห์ความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis)

3) การคำนวณอัตราการไหลที่ใช้ทั้งข้อมูลน้ำท่า และ ข้อมูลน้ำฝน ได้แก่ วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและช่วงเวลาของฝนที่ตกกับปริมาณการไหลของน้ำท่าในช่วงเวลาต่างๆ

นอกจากนั้นนักวิชาการทางด้านอุทกวิทยายังได้คิดวิธีสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Synthetic Unit Hydrograph) ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำมาใช้ ซึ่งแต่ละวิธีจะมีความเหมาะสม และเงื่อนไขแตกต่างกันไป ตามที่มาของแต่ละวิธี

สำหรับคู่มือออกแบบอาคารระบายน้ำเล่มนี้ มุ่งเน้นให้เป็นคู่มือในการปฏิบัติงาน ที่สามารถใช้ได้ง่าย เนื่องจากข้อมูลสำคัญที่ต้องการคือค่าอัตราการไหลสูงสุดในรอบปีที่ใช้ในการออกแบบเพื่อนำไปออกแบบช่องเปิดของอาคารระบายน้ำเท่านั้น ไม่ได้มุ่งเน้นข้อมูลคำตอบในระดับที่จะใช้เพื่อการบริหารจัดการหรือพัฒนาแหล่งน้ำดังนั้น วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่เสนอไว้ในคู่มือเล่มนี้จึงคัดเลือกเฉพาะวิธีการที่อยู่ในลักษณะของสูตร หรือ ความสัมพันธ์ และ กราฟ ที่สามารถใช้ได้โดยสะดวก ซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันเป็นการทั่วไปทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งความสัมพันธ์และกราฟที่นักวิชาการของกรมชลประทานได้ศึกษาและวิเคราะห์ไว้สำหรับลุ่มน้ำต่างๆในประเทศไทย

**วิธีการคำนวณอัตราการไหลที่รวบรวมไว้จำนวน 4 วิธีดังนี้**

1.) วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด โดยใช้สูตร Rational Formula
2.) วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ของลุ่มน้ำ
3.) วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ของ Snyder
4.) วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้กราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย (Regional Flood Frequency of River Basin in Thailand) ซึ่งจัดทำไว้โดยกรมชลประทาน

เกณฑ์ในการเลือกใช้วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่รับน้ำฝน และข้อมูลที่มีอยู่ดังนี้

**ตารางที่ 2.1-2** เกณฑ์ในการเลือกใช้วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ

| วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด | ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (กม.)(A) | ข้อมูลที่จำเป็น |
|---|---|---|
| 1. Rational Formula | A ≤ 25 | IDF Curve , ข้อมูลกายภาพของพื้นที่รับน้ำ เช่น รูปร่าง , ความลาดชัน , Land used , ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า |
| 2.กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า | 25 ≤ A ≤ 1000 * | - กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของลุ่มน้ำ (Unit Hydrograph)<br>- ข้อมูลน้ำฝน |
| 3. กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ ตามวิธี Snyder | 25 ≤ A ≤ 1000 | - ข้อมูลกายภาพของพื้นที่รับน้ำ<br>- ข้อมูลน้ำฝน |
| 4. กราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค Regional Flood Frequency analysis | A ≥ 25 | - ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ หรือกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคของลุ่มน้ำ |

***** Viessman, W. Jr., and Lewis , G.L. , “ Introduction to Hydrology” 5th ed. , Prentier Hall , 2003

## 1.) วิธีคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้ Rational Formula

เป็นการหาอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ โดยคิดจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกินที่ตกลงในพื้นที่รับน้ำ (ปริมาณน้ำฝนที่เหลือจากการระเหย , การซึมลงดิน , การคายระเหย การอุ้มและเก็บกัก อยู่ในแอ่งน้ำต่างๆ) โดยมีสมมุติฐานว่า การตกของฝนมีความเข้มสม่ำเสมอกระจายทั่วพื้นที่รับน้ำฝน ตลอดช่วงเวลาของฝนตกที่พิจารณา ซึ่งด้วยสมมุติฐานดังกล่าว เป็นเหตุให้ สูตรนี้เหมาะสมกับการคำนวณอัตรา การไหลของน้ำ กรณีที่พื้นที่รับน้ำขนาดไม่ใหญ่มากนัก เพราะยิ่งพื้นที่รับน้ำมีขนาดใหญ่ การกระจายของฝนในพื้นที่รับน้ำก็ยิ่งแตกต่างกัน ความถูกต้องของการคำนวณก็จะยิ่งน้อยลง วิธี Rational Formula เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ สำหรับหน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทยกำหนดให้ใช้สูตรนี้ ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำฝนไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดสามารถหาได้ ตามสมการต่อไปนี้

$$Q = 0.278\ CIA$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุดของน้ำ ณ จุดที่พิจารณามีหน่วยเป็น ลบ.ม/วินาที

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Coefficient of Runoff) ขึ้นกับลักษณะของพื้นที่รับน้ำฝน

I = ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/ชั่วโมง

A = พื้นที่รับน้ำฝนมีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร สามารถหาได้จากการแบ่งพื้นที่รับน้ำฝนในแผนที่เส้นชั้นความสูง หรือ แผนที่แสดงโครงสร้างทางน้ำ

ค่าความเข้มของฝนได้จากกราฟความเข้มของฝน ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฝน (Intensity) กับช่วงเวลาที่ฝนตก (Duration) โดยสร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ความถี่การตกของฝน (Frequency Analysis) ที่ระดับความเข้มและช่วงเวลาต่างๆ จึงมักเรียกกราฟนี้ว่า IDF Curve ในการจัดทำกราฟความเข้มของฝนดังกล่าว จำเป็นจะต้องมีข้อมูลน้ำฝนที่มีการเก็บอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานหลายปี หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเรื่องน้ำโดยตรง ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิต และ กรมพัฒนาพลังงาน ได้จัดทำ IDF Curve ของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ทั่วประเทศ ซึ่งคู่มือเล่มนี้ได้รวบรวมกราฟความเข้มของฝนดังกล่าวไว้ในคู่มือการออกแบบฯ ส่วนที่ 2 ดังรูปที่ 2.1-10 ในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ วิศวกรต้องเลือกใช้กราฟน้ำฝนของสถานีวัดที่อยู่ใกล้โครงการมากที่สุด

การหาค่าความเข้มของฝน (I) จากกราฟจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรต่อไปนี้คือ

1.1) รอบปีการเกิดซ้ำของน้ำฝน (Return period) ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งกำหนดตามหลักเกณฑ์ที่กล่าวแล้วข้างต้น

1.2) ช่วงเวลาการตกของฝน (Duration) ที่ใช้ในการคำนวณกำหนดให้เท่ากับช่วงเวลาที่น้ำฝนส่วนเกินที่ตกในพื้นที่รับน้ำไหลมารวมพร้อมกัน ณ จุดที่ตั้งของอาคารระบายน้ำที่พิจารณาออกแบบ (Time of Concentration) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$T_c = \left[\frac{0.87L^3}{H}\right]^{0.385}$$

เมื่อ $T_c$ = Time of Concentration มีหน่วยเป็นชั่วโมง

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่ จากจุดไกลที่สุดบนสันปันน้ำถึงตำแหน่งที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

H = ความแตกต่าง ระหว่างระดับพื้นดินที่จุดไกลสุดบนสันปันน้ำกับระดับที่ตำแหน่งอาคารระบายน้ำที่พิจารณามีหน่วยเป็นเมตร

ค่า $T_c$ ตามสมการดังกล่าวสามารถอ่านค่าได้จากกราฟในรูปที่ 2.1-14-3 นอกจากสมการดังกล่าวแล้วยังสามารถหาค่า $T_c$ ได้จากสมการอื่น ดังตารางที่ 2.1-3 เนื่องจากความลาดชันของพื้นที่รับน้ำฝนตามแนวทางการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงๆ โดยมากมักมีความลาดชันสูงบริเวณต้นน้ำและมีความลาดชันน้อยลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นดังนั้นการหาค่า $T_c$ ให้มีความแม่นยำจึงควรแบ่งการหาค่า $T_c$ เป็นช่วงๆ ตามความยาวของทางน้ำไหลที่มีความลาดชันใกล้เคียงกัน แล้วนำค่า $T_c$ ของแต่ละช่วงมารวมกัน

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี Rational Formula เป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย แต่ความถูกต้องแม่นยำของการคำนวณขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการเลือกใช้ ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่าหรือค่า C ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำฝนที่รวมเป็นน้ำท่าไหลออกจากพื้นที่รับน้ำที่พิจารณาโดยค่า C จะแปรเปลี่ยนตามเงื่อนไขของพื้นที่รับน้ำซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ ความลาดเอียงของพื้นที่รับน้ำ ชนิดและความลึกของชั้นดิน ชนิดและความหนาแน่นของพืชปกคลุมดิน การใช้พื้นที่ (Land Used) การเก็บกักภายในพื้นที่รับน้ำ (surface storage) รวมทั้งความเข้มและความต่อเนื่องของฝน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องค่อนข้างยากในการเลือกใช้ค่า C ที่เหมาะสม มีหลายหน่วยงานได้เสนอแนวทางในการเลือกใช้ค่า C ทั้งในรูปแบบของกราฟและตาราง ได้แก่กราฟสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff Coefficient) ตามรูปที่ 2.1-12 ซึ่งกรมทางหลวงได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบมานาน โดยกราฟดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่ากับความเข้มของฝน สำหรับพื้นที่รับน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 แบบ ซึ่งพื้นที่รับน้ำแต่ละแบบจะมีช่วงของค่า C ที่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมากพอสมควร ดังนั้นกราฟดังกล่าว จึงควรใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับเลือกช่วงของค่า C ควรใช้ข้อมูลอื่นประกอบในการเลือกค่า C ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ชนิดของดิน , ชนิดและความหนาแน่นของพืชคลุมดิน , ปริมาณการเก็บกักตามแอ่งน้ำธรรมชาติและที่สร้างขึ้นเป็นต้น

ตารางที่ 2.1-4 เป็นตารางแสดงค่า C ซึ่งเสนอโดย Chow et al (1988) จะมีการแบ่งคุณลักษณะของพื้นผิวพื้นที่รับน้ำฝนที่ละเอียดมากขึ้น โดยค่า C จะขึ้นอยู่กับรอบการเกิดซ้ำของฝนที่เลือกใช้ด้วย อย่างไรก็ดีควรจะนำข้อมูลชนิดของดิน และปริมาณเก็บกัก มาพิจารณา ปรับค่าที่ได้จากตารางนี้ด้วย

หน่วยงาน Soil Conservation Service (scs) สหรัฐอเมริกาได้ศึกษาค่า C โดยแบ่งดินชนิดต่าง ๆเป็น 4 กลุ่ม ตามตารางที่ 2.1-5 และได้เสนอค่า C สำหรับดินกลุ่ม B ซึ่งเป็นพื้นที่การเกษตร ดังตารางที่ 2.1-6 ส่วนค่า C สำหรับดินกลุ่มอื่น คือกลุ่ม A , กลุ่ม C และกลุ่ม D หาได้โดยการคูณด้วยแฟคเตอร์ ตามตารางที่ 2.1-7

การเลือกใช้ค่า C จากตารางหรือกราฟใดนั้นวิศวกรผู้ออกแบบควรพิจารณาถึงข้อมูลเงื่อนไข ลักษณะของพื้นที่รับน้ำที่มีว่ามีความสอดคล้องกับการใช้ตารางหรือกราฟใด

การหาค่า C ในกรณีที่สภาพพื้นที่ภายในพื้นที่รับน้ำฝน มีความแตกต่างกัน เช่น ความลาดชัน , ชนิดของดิน , การใช้พื้นที่ และ พืชปกคลุม เป็นต้น ควรแบ่งพื้นที่รับน้ำฝนเป็นพื้นที่ย่อย ค่า C เฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำทั้งหมดได้จากการเฉลี่ยค่า C ของพื้นที่ย่อยตามน้ำหนักขนาดของพื้นที่ย่อย ดังนี้

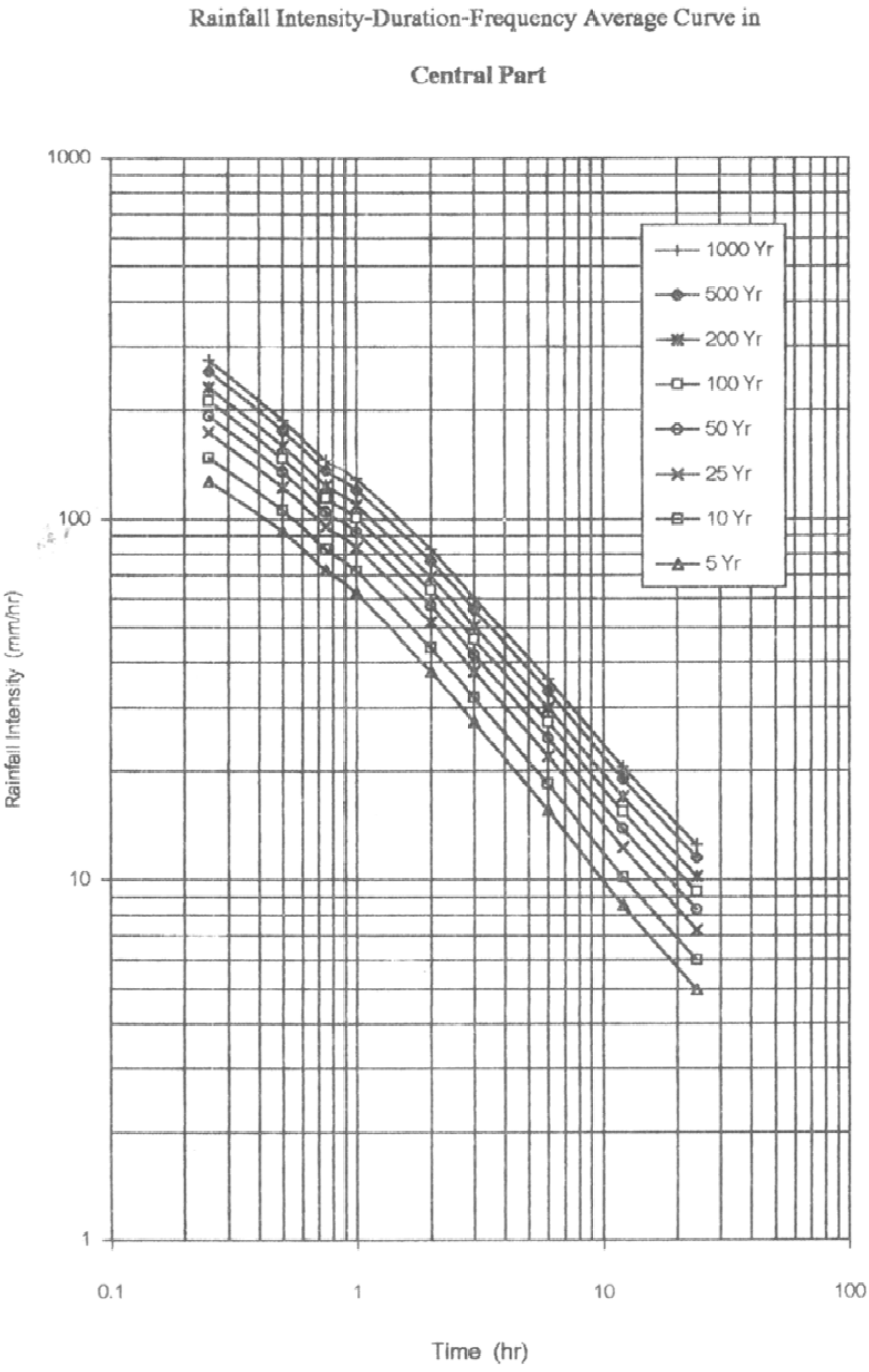
$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i A_i}{A_{Total}}$$

$$= \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \cdots + C_nA_n}{A_{Total}}$$

เมื่อ $C_i$ = สัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับพื้นที่ย่อยใดๆ

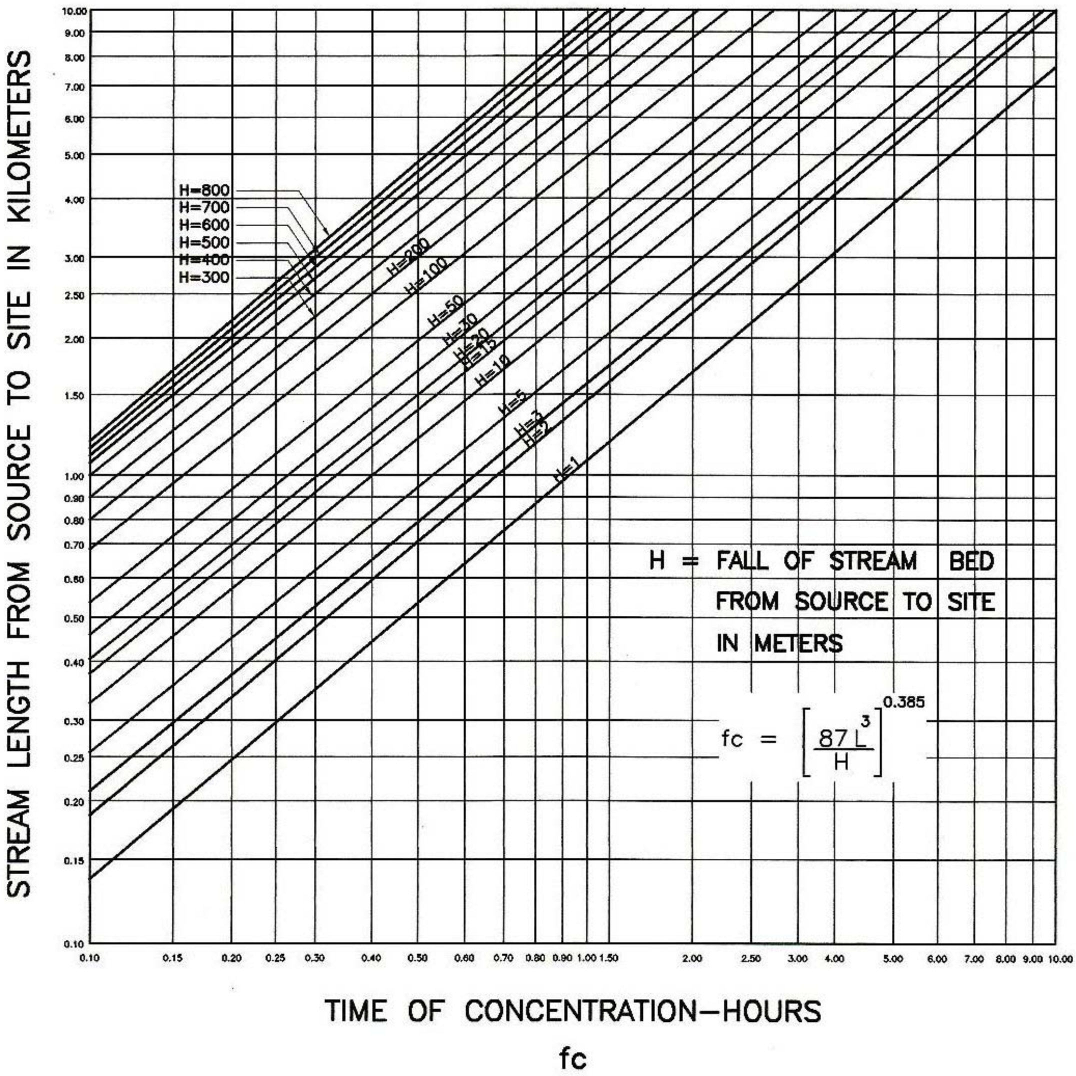
$A_i$ = ขนาดของพื้นที่รับน้ำย่อยใดๆ

$n$ = จำนวนพื้นที่ย่อย




**รูปที่ 2.1-10** กราฟ Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve (IDF Curve) สำหรับหาความเข้มของฝน (Rainfall Intensity)

FIG. I TIME OF CONCENTRATION CHART

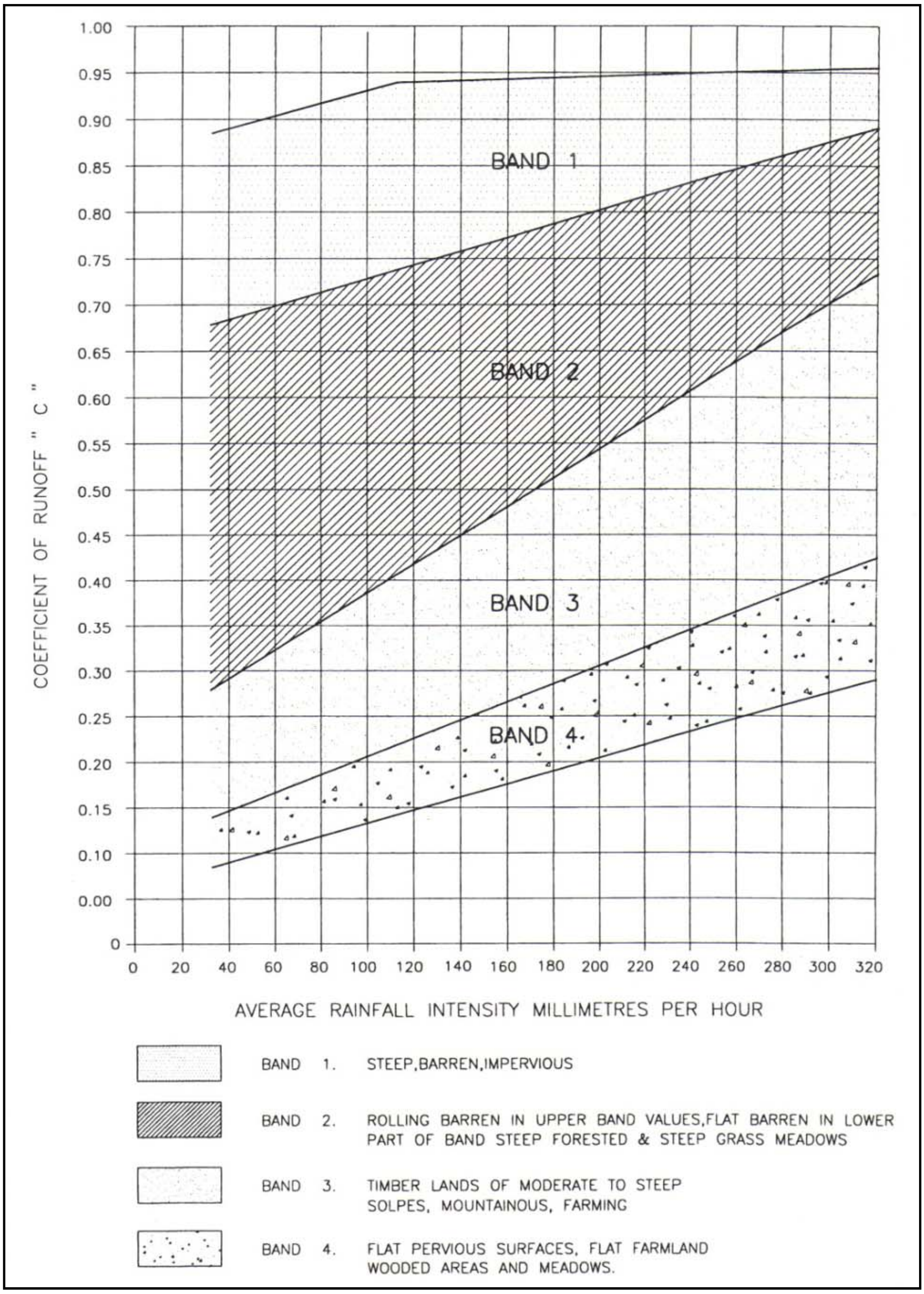



**รูปที่ 2.1-11** แสดงกราฟ Time of Concentration

**ตารางที่ 2.1-3** สมการที่ใช้คำนวณเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า (Time of concentration, $t_c$)

| Method and date | Formula for $t_c$ (min.) |
|---|---|
| Kirpich (1940) | $t_c = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}$<br>$L$ = Length of channel/ditch from headwater to outlet, ft<br>$S$ = Average watershed slope, ft/ft |
| USBR Design of Small Dams (1973) | $t_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$<br>$L$ = Length of longest watercourse, mi<br>$H$ = Elevation difference between divide and outlet, ft |
| Izzard (1946) | $t_c = \dfrac{41.025(0.0007i + c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$<br>$i$ = Rainfall intensity, in/hr<br>$c$ = Retardance coefficient<br>$L$ = Length of flow path, ft<br>$S$ = Slope of flow path, ft/ft |
| Federal Aviation Administration (1970) | $t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.50}/S^{0.333}$<br>$C$ = Rational method runoff coefficient<br>$L$ = Length of overland flow. ft<br>$S$ = Surface slope, % |
| ASCE Kinematic Wave Morgali and Linsley (1965) | $t_c = \dfrac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{(i^{0.4}S^{0.3})}$<br>$L$ = Length of overland flow, ft<br>$n$ = Manning roughness coefficient<br>$i$ = Rainfall intensity, in/hr<br>$S$ = Average overload slope, ft/ft |
| SCS Lag Equation (1972) | $t_c = \dfrac{1.67L^{0.8}[(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}}$<br>$L$ = Hydraulic length of watershed (longest flow path), ft<br>$CN$ = SCS runoff curve number<br>$S$ = Average watershed slope, % |
| SCS Average Velocity (1975) | $t_c = \dfrac{1}{60}\sum\dfrac{L}{V}$<br>$L$ = Length of flow path<br>$V$ = Average velocity in feet per second |

**ที่มา** : Viessman, W. Jr., and Lewis, G.L. [8]




**รูปที่ 2.1-12** สัมประสิทธิ์น้ำท่า (C)

**ตารางที่ 2.1-4** แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลออกที่ใช้ในสูตร Rational Formula

| **คุณลักษณะของพื้นผิว** | **รอบปีการเกิดซ้ำ – ปี** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2** | **5** | **10** | **25** | **50** | **100** | **500** |
| **พื้นที่พัฒนา** | | | | | | | |
| ลาดยาง | 0.73 | 0.77 | 0.81 | 0.86 | 0.90 | 0.95 | 1.00 |
| คอนกรีต/หลังคา | 0.75 | 0.80 | 0.83 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.00 |
| พื้นที่หญ้า (สนาม, สวนสาธารณะ เหล่านี้เป็นต้น) | | | | | | | |
| **สภาพเลว (สนามหญ้าคลุมน้อยกว่า 50 % ของพื้นที่)** | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.58 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.61 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.40 | 0.43 | 0.45 | 0.49 | 0.52 | 0.55 | 0.62 |
| **สภาพค่อนข้างดี (หญ้าปกคลุมน้อยกว่า 50 % - 75 % ของพื้นที่)** | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| **สภาพดี (หญ้าปกคลุมน้อยกว่า 75 % ของพื้นที่)** | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.21 | 0.23 | 0.25 | 0.29 | 0.32 | 0.36 | 0.49 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.56 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.51 | 0.58 |
| **พื้นที่ยังไม่พัฒนา** | | | | | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.57 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.60 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.61 |
| ทุ่งหญ้า / ทุ่งหญ้าปศุสัตว์ | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.33 | 0.39 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| **ป่าโปร่ง / ป่าละเมาะ** | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.39 | 0.48 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.56 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.35 | 0.39 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.52 | 0.58 |

**ตารางที่ 2.1-5** แสดงการให้ค่าจำกัดความการแบ่งชนิดของดิน

Definition of SCS Hydrologic Soil Groups

- The SCS has classified more than 400 soils into four hydrologic soil groups (HSG) According to their minimum infiltration rate obtained for are soil after prolonged wetting.

| Soil Group | Description | Final Infiltration Rate (mm/h) | Soil Texture |
|---|---|---|---|
| A | Lowest runoff potential. Includes deep sans with very little silt and clay, also deep, rapidly permeable loess. | 8-12 | Sand,<br>Loamy sand,<br>Sand loam |
| B | Moderately low runoff potential. Mostly sandy soils less deep than A, and loess deep or less aggregated than A, but the group as a whole has above-average infiltration after thorough wetting | 4-8 | Silt loam,<br>Loam |
| C | Moderately high runoff potential. Comprises shallow soils and soil containing considerable clay and colloids, though less than those of group D. The group has below-average infiltration after presaturation. | 1-4 | Sandy clay<br>Loam |
| D | Highest runoff potential. Includes mostly clays of high swelling percent, but the group also includes some shallow soils with nearly impermeable subhorizons near the surface. | 0-1 | Clay loam,<br>Silty clay<br>Loam,<br>Sandy clay,<br>Silty clay<br>clay |

**ตารางที่ 2.1-6** แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับดิน Group B

Runoff Coefficient C for Agricultural Watersheds [Soil Group B] (Schwab et al., 1993)

| Crop and Hydrologic | Coefficient C for Rainfall Rates of | | |
|---|---|---|---|
| Condition | 25 mm/h | 100 mm/h | 200 mm/h |
| Row crop , poor practice | 0.63 | 0.65 | 0.66 |
| Row crop , good practice | 0.47 | 0.56 | 0.62 |
| Small grain , poor practice | 0.38 | 0.38 | 0.38 |
| Small grain , good practice | 0.18 | 0.21 | 0.22 |
| Meadow , rotation , good | 0.29 | 0.36 | 0.39 |
| Pasture , permanent , good | 0.02 | 0.17 | 0.23 |
| Woodland , mature , good | 0.02 | 0.1 | 0.15 |

**ตารางที่ 2.1-7** แสดงค่า Conversion Factor

C Factor Convertion Factors for Hydrologic Soil Groups A, C, and D

| Crop and Hydrologic | Factors for Converting C for Groups A, C, and D | | |
|---|---|---|---|
| Condition | Group A | Group C | Group D |
| Row crop , poor practice | 0.89 | 1.09 | 1.12 |
| Row crop , good practice | 0.86 | 10.9 | 1.14 |
| Small grain , poor practice | 0.86 | 1.11 | 1.16 |
| Small grain , good practice | 0.84 | 1.11 | 1.16 |
| Meadow , rotation , good | 0.81 | 1.13 | 1.18 |
| Pasture , permanent , good | 0.64 | 1.21 | 1.31 |
| Woodland , mature , good | 0.45 | 1.27 | 1.4 |

## 2) วิธีคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

กรมชลประทานได้ทำการวิเคราะห์ และรวบรวมกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของลุ่มน้ำต่างๆ ในประเทศไทยตามเอกสาร Hydrology No.1502/08 ฉบับปรับปรุงแก้ไขซึ่งดำเนินการโดยส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ เมื่อปี 2552 เป็นความสัมพันธ์ของ ช่วงเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (Tp) และความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลสูงสุด (Qp) กับตัวแปรต่างๆของกลุ่มน้ำและลำน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$Tp = a\left(LL_c/\sqrt{S}\right)^b$$

$$Qp/A = c\left(T_p\right)^d$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | Tp | = | เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่า (ชั่วโมง) |
| | Qp | = | ปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่าของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/มิลลิเมตร) |
| | L | = | ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (กิโลเมตร) |
| | Lc | = | ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด (กิโลเมตร) |
| | S | = | ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ |
| | A | = | ขนาดของพื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร) |
| | a, b, c, d | | เป็นค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชชั่น ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากข้อมูลที่มีอยู่จริงในแต่ละลุ่มน้ำ |

ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น อันได้แก่ ค่า พื้นที่รับน้ำน้ำฝน (A) ค่าความยาวลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) ค่าความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (S) หาได้จากการวัดในแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

สำหรับค่า เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Tp) และค่าปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Qp) หาได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงของแต่ละสถานี

จากพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่คำนวณได้จากสมการทั้ง 2 นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ก็สามารถคำนวณกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำฝนของลุ่มน้ำย่อยได้ ซึ่งกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ของสถานีสำรวจอุทกวิทยา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1-8

**ตารางที่ 2.1-8** ความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และ $LL_c/\sqrt{S}$ และความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และTp ของสำหรับลุ่มน้ำต่าง ๆ

| ลำดับ | ลุ่มน้ำ | จำนวนสถานีที่ใช้วิเคราะห์ | $Tp=a(LLc/\sqrt{S})^b$ | | | $Qp/A=c(Tp)^d$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | a | b | $r^2$ | c | d | $r^2$ |
| 1 | ปิง | 11 | 0.5924 | 0.3108 | 0.7246 | 0.2094 | -1.0018 | 0.8893 |
| 2 | วัง | 5 | 0.0396 | 0.5773 | 0.8717 | 0.3202 | -1.1688 | 0.9154 |
| 3 | ยม | 5 | 1.6375 | 0.2377 | 0.7488 | 0.2385 | -1.0291 | 0.8666 |
| 4 | น่าน | 5 | 4.4121 | 0.1560 | 0.8190 | 1.6160 | -1.6074 | 0.8390 |
| 5 | โขง | 12 | 0.2837 | 0.3979 | 0.6433 | 0.2175 | -1.0008 | 0.7821 |
| 6 | ชี | 7 | 0.0092 | 0.7214 | 0.9614 | 0.1625 | -0.9550 | 0.9542 |
| 7 | มูล | 11 | 0.1909 | 0.5293 | 0.7052 | 0.2434 | -0.9887 | 0.8272 |
| 8 | ป่าสัก | 7 | 0.0234 | 0.6820 | 0.5881 | 0.1095 | -0.7042 | 0.6753 |
| 9 | ตะวันออก | 13 | 0.7331 | 0.3433 | 0.7451 | 0.1803 | -0.9535 | 0.9022 |
| 10 | ตะวันตก | 11 | 1.3152 | 0.2621 | 0.7117 | 0.1662 | -0.8747 | 0.5752 |
| 11 | ใต้ | 17 | 1.2636 | 0.2956 | 0.5804 | 0.5379 | -1.2642 | 0.8590 |

**ขั้นตอนการหา อัตราการไหลสูงสุด**

1. หาข้อมูลตัวแปรที่ต้องใช้ คือ
   - A หน่วยเป็น ตารางกิโลเมตร
   - L หน่วยเป็น กิโลเมตร
   - Lc หน่วยเป็น กิโลเมตร
   - S ความลาดเทของลำน้ำหลัก
   - I ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำ (มม.) จะใช้ฝนสูงสุด (มม./ชม.) ตามรอบ Return period ที่ต้องการคำนวณ
2. คำนวณค่า Tp จากสมการ Tp ของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำปิง $Tp = 0.5924\ (LL_C/\sqrt{S})^{0.3108}$
3. คำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดของฝนหนึ่งหน่วย Qp จากสมการกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มแม่น้ำปิง $Qp = A \times 0.2094 \times (Tp)^{-1.0018}$
4. หาช่วงเวลาการตกของฝนวิกฤต ( Duration, Tr ) โดยหาได้จาก 2 สมมติฐาน
   ก) ช่วงเวลาการตกของฝนวิกฤต เท่ากับ ช่วงเวลาการไหลรวมของน้ำ (Time of concentration ) ซึ่งสามารถหาได้จากสูตรการหาค่า Tc ที่กล่าวถึงแล้วข้างต้น
   ข) ให้ช่วงเวลาการตกของฝน Tr = Tp/5.5 เลือกใช้ค่า Tr ที่น้อยกว่า
5. นำค่า Tr ที่ได้ไปหาค่าความเข้มของฝน (I) ในรอบปีที่ใช้ออกแบบ จาก IDF Curve

6. หาค่าวิกฤตฝน  Ir = I x Tr
7. หาค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่าจากปริมาณฝนรวม (ฝนเฉลี่ยรายวัน)

   เช่น  ลุ่มน้ำยม Co = 0.1787 RF + 3.8849          Co =    ....................%

8. หาค่าปริมาณน้ำฝนใช้การ = Co x Ir
9. อัตราการไหลสูงสุด = (Co x Ir) x Qp (ลบ.ม./วินาที)

**ข้อจำกัดในการใช้ Unit Hydrograph**

• พื้นที่ลุ่มน้ำ ไม่ควรเกิน 10,000 ตารางกิโลเมตร
• ด้านเหนือน้ำ ต้องไม่มีอ่างเก็บน้ำ หรือฝายขนาดใหญ่

**ข้อมูลที่ต้องมี (ณ จุดที่ตั้งที่ต้องการหาปริมาณน้ำนองสูงสุดและปริมาตรน้ำนอง)**

• ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) – ตารางกิโลเมตร
• ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดที่พิจารณาถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) – กิโลเมตร
• ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดที่พิจารณาถึงจุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด (Lc) – กิโลเมตร
• ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (S)
• ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำ – มิลลิเมตร (ช่วงเหตุการณ์ที่ต้องการประเมิน)

**ตัวอย่าง**

ณ บริเวณหัวงานที่ต้องการทราบปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ตัวอย่างในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิง) วัดพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ได้ 120 ตารางกิโลเมตร วัดความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกถึงจุดไกลบนสันปันน้ำ (L) ได้ 25.27 กิโลเมตร วัดความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกถึงจุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด (Lc) ได้ 11.37 กิโลเมตร ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (S) ได้ 0.0035 และค่าปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำ 150 มิลลิเมตร

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จะได้ | A | = | 120 | | | |
| | L | = | 25.25 | Lc | = | 11.37 |
| | S | = | 0.0035 | RF | = | 150 |

หาค่า Tp จากสมการลุ่มน้ำปิง      $Tp = 0.5924 (LLc/\sqrt{S})^{0.3108}$

แทนค่า L, Lc, S      $Tp = 0.5924 \times (25.25 \times 11.37/\sqrt{0.0035})^{0.3108}$

ปรับเป็น      Tp = 8 ชั่วโมง

**ตารางที่ 2.1-9** การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่าจากปริมาณฝนรวม

| ปริมาณฝนรวม RF (mm.) | กรณีฝนปกติ $Co_1$ (%) | กรณีฝนตกหนักต่อเนื่อง $Co_2$ (%) |
|---|---|---|
| ภาคเหนือลุ่มน้ำน่านที่สถานี N.42 พื้นที่รับน้ำฝน2,107 ตร. กม | | .........(สงวน, 2542) |
| | $Co_1$ = 0.2159 RF – 2.687 | $Co_2$ = 0.2176 RF + 2.4881 |
| | $R^2$ = 0.5885 | $R^2$ = 0.7398 |
| ภาคเหนือลุ่มน้ำยมที่สถานี Y.20 พื้นที่รับน้ำฝน 5,410 ตร.กม. | | .........(อัมพร, 2542) |
| | $Co_1$ = 0.1787 RF + 3.8849 | $Co_2$ = 0.2343 RF + 3.4343 |
| | $R^2$ = 0.8002 | $R^2$ = 0.7607 |
| ภาคตะวันออกเฉียงเหนือลุ่มแม่น้ำชีที่สถานี E.29 พื้นที่รับน้ำฝน 945 ตร.กม. | | ........(รัตนา,2542) |
| | $Co_1$ = 0.1233 RF + 26.996 | $Co_2$ = 0.1017 RF + 31.045 |
| | $R^2$ = 0.5793 | $R^2$ = 0.4821 |
| ภาคตะวันตกลุ่มน้ำแควน้อยที่สถานี K.22A พื้นที่รับน้ำฝน 321 ตร.กม. | | (พงศักดิ์ & สถาพร, 2542) |
| | $Co_1$ = 0.1593 RF + 10.792 | $Co_2$ = 0.3281 RF + 12.977 |
| | $R^2$ = 0.6365 | $R^2$ = 0.9757 |
| ภาคใต้ลุ่มน้ำตาปีที่สถานี X. 102A พื้นที่รับน้ำฝน 152 ตร.กม. | | .........(นพคุณ, 2538) |
| | $Co_1$ = 0.139 RF + 9.0809 | $Co_2$ = 0.1508 RF + 14.277 |
| | $R^2$ = 0.7773 | $R^2$ = 0.8414 |

หาค่า Qp จากสมการลุ่มน้ำปิง $Qp = 120 \times 0.2094 \times (Tp)^{-1.0118}$

แทนค่า Tp $Qp = 120 \times 0.2094 \times (8)^{-1.0118}$

Qp = 3.065 ลบ.ม./วินาที/มม.

หาค่าปริมาณน้ำฝนใช้การ จากสมการลุ่มน้ำยม (ใกล้เคียงลุ่มน้ำปิงมากที่สุด)

$Co = 0.1787\ RF + 3.8849$

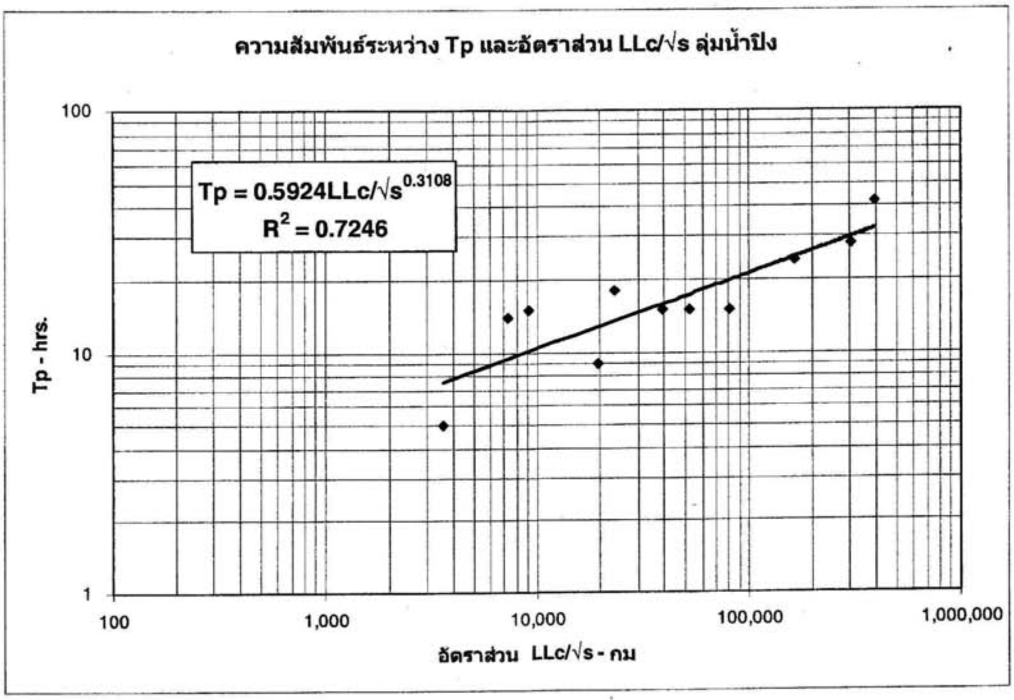
แทนค่า RF = 150 ในสมการ

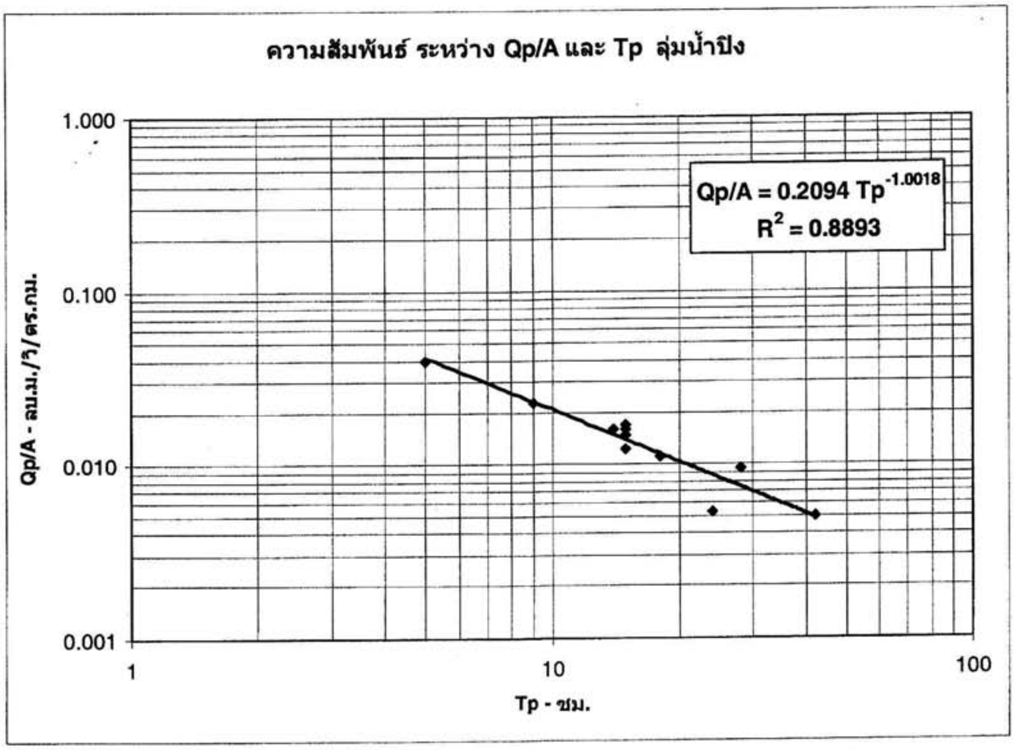
$Co = 0.1787 \times 150 + 3.8849 = 30.69\ \%$

จากปริมาณน้ำฝนใช้การ 30.69 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 46 มิลิเมตร

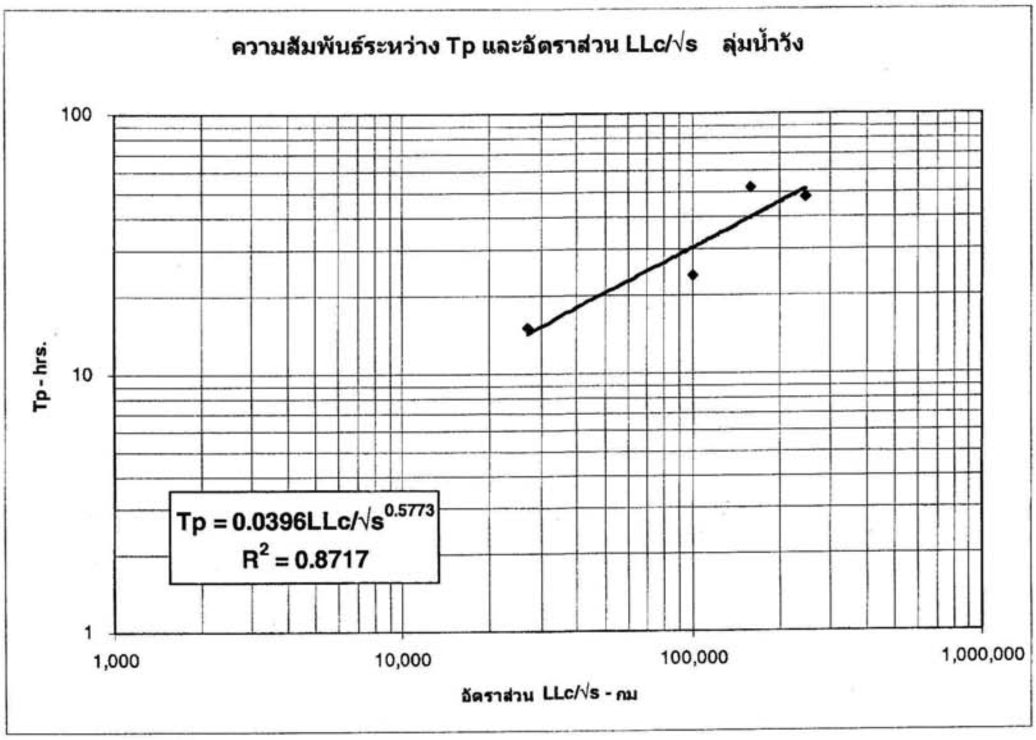
ปริมาณน้ำนองสูงสุด = 46 x 3.065 ลบ.ม./วินาที

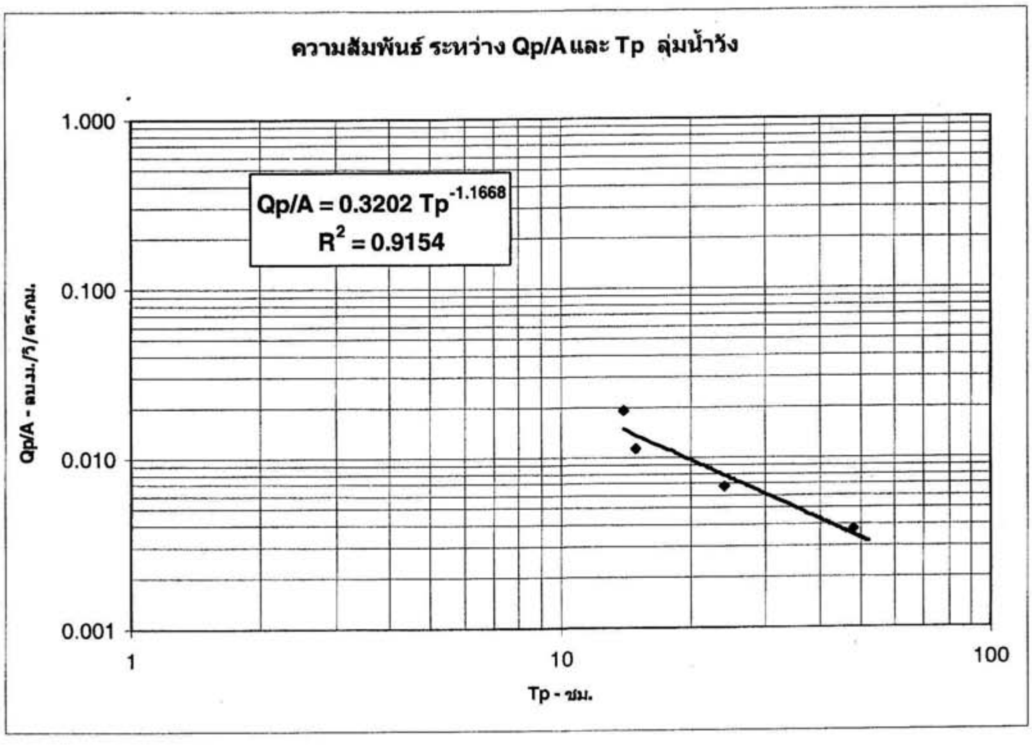
เพื่อความสะดวกในการคำนวณ กรมชลประทานได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp กับอัตราส่วน $LL_c/\sqrt{S}$ และความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A กับ Tp ของลุ่มน้ำต่างๆไว้ดังรูปที่ 2.1-16



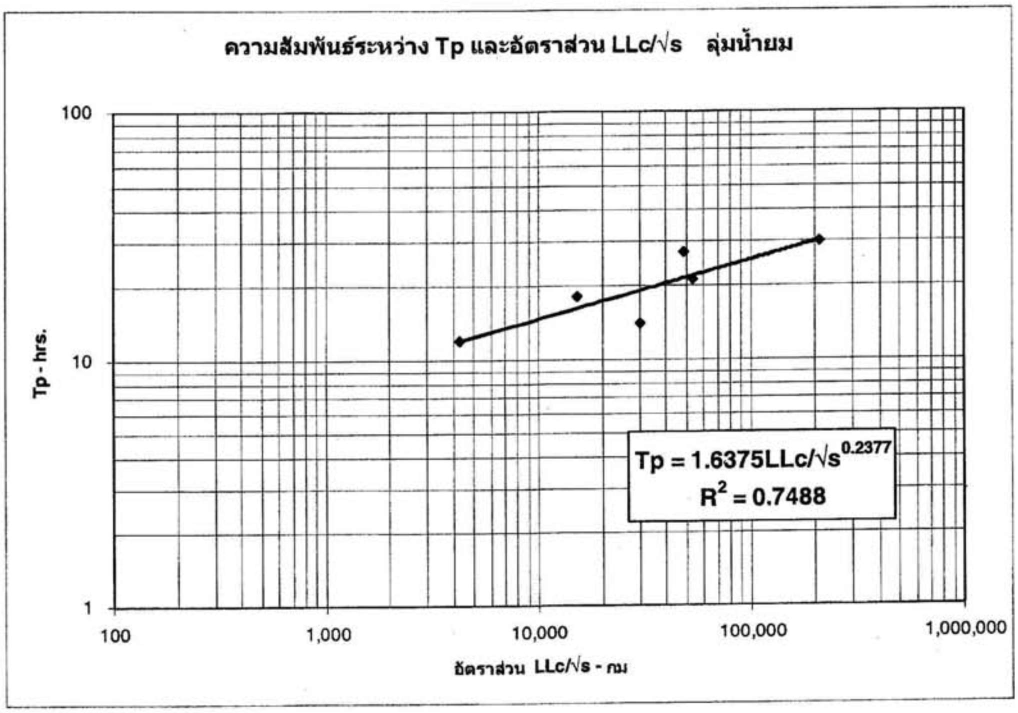



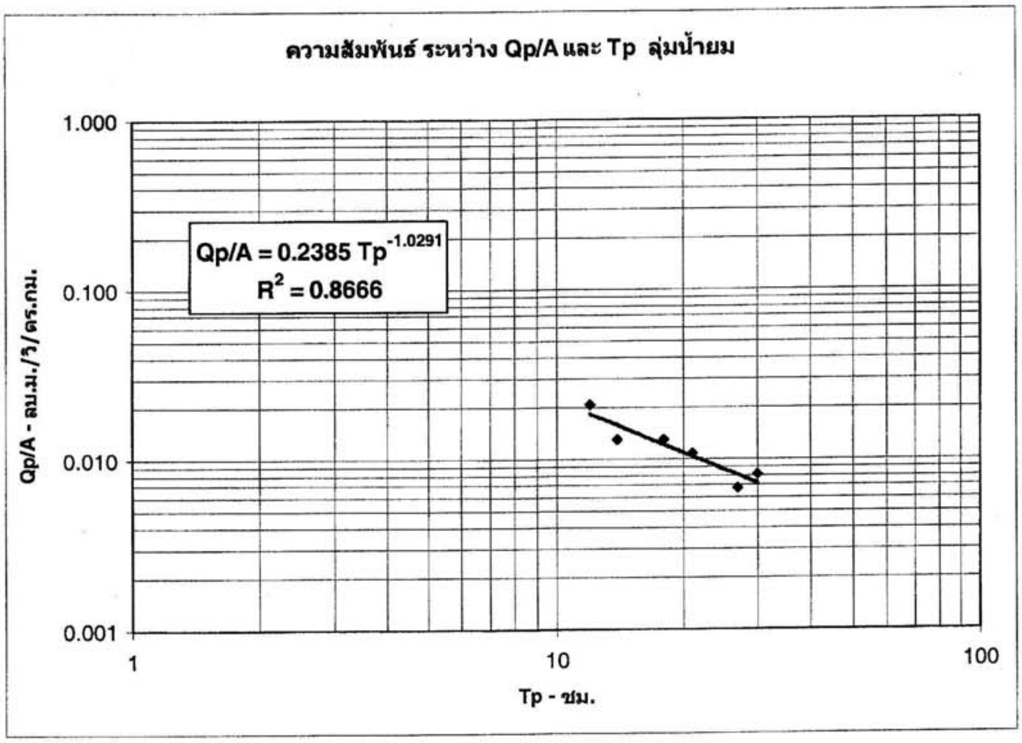

รูปที่ 2.1-13a กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{s}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำปิง



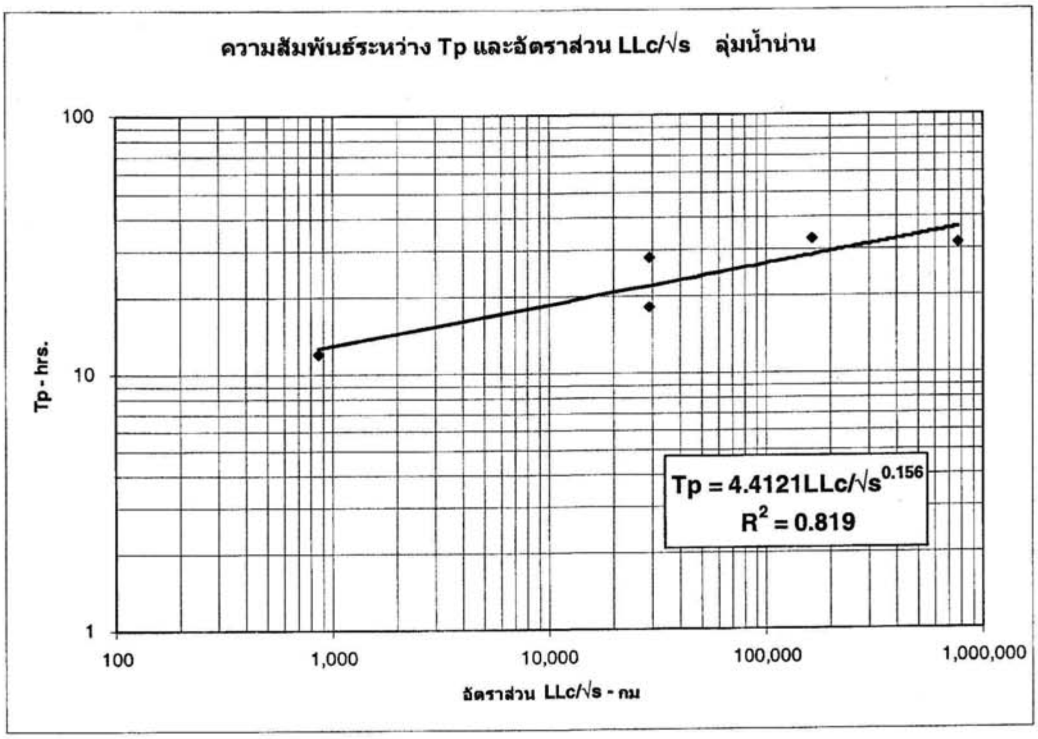



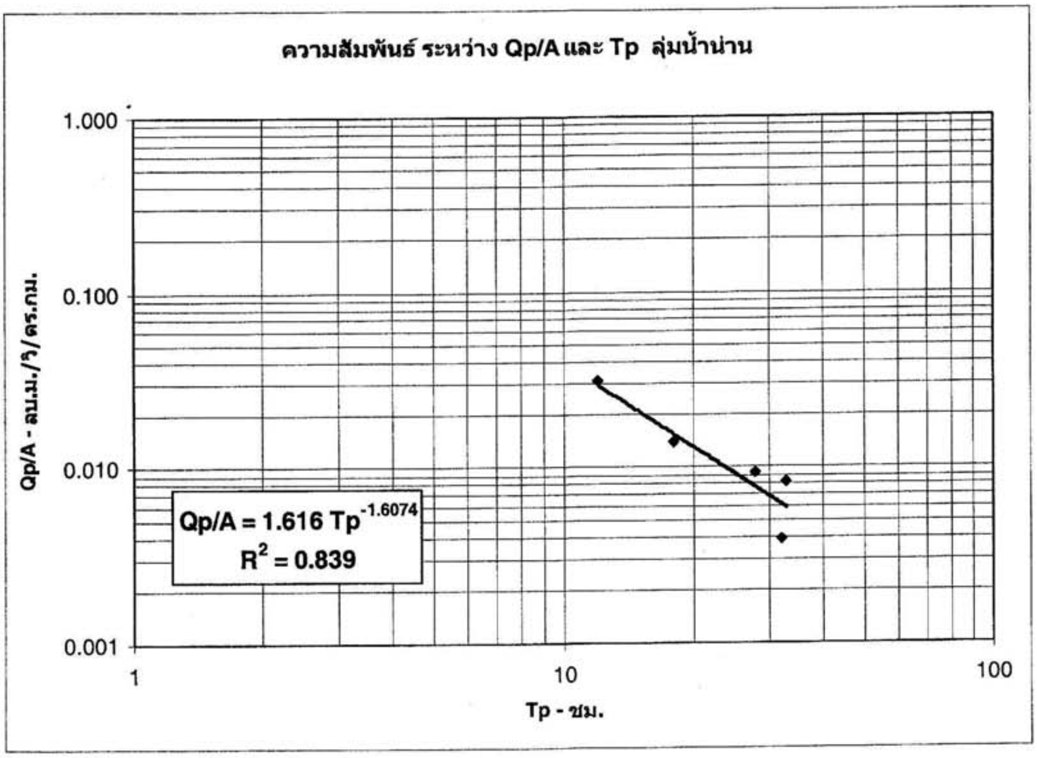

รูปที่ 2.1-13b กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{S}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำวัง



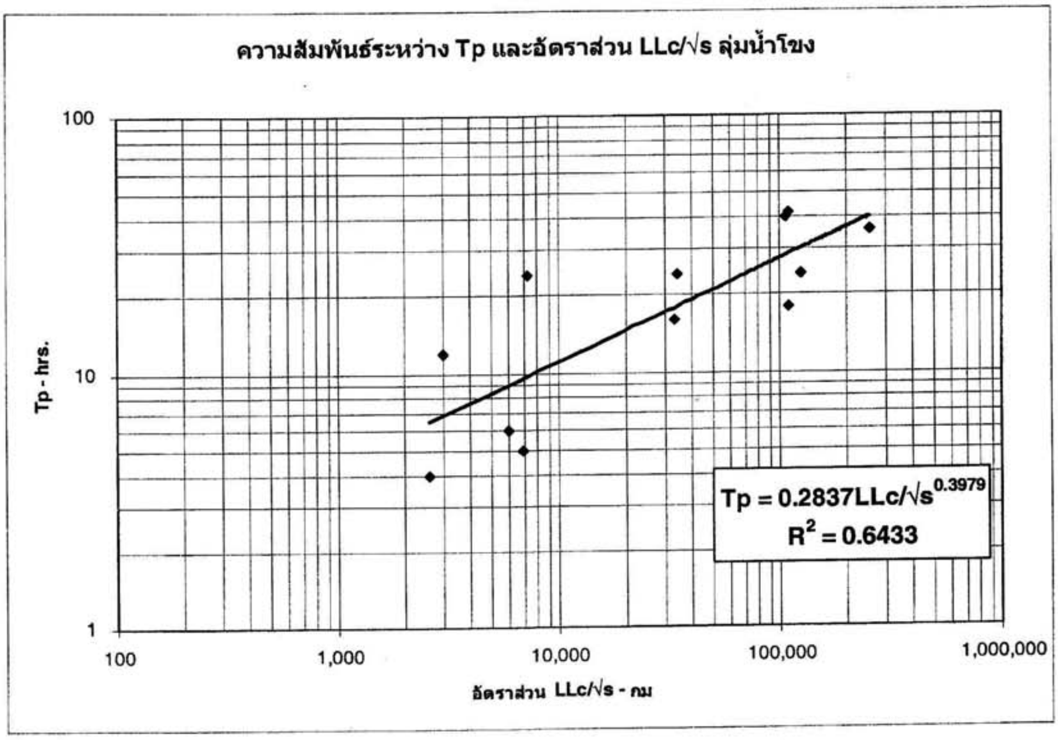



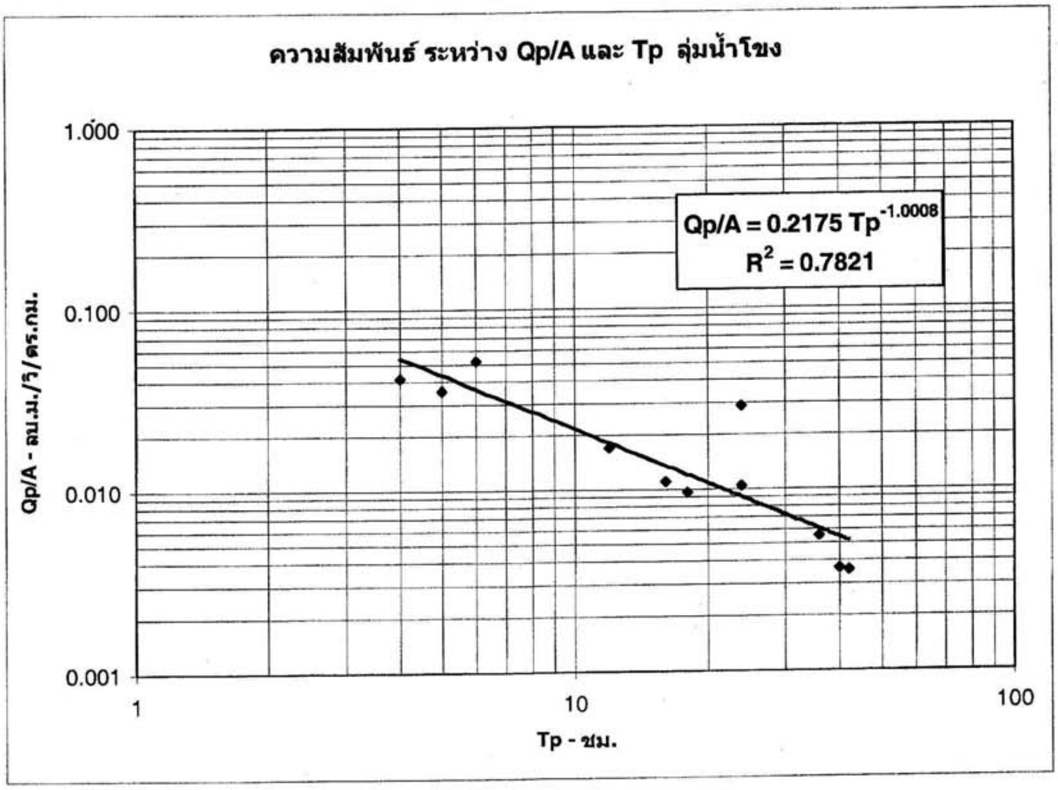

รูปที่ 2.1-13c กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{s}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำยม



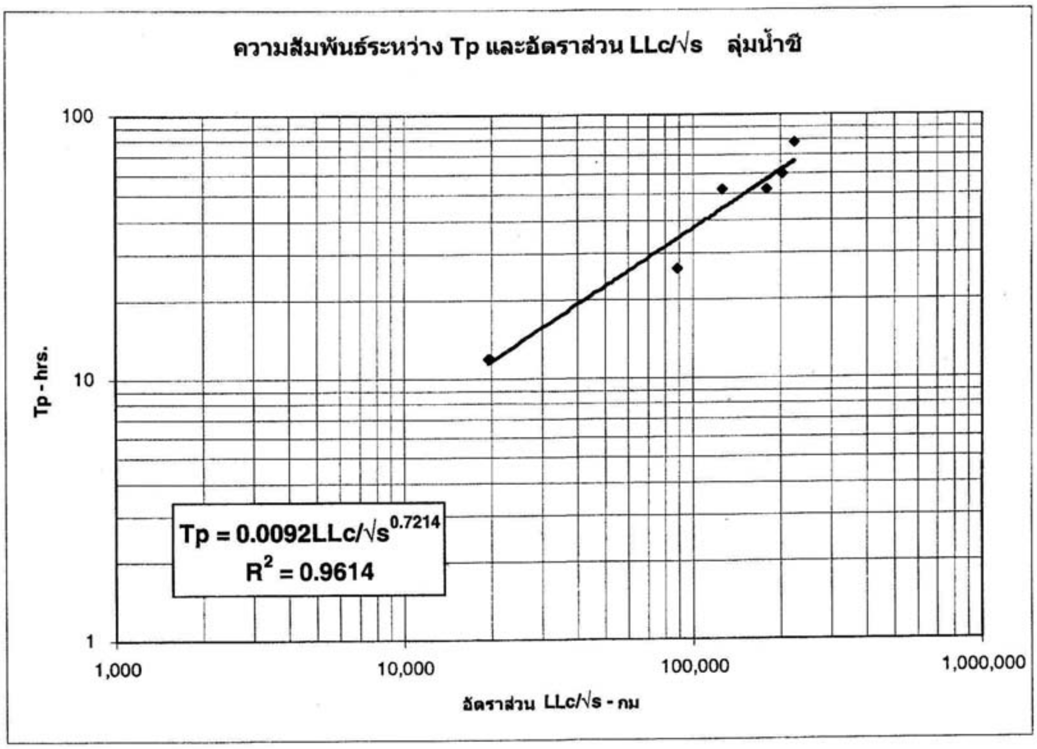



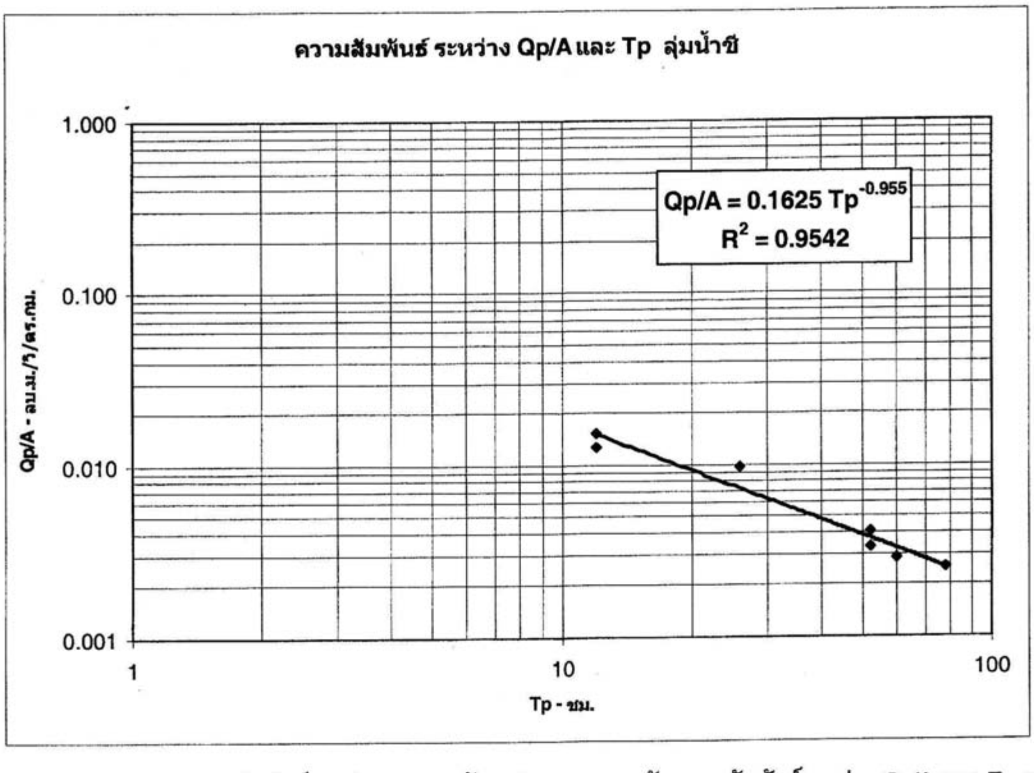

รูปที่ 2.1-13d กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{S}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำน่าน



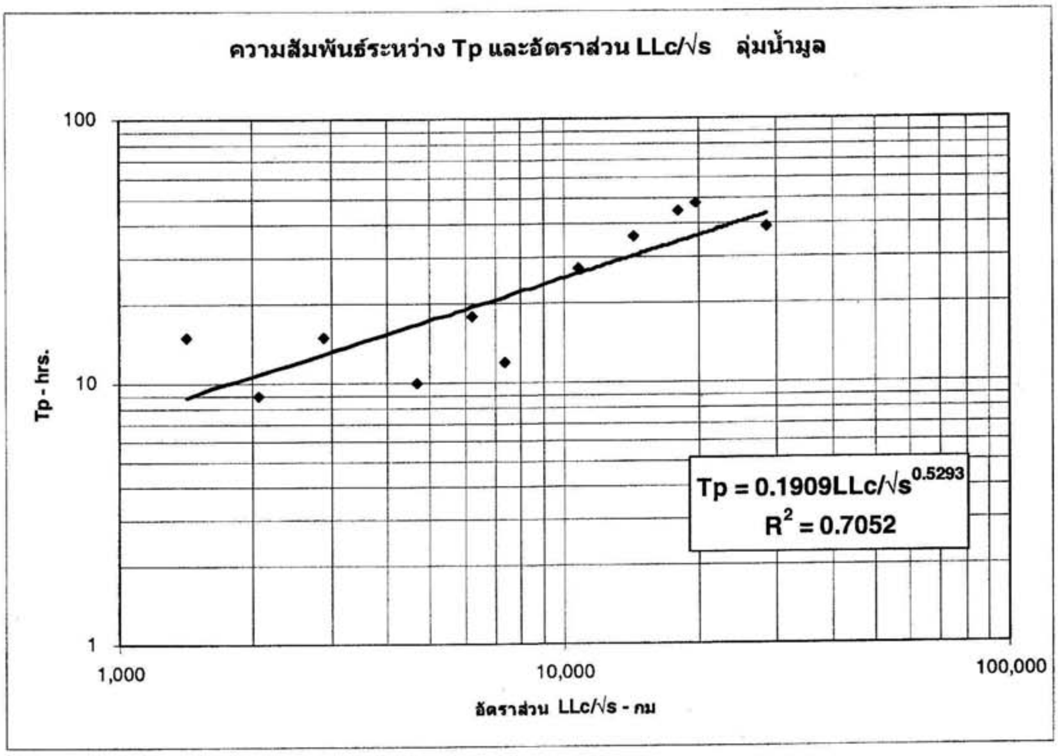



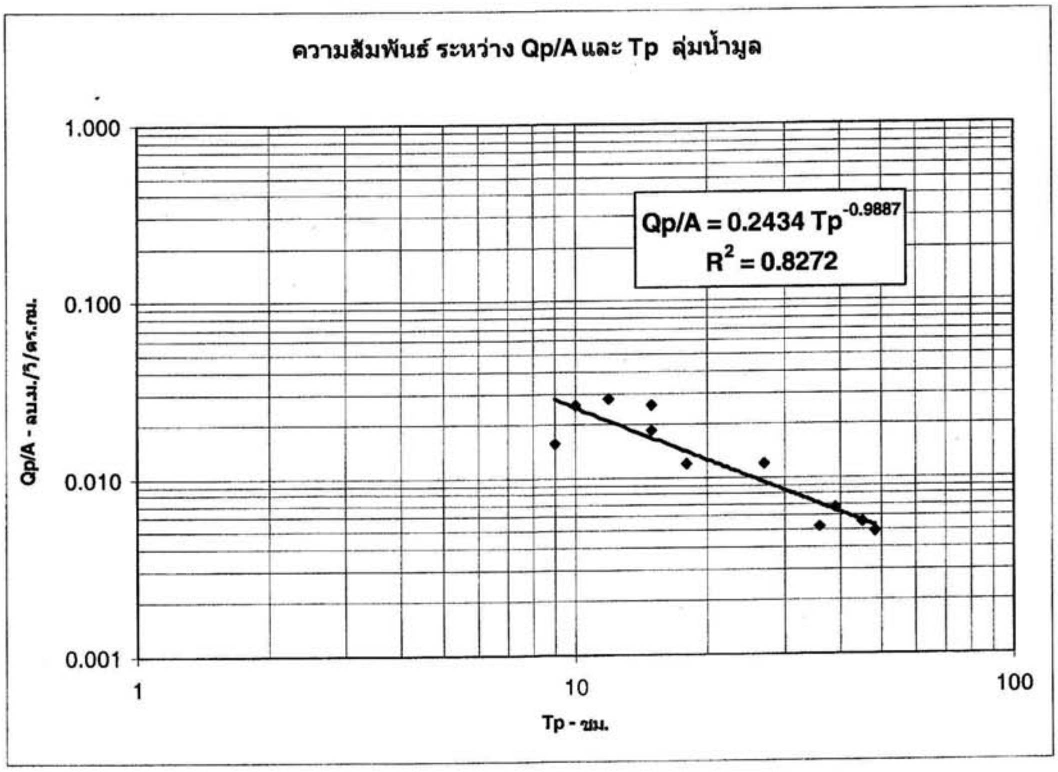

รูปที่ 2.1-13e กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{S}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำโขง



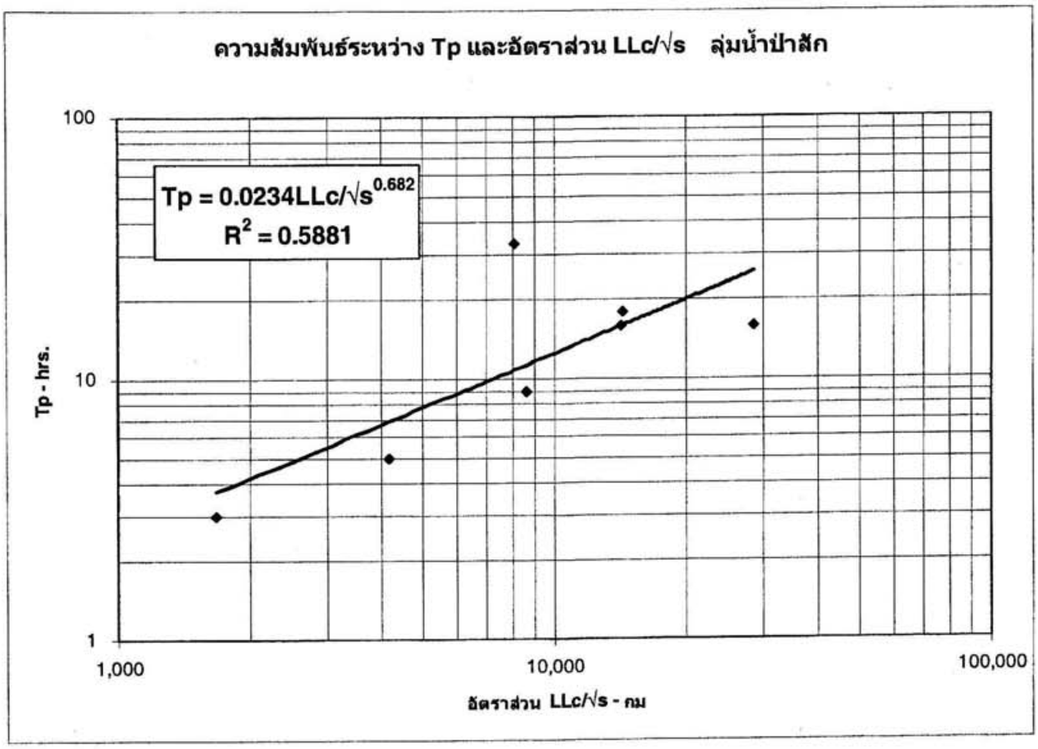



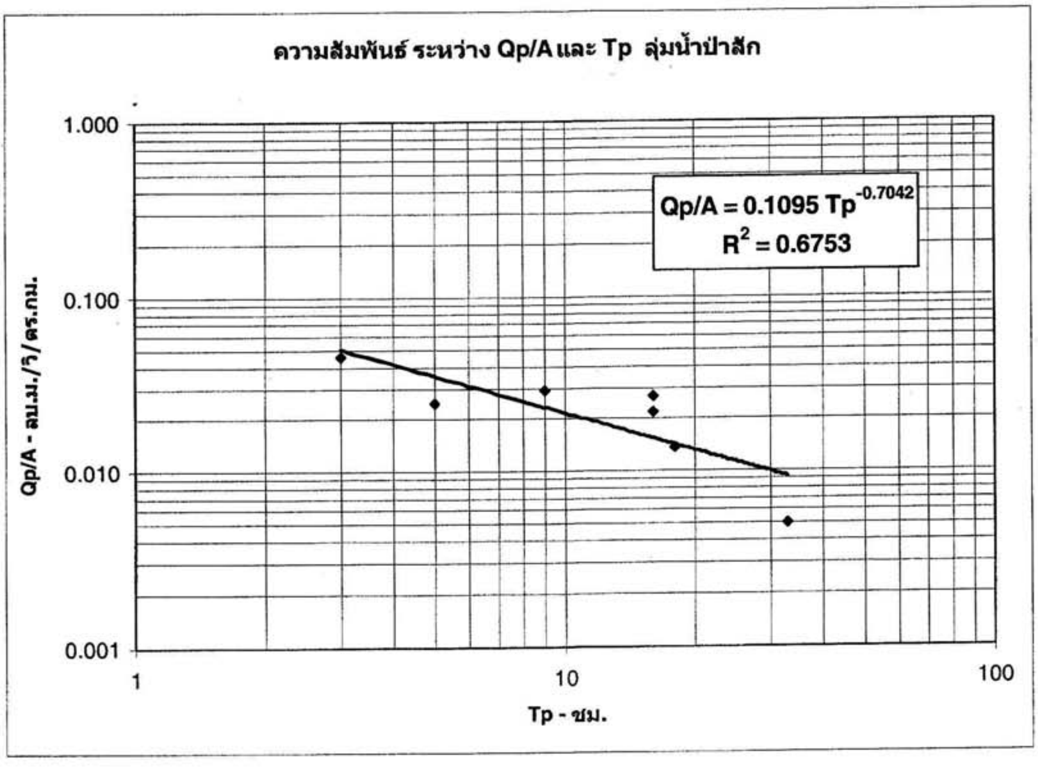

รูปที่ 2.1-13f กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{S}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำชี



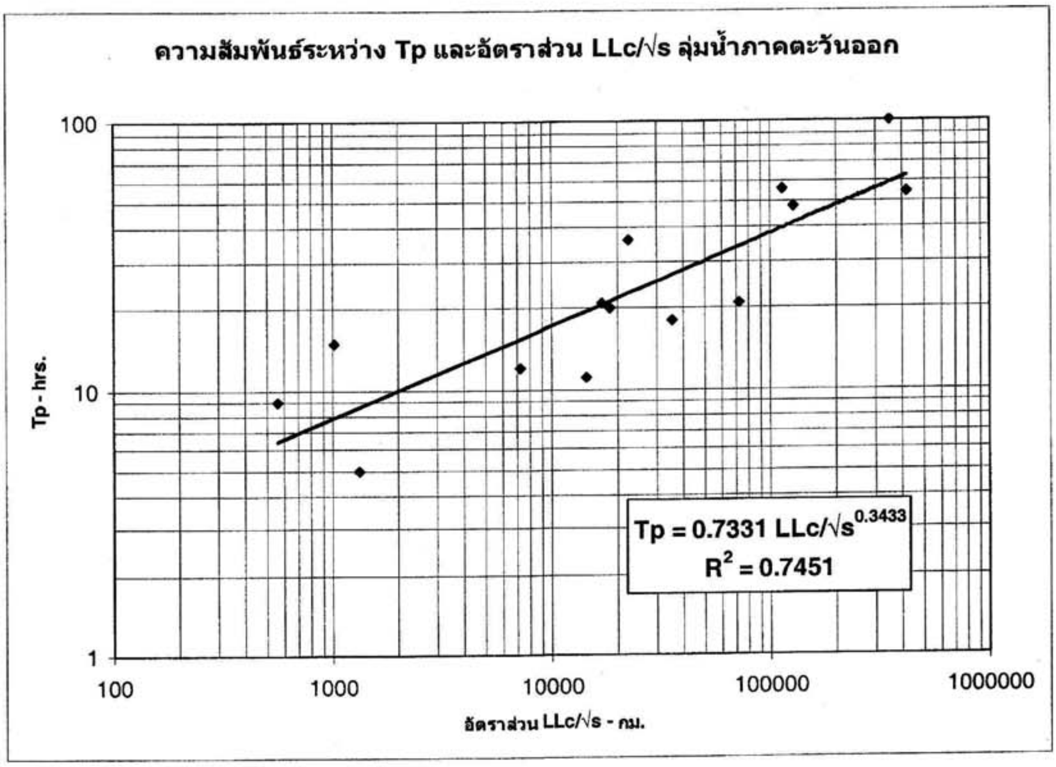



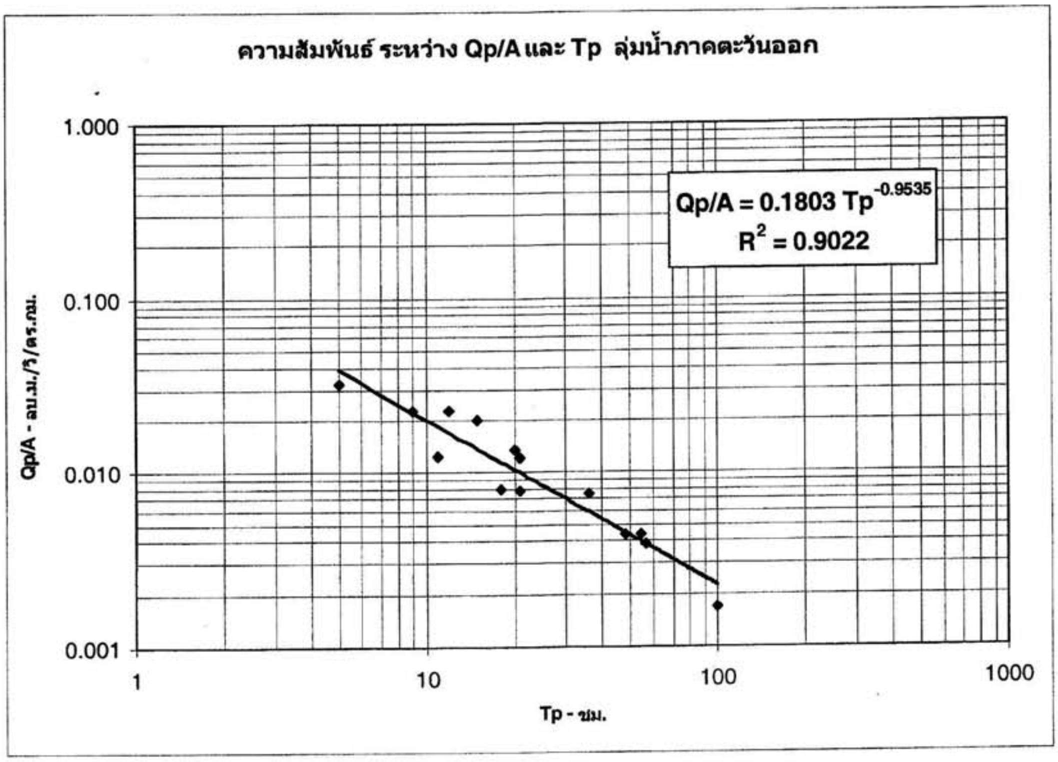

รูปที่ 2.1-13g กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{S}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำมูล



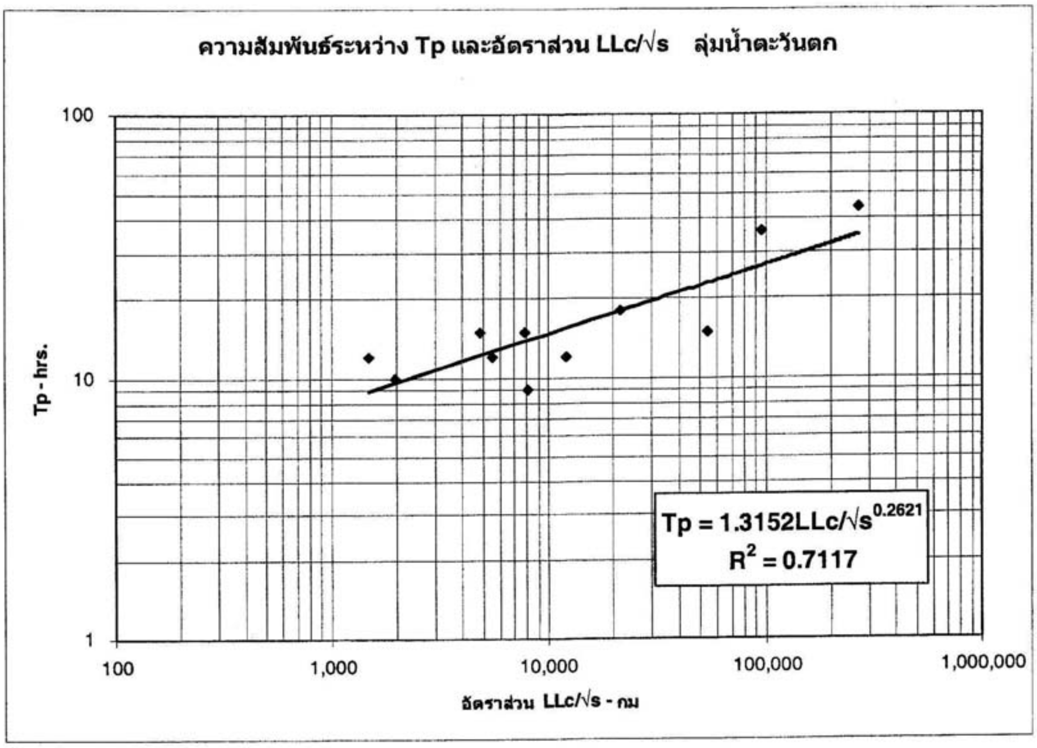



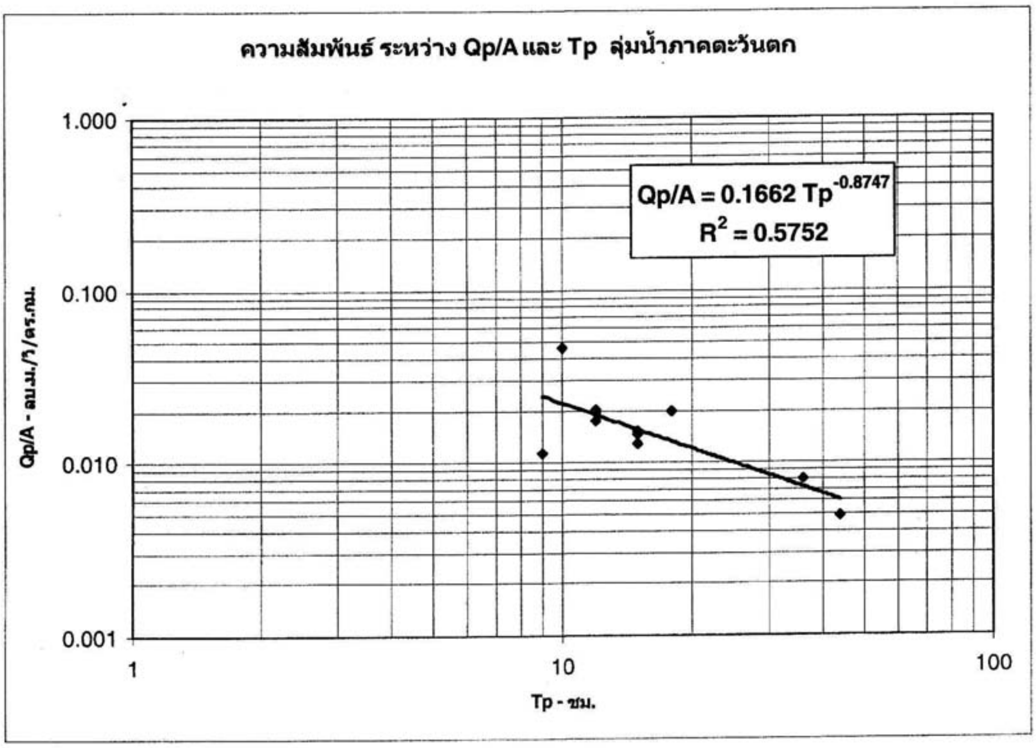

รูปที่ 2.1-13h กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{s}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำป่าสัก



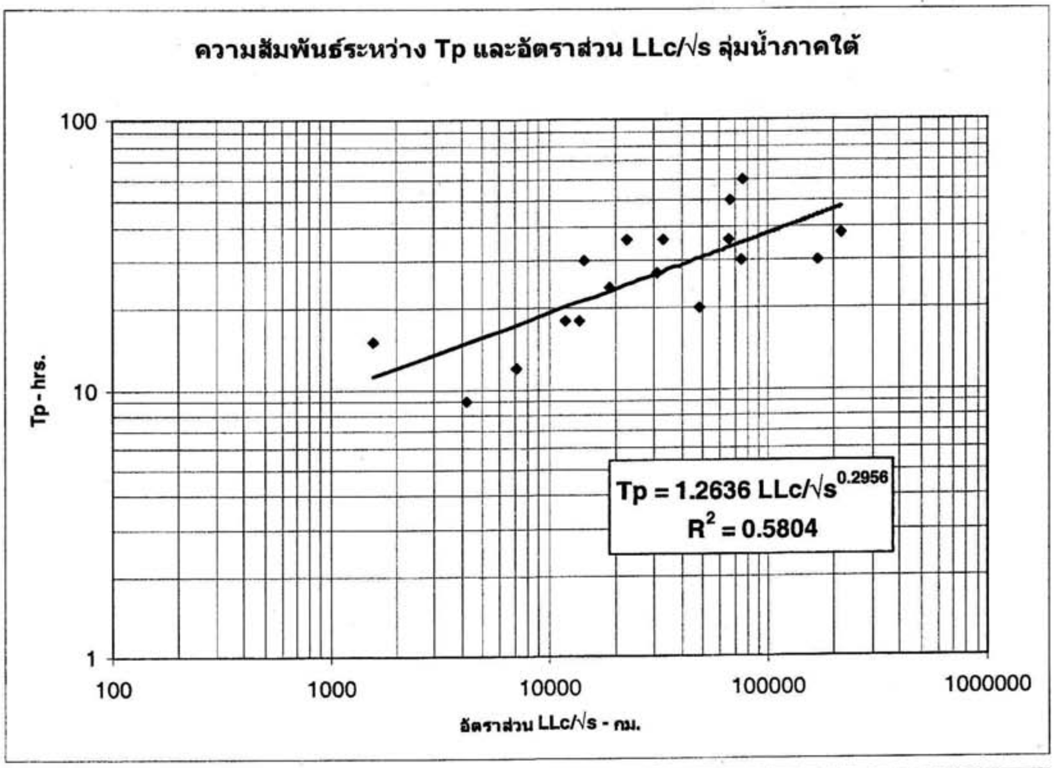



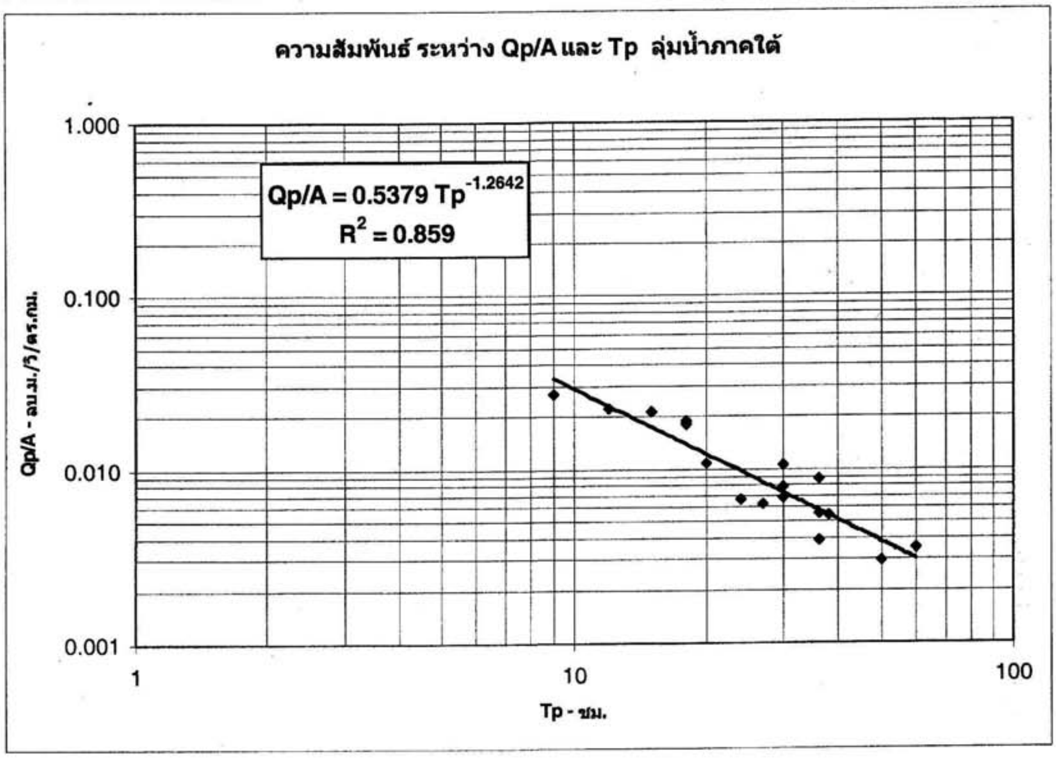

**รูปที่ 2.1-13i** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{s}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำภาคตะวันออก




รูปที่ 2.1-13j กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน LLc/$\sqrt{S}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำภาคตะวันตก

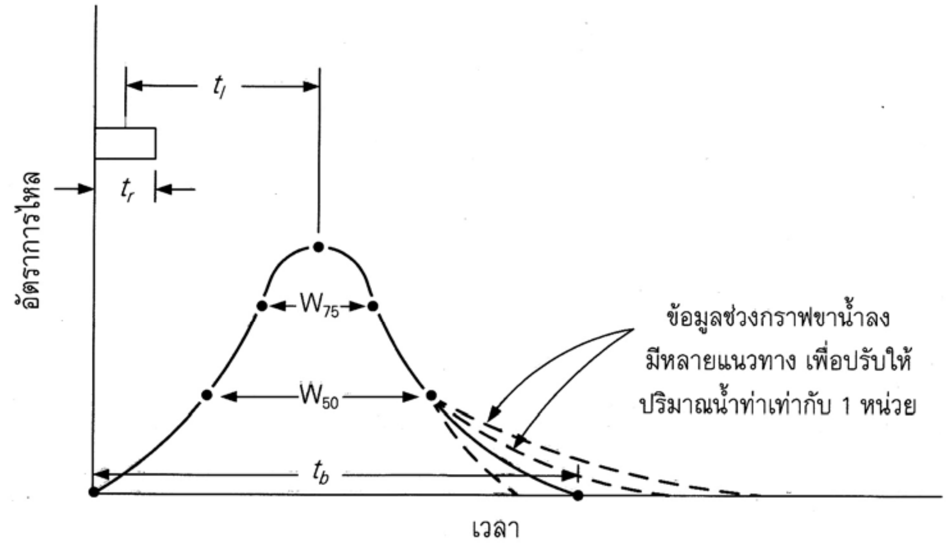



รูปที่ 2.1-13k กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และอัตราส่วน $LLc/\sqrt{S}$ กับความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของลุ่มน้ำภาคใต้

### 3) วิธีคำนวณอัตราการไหลสูงสุด โดยใช้วิธีของสไนเดอร์ (Snyder)

เป็นวิธีที่ได้จากการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากผลการศึกษาในพื้นที่รับน้ำหลายแห่งซึ่งมีขนาด 10 ถึง 10,000 ตารางไมล์ จากพื้นที่ราบสูงของเทือกเขา แอพพาลาเชี่ยน ในสหรัฐอเมริกา โดยการคำนวณตัวแปรต่างๆ คือ Time Lag , ฐานเวลา (time base) , ช่วงเวลาวิกฤตของฝน ดังรูป




**รูปที่ 2.1-14 การสังเคราะห์กราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยตามวิธีของสไนเดอร์**

ทำให้สามารถหาค่าอัตราการไหลที่ช่วงเวลาต่างๆ เนื่องจากฝนตกในพื้นที่รับน้ำได้ สำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทาง ตัวแปรสำคัญที่ต้องการทราบคือค่าอัตราการไหลสูงสุด (Peak Discharge) เท่านั้น ดังนั้นในคู่มือเล่มนี้จึงจะกล่าวถึงรายละเอียด เฉพาะการหาค่าอัตราการไหลสูงสุดเท่านั้น จะไม่ขอกล่าวถึงการสงเคราะห์ Unit hydrograph ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับตัวแปร ต่อไปนี้

- ช่วงเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด (Time to peak) หน่วยเป็นชั่วโมงหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$T_l = C_t(L.L_c)^{0.3}$$

เมื่อ $L$ = คือระยะทางตามแนวลำน้ำสายหลักจากจุดไกลสุด บนสันปันน้ำถึงตำแหน่งที่พิจารณาออกแบบ อาคารระบายน้ำ หน่วยเป็นกิโลเมตร

$L_c$ = คือระยะทางตามแนวลำน้ำสายหลัก จากจุดที่ใกล้จากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำมากที่สุด ถึงจุดที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

$C_t$ = คือค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทและที่ตั้งของลำน้ำ

ค่า L และ $L_c$ ประมาณค่าได้จาก แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ สำหรับค่า $C_t$ จากผลการศึกษาของสไนเดอร์ในพื้นที่ราบสูงแอพพาลาเซี่ยน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 ถึง 2.2

ช่วงเวลาวิกฤตของฝน (Critical Rainfall Duration) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$T_r = \frac{T_l}{5.5}$$

$$= \frac{C_t}{5.5}(L \cdot Lc)^{0.3}$$

สำหรับพื้นที่รับน้ำฝนในประเทศไทยมีหลายหน่วยงานให้เลือกใช้ค่า $C_t$ = 1.5 ดังนั้น

$T_r$ = $1.5/5.5 \times (L.L_c)^{0.3}$

หรือ = $1.5/5.5 \times (L^{0.30})(L_1)^{0.30}$

เมื่อ $T_r$ = ช่วงเวลาฝนวิกฤต มีหน่วยเป็นชั่วโมง

$L_1$ = อัตราส่วน ($L_c$ / L)

เมื่อได้ $T_r$ แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่า $Q_p$ จากสูตร

$q_p$ = $K_p / T_r$

โดยค่า $q_p$ = อัตราการไหลสูงสุดของกราฟ 1 หน่วยน้ำท่า มีหน่วยเป็น ลิตร/วินาที/ตร.กม.

$K_p$ = สัมประสิทธิ์ มีค่าประมาณ 28 ถึง 34 ขึ้นอยู่กับความลาดชันของลุ่มน้ำ และ พืชที่ปกคลุมดิน

และนำค่า $Q_p$ ไปหาค่าอัตราการไหลสูงสุดจากพื้นที่ด้วยสูตร

$$Q = 0.001\, q_p\, (\alpha I - \phi)\, Tr\, A$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.เมตร/วินาที

$\alpha$ = reduction factor สำหรับลดขนาด point rainfall intensity ในกรณี ลุ่มน้ำขนาดใหญ่

I = ความเข้มน้ำฝน มีหน่วยเป็น มม./ชม. จากกราฟความเข้มน้ำฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ การเกิดซ้ำ

$\phi$ = ความสามารถซึมได้ของดิน (Infiltration capacity) มีหน่วยเป็น มม./ชั่วโมง

A = พื้นที่ลุ่มน้ำ มีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดง ตารางที่ 2.1-11, ตารางที่ 2.1-12, ตารางที่ 2.1-13 และ รูปที่ 2.1-18

**ตารางที่ 2.1-11** ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณการไหลสูงสุด (Peak Discharge Coefficient) $K_p$

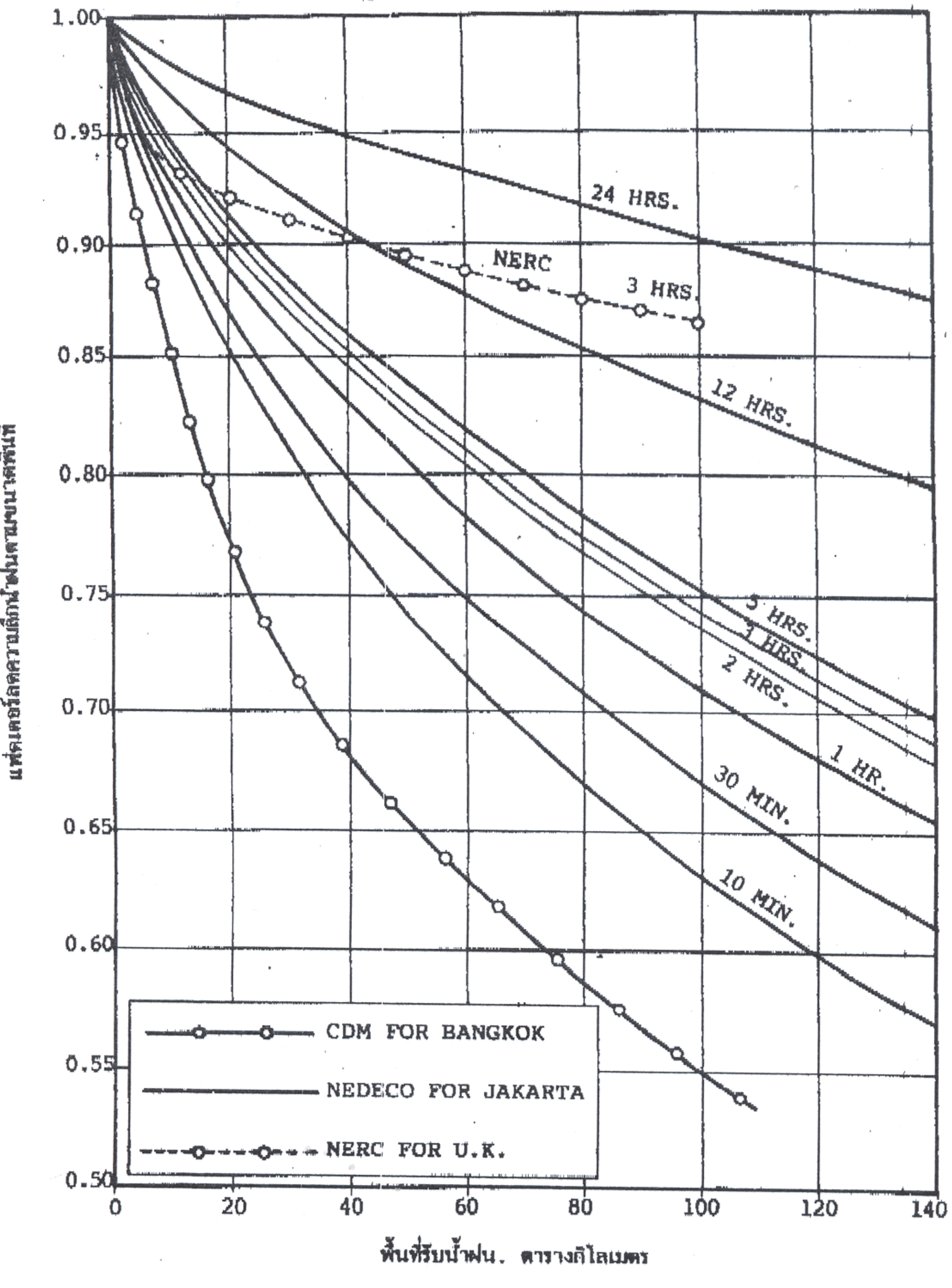
| Catchment Topography | Peak Discharge Coefficient $K_p$ |
|---|---|
| Foothills and gently undulating slopes with forest or grass cover | 28-30 |
| Steep forested terrain in the head waters, foothills and plain with a cover of forest or grass in the lower reaches | 30-32 |
| Steep forested slopes of high and low mountains | 32-34 |

**ตารางที่ 2.1-12** ค่าความสามารถซึมผ่านได้ของดิน (Infilltration capacity) ( $\phi$ )

| Cover Factor | Type | $\phi$(mm / hr) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Clays | Clay Loams | Sandy Loams |
| 1.0 - 2.0 | Poor | 2 - 9 | 4 - 13 | 5 - 20 |
| 2.0 - 4.0 | Medium | 5 - 17 | 8 - 27 | 13 - 45 |
| 4.0 - 8.0 | Good | 10 - 35 | 15 - 55 | 25 - 90 |

**ตารางที่ 2.1-13** Infiltration Cover Factors

| Vegetation | Condition | Cover Factor |
|---|---|---|
| Forest | Good-dense canopy, thick undergrowth,plant litter and humus more than 25 mm in thickness. | 4.0-8.0 |
| | Medium-thin forest, sparse undergrowth of shrubs and grasses, litter and humus 5-25 mm thick, slight soil erosion. | 2.0-4.0 |
| | Poor - Isolated clumps of tress and bamboo. little grass between clumps,humus less than 5 mm thick, area eroded or overgrazed | 1.0-2.0 |
| Grasses (Including Rice) | Good-dense vegetal cover of high quality grass, area in grass for several years, not overgrazed , inundated rice at all stages of growth. | 4.0-8.0 |
| | Medium- vegetal density 30-80 percent of that of good areas, areas in grass at least 2 years , not overgrazed | 2.0-4.0 |
| | Poor-density of vegetation less than 30 percent of that of good areas , sparse growth of poor qualtiy grass, area overgrazed | 1.0-2.0 |
| Close Growing Crops (Small Grains) | Good-high plant density, soil fertility at a high level | 2.5-3.0 |
| | Medium - density and fertility 30-80 percent of that of good areas. | 1.5-2.0 |
| | Poor-sparse cover , density and fertility less than 30 percent of that good areas. | 1.0-1.5 |
| Row Crops | Good-flourishing vegetation, high soil fertility, land in best rotation, good farming practices followed | 1.3-1.5 |
| | Medium-vegetation good, fertility 30-80 percent of that of good areas, land in fair rotation, conservative farming practices followed | 1.1-1.5 |
| | Poor-vegetation poor, fertility less than 30 percent of that of good areas,row crops grown continuously, poor farming practices followed | 1.0-1.1 |




**รูปที่ 2.1-15** กราฟแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่

**4) วิธีคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยใช้ผลการศึกษาความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค สำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย (Regional Flood Frequency Studies of River Basin in Thailand)**

ผลการศึกษาความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย ที่ใช้อ้างถึงในคู่มือเล่มนี้มาจากเอกสารทางวิชาการ Hydrology No.1356/02 จัดทำโดยส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาบริหารน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ 6 ภาค ตามลักษณะภูมิประเทศ คือภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคใต้ ซึ่งในแต่ละภาคยังแบ่งย่อยตามพื้นที่ลุ่มน้ำหลักอีกหลายลุ่มน้ำ ดังนี้

3.1) ภาคเหนือ แบ่งเป็นลุ่มน้ำหลัก 7 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำปิง , ลุ่มน้ำวัง , ลุ่มน้ำยม , ลุ่มน้ำน่าน , ลุ่มน้ำอิง และ ลุ่มน้ำสาละวิน

3.2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งเป็น 3 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำโขง , ลุ่มน้ำชี และลุ่มน้ำมูล

3.3) ภาคกลาง แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา , ลุ่มน้ำสะแกรัง , ลุ่มน้ำป่าสัก และ ลุ่มน้ำท่าจีน

3.4) ภาคตะวันออก แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา , ลุ่มน้ำปราจีน , ลุ่มน้ำโตนทะเลสาบ (ทะเลสาบเขมร) และลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก

3.5) ภาคตะวันตก แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มแม่น้ำกลอง , ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี , ลุ่มแม่น้ำปราณบุรี และ ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก

3.6) ภาคใต้ แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก , ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก , ลุ่มน้ำตาปี และลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดของน้ำในรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ($Q_{Tr}$) กับพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) นั้น ดำเนินการโดยการวิเคราะห์ตัวแปรความสัมพันธ์แบบถดถอย (Regression) ในรูปสมการต่อไปนี้

$$Q_{Tr} = aA^{b}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | $Q_{Tr}$ | = | อัตราการไหลสูงสุดในรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที |
| | A | = | พื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร |
| | a, b | = | สัมประสิทธิ์สมการถดถอย |

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุด ($Q_{Tr}$) กับพื้นที่รับน้ำ (A) สำหรับลุ่มน้ำต่าง ๆ ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดกับพื้นที่รับน้ำในรูปที่ A-1 ถึง A-22

**ตัวอย่างเช่น** สูตรความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดกับพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ตอนบนเหนือเขื่อนภูมิพล สำหรับรอบการเกิดซ้ำของฝน 50 ปี คือ

$$Q_{Tr} = 5.3.557\ A^{0.6253}$$

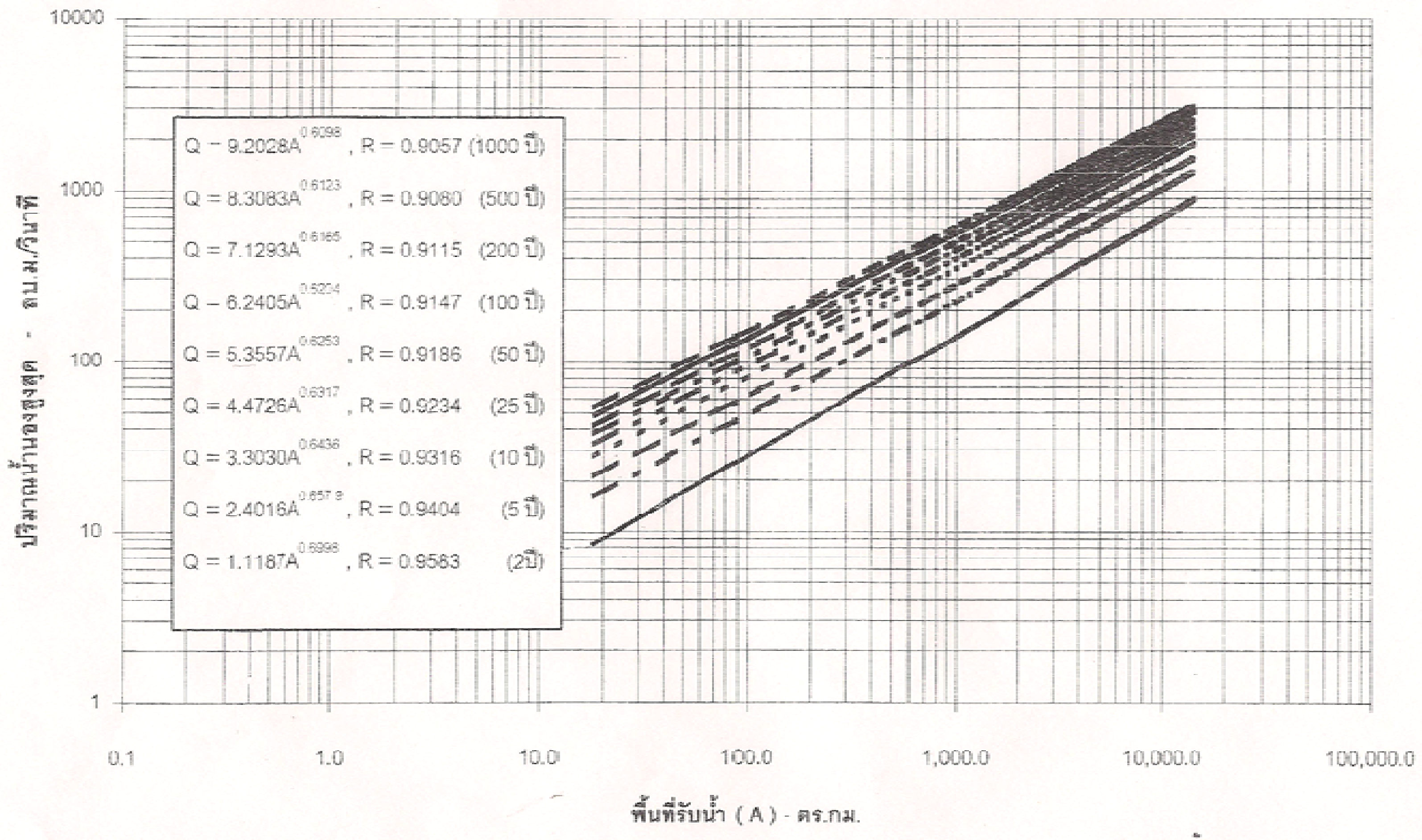
สมมุติพื้นที่รับน้ำฝน = 30 ตารางกิโลเมตร

อัตราการไหลสูงสุดในรอบ 50 ปี $Q_{50}$ = 44.92 ลบ.ม./วินาที

หรือ อ่านค่าได้จากกราฟในรูปที่ A-1

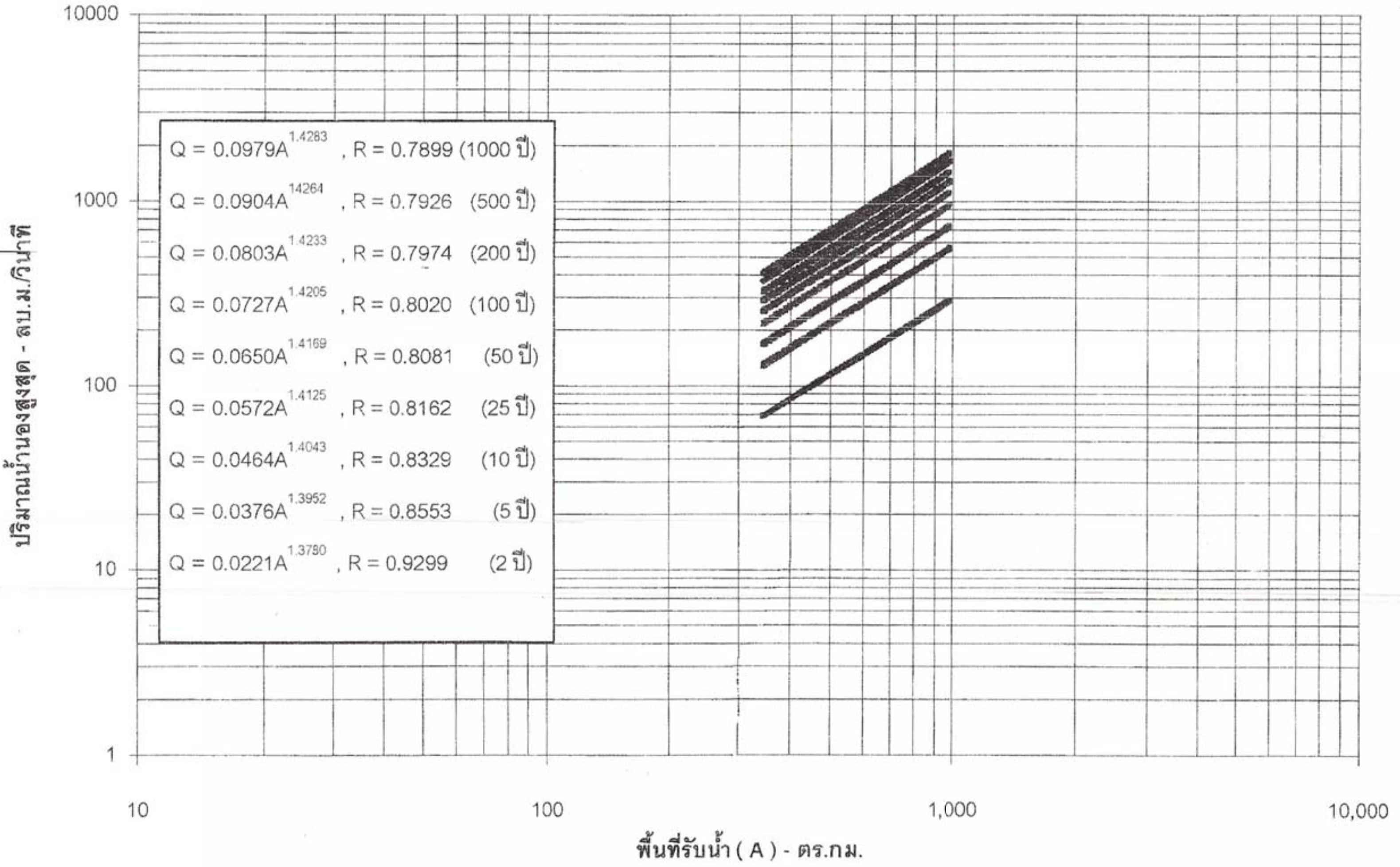
## รูปที่ A - 1

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และพื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำปิงตอนบน



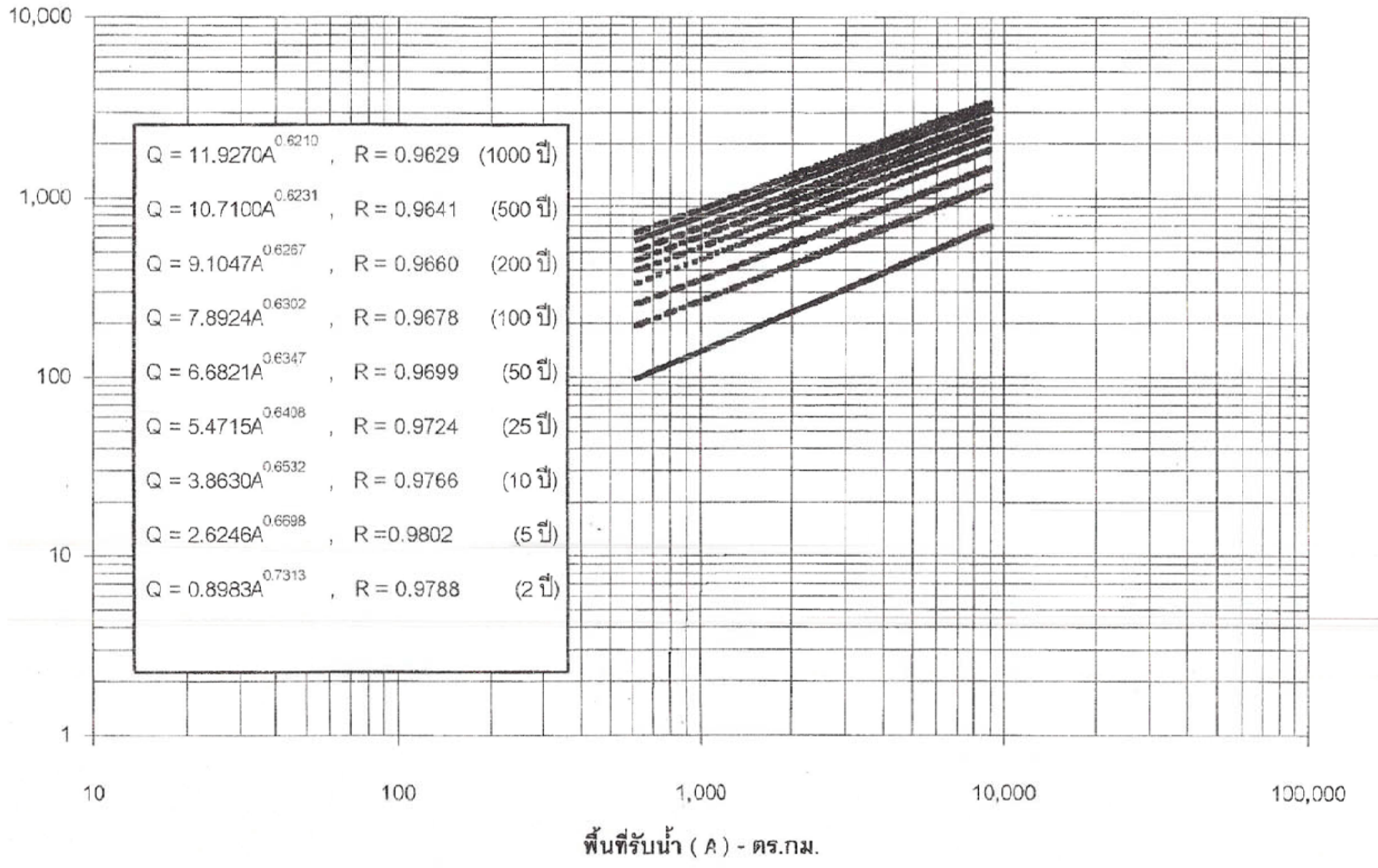
## รูปที่ A - 2

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และพื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำปิงตอนล่าง



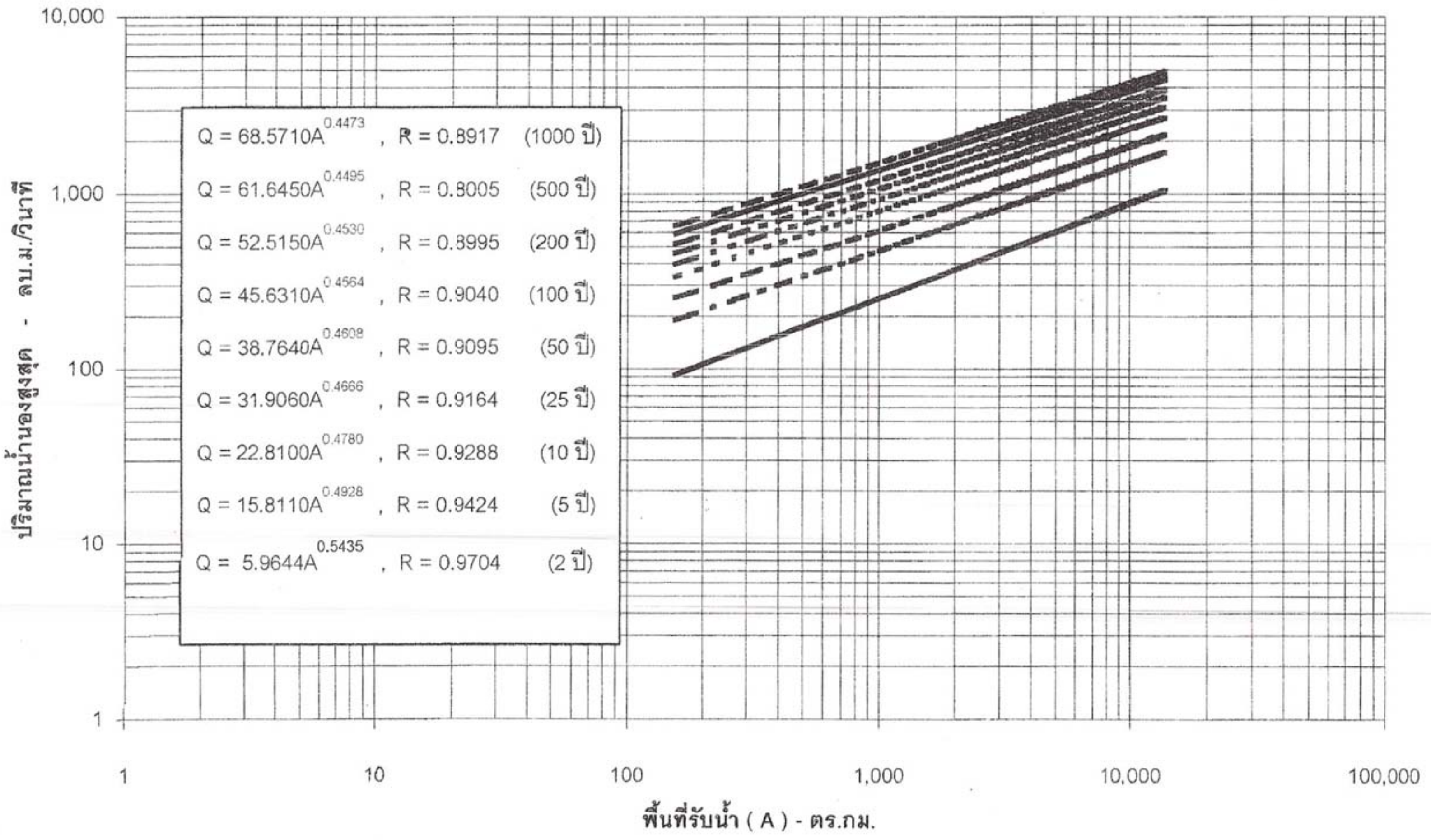
# รูปที่ A - 3

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำวัง**



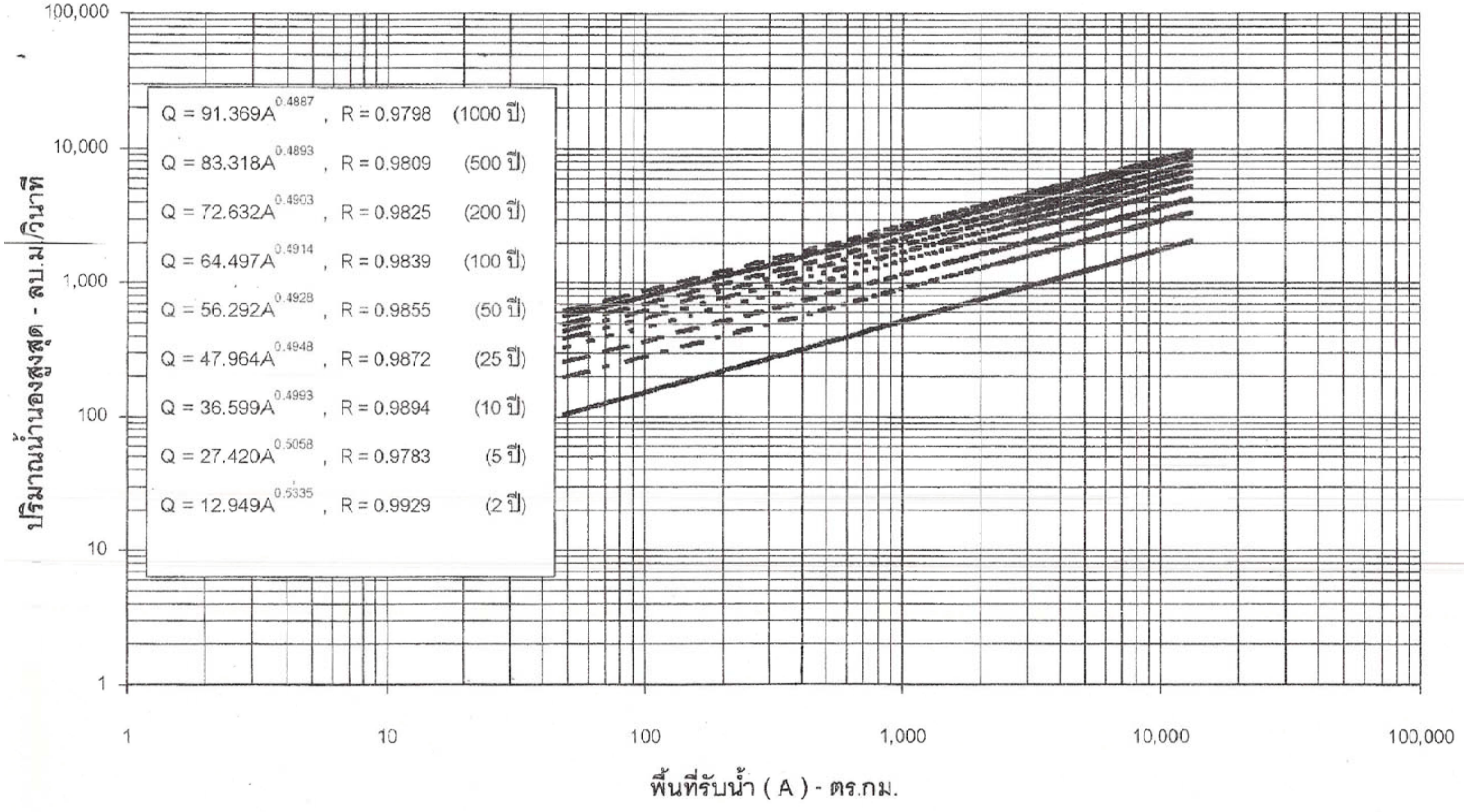
## รูปที่ A - 4

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำยม



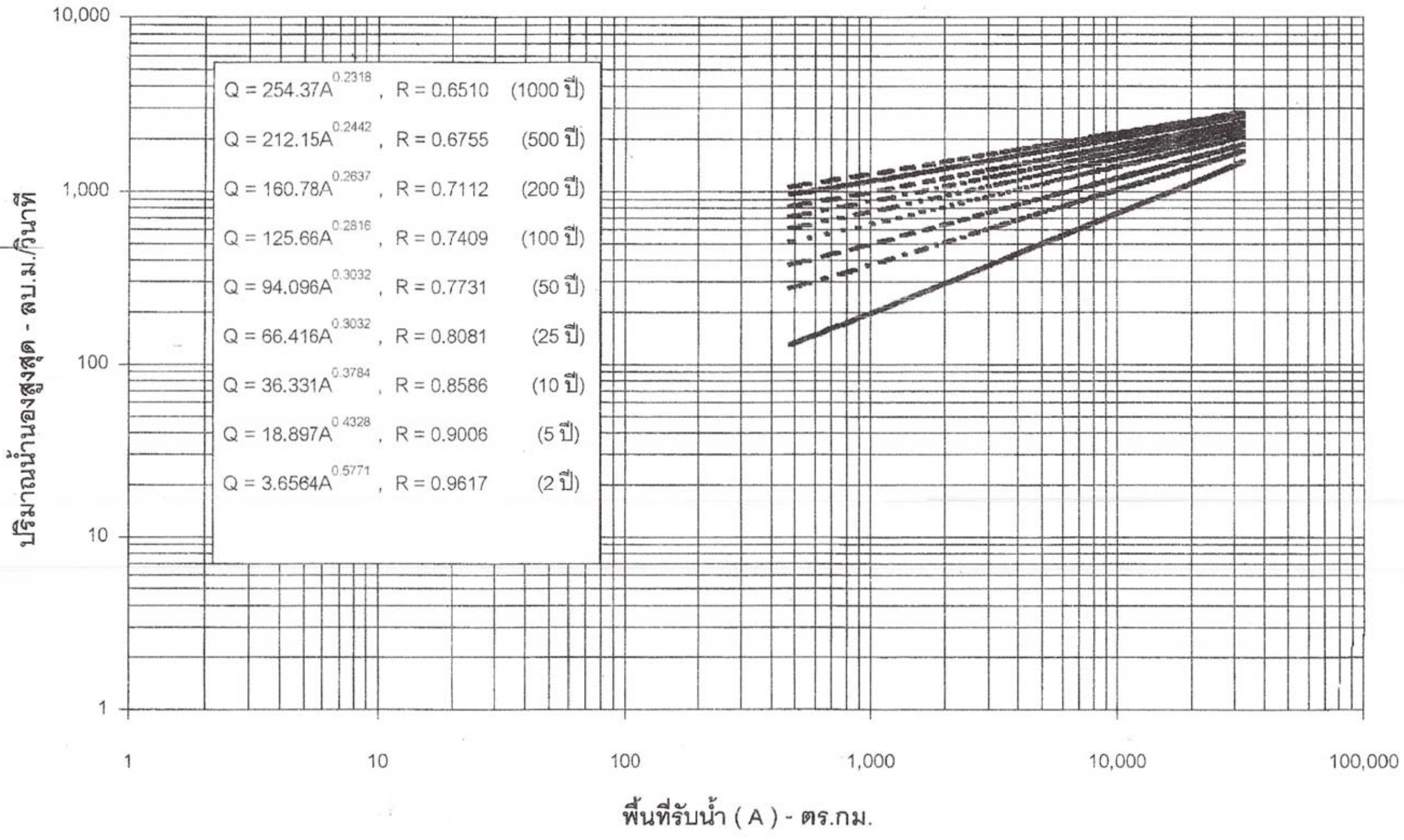
## รูปที่ A - 5

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำน่าน ( เหนือเขื่อนสิริกิติ์ )



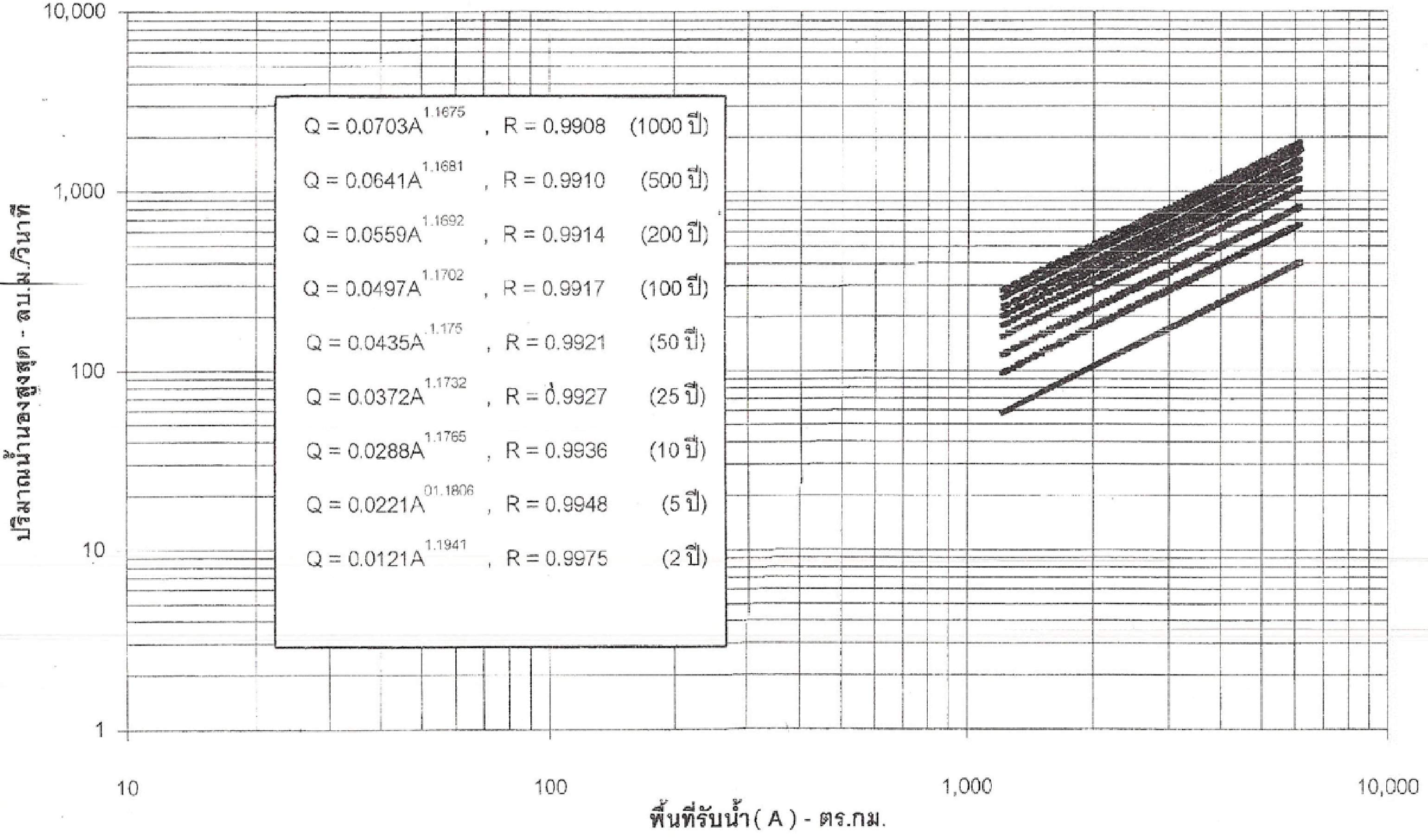
## รูปที่ A - 6

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำน่าน ( ใต้เขื่อนสิริกิติ์ )**



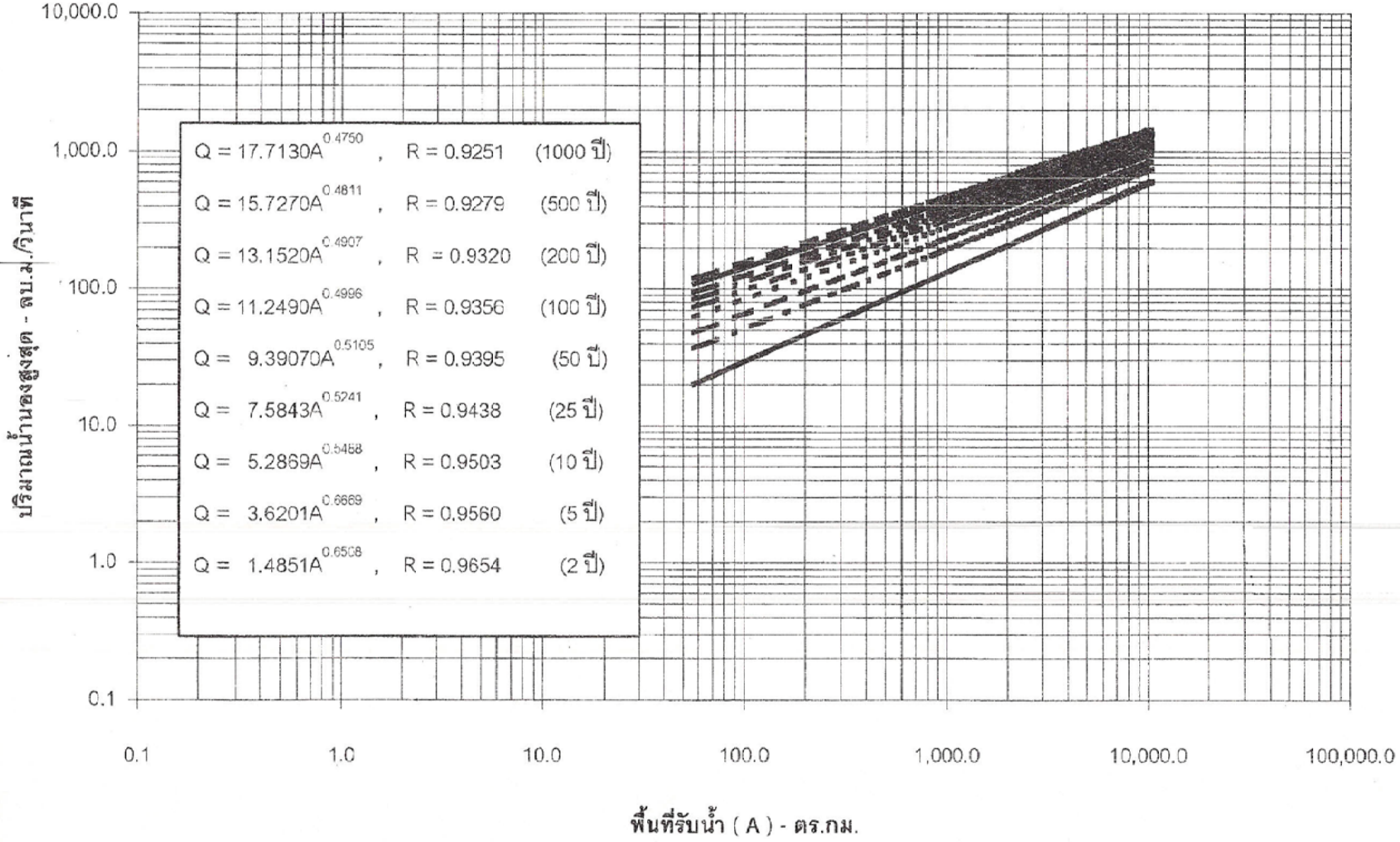
## รูปที่ A - 7

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำอิง



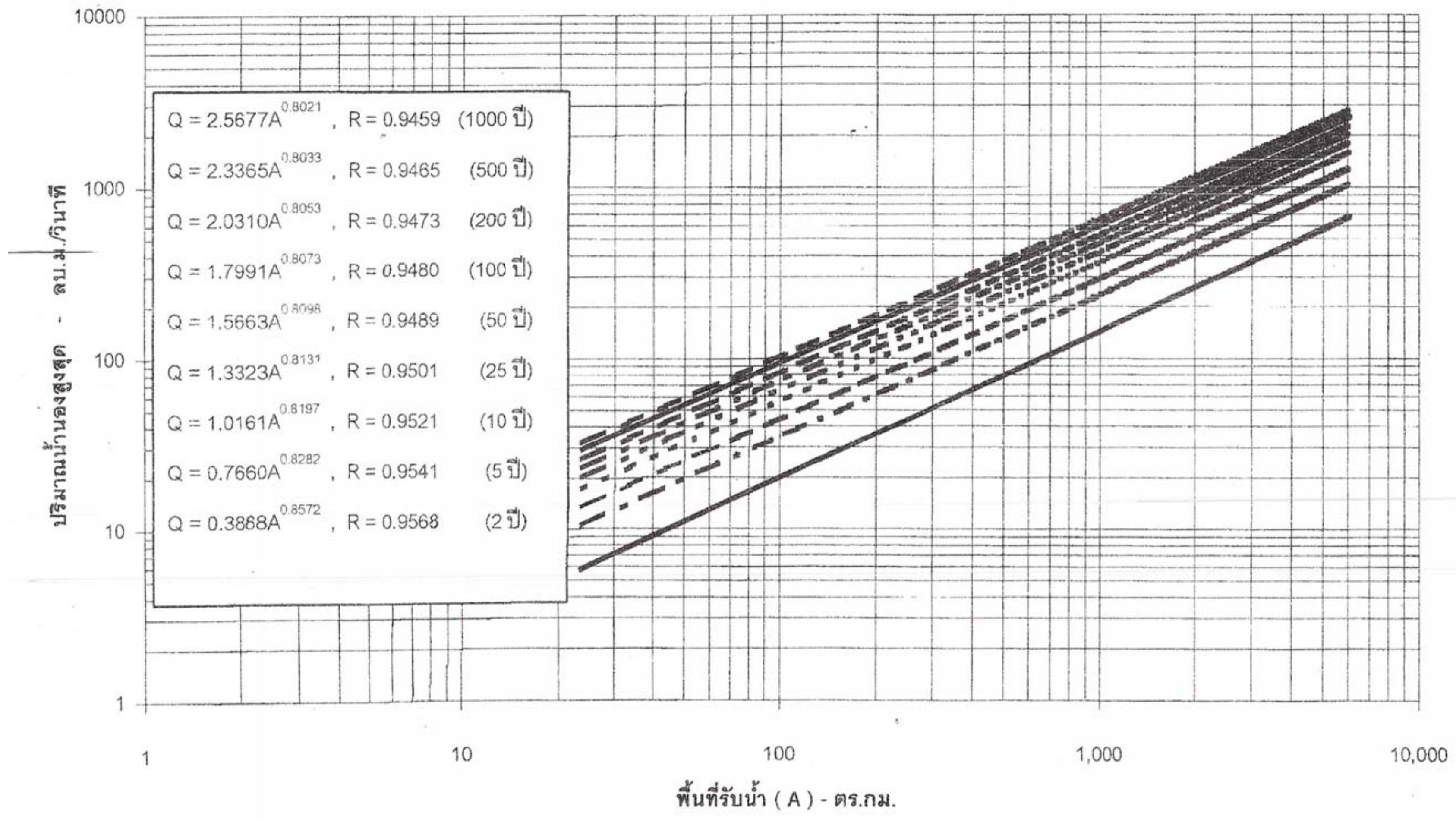
## รูปที่ A - 8

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{T_r}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำกก



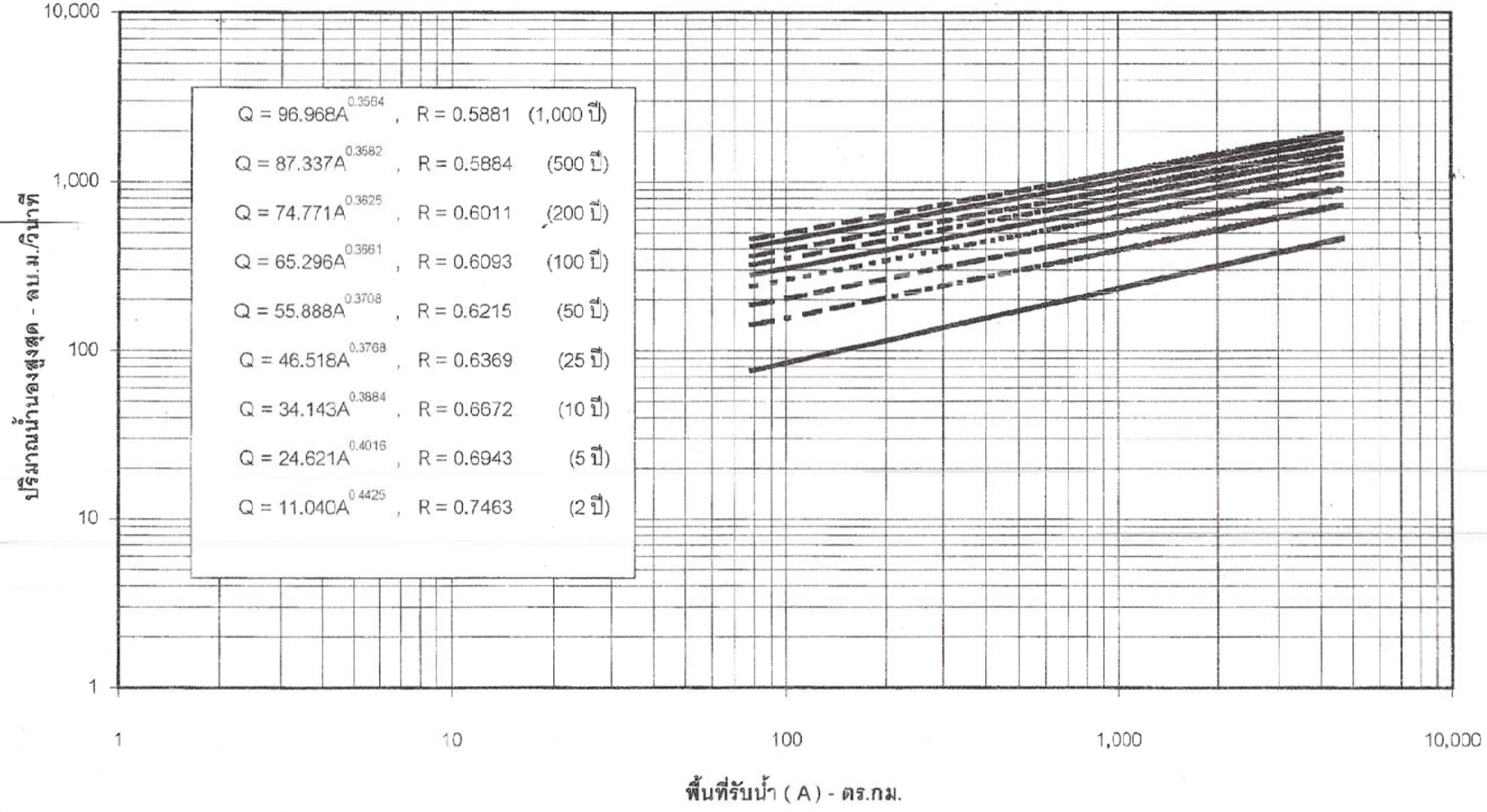
## รูปที่ A - 9

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำสาละวิน



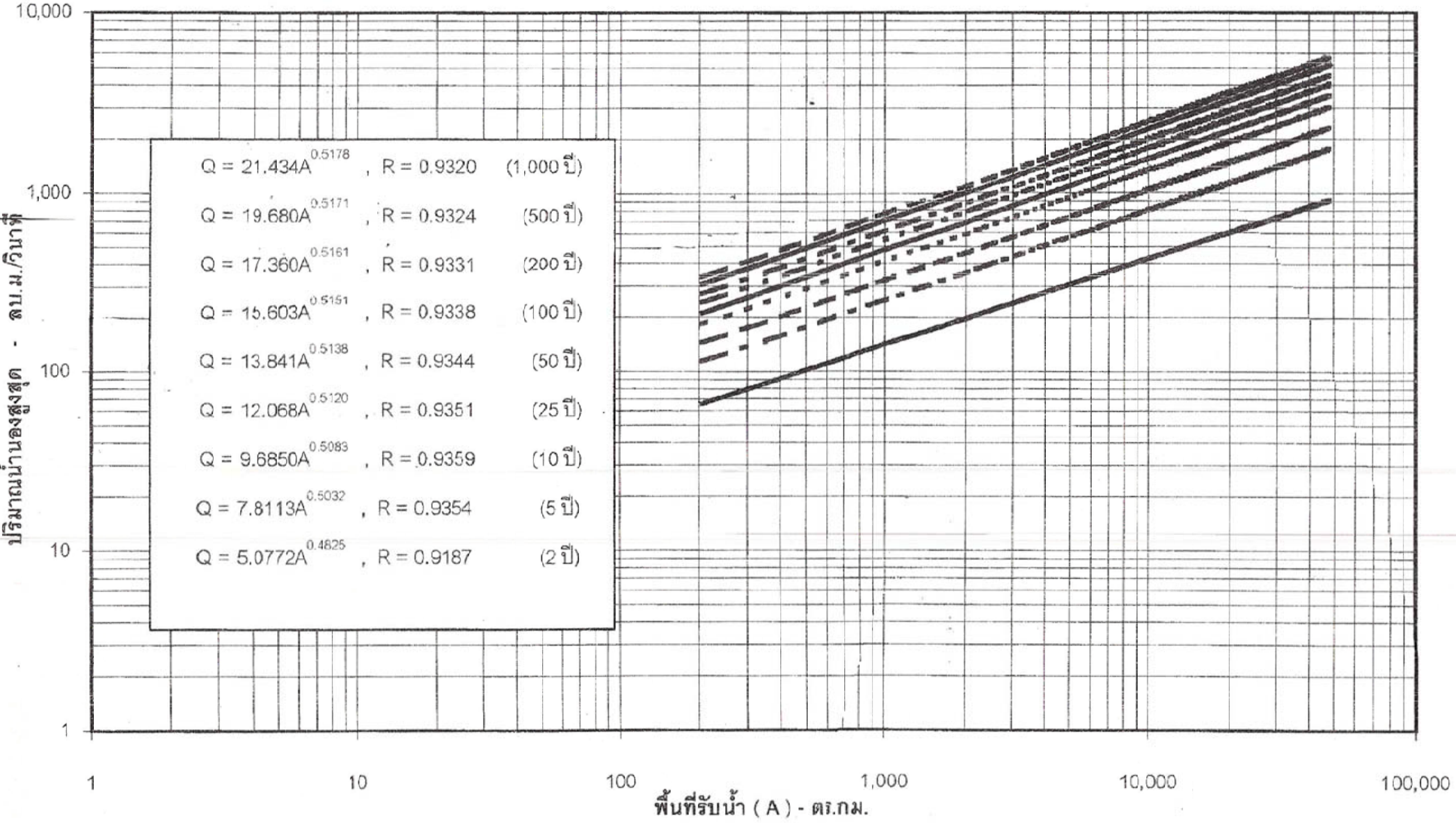
## รูปที่ A - 10

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำโขง**



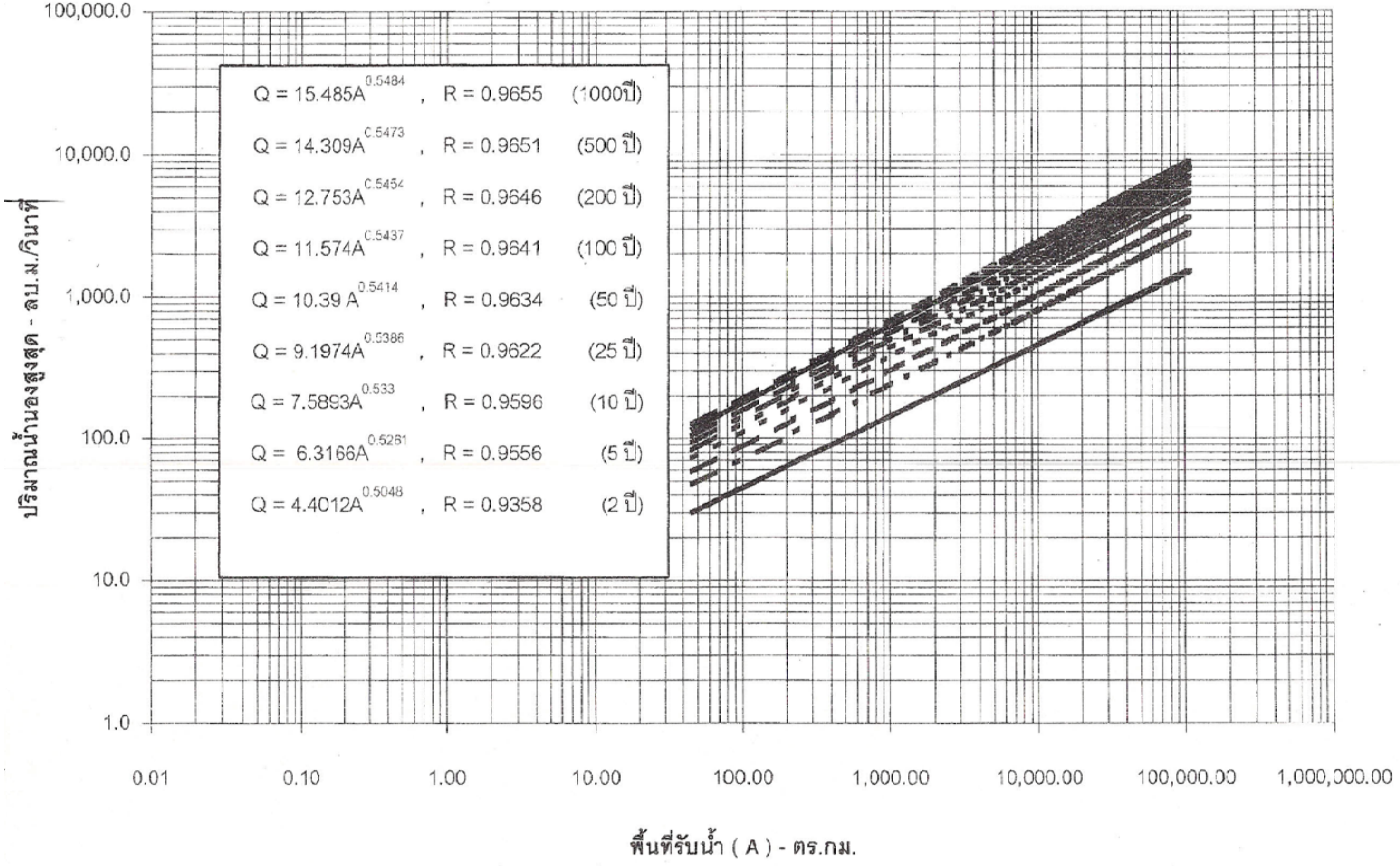
# รูปที่ A - 11

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำชี**



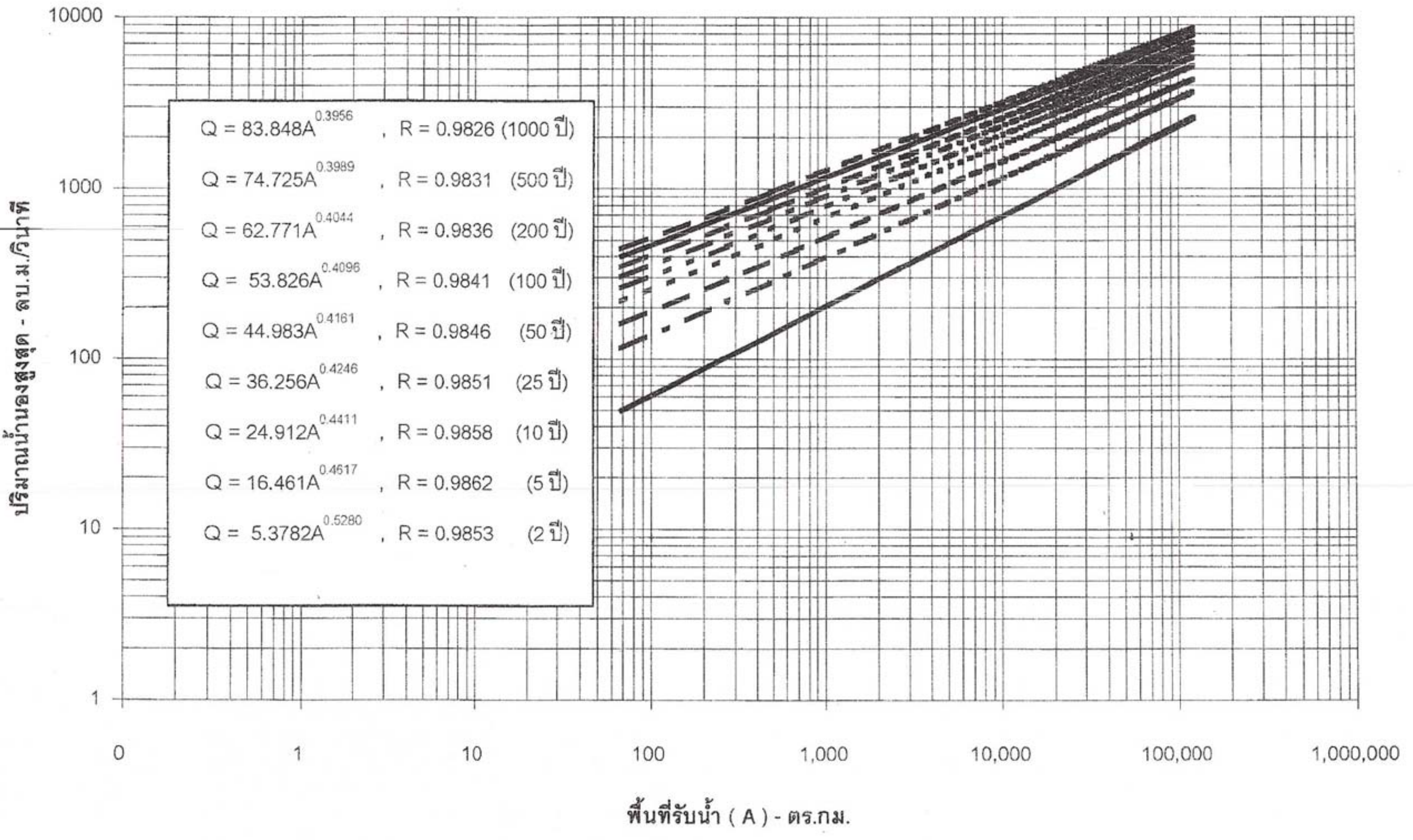
## รูปที่ A - 12

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำมูล



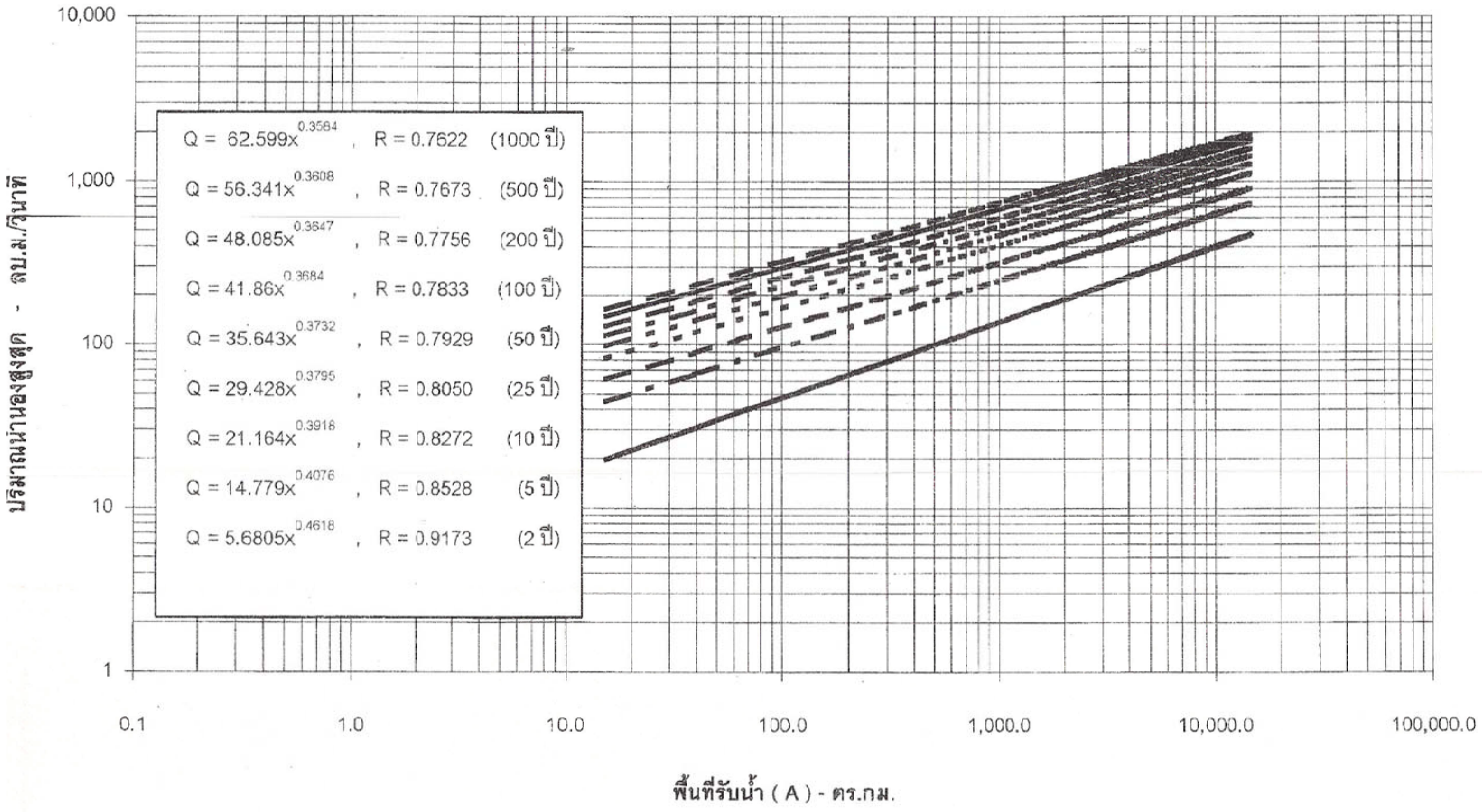
# รูปที่ A - 13

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง**



# รูปที่ A - 14

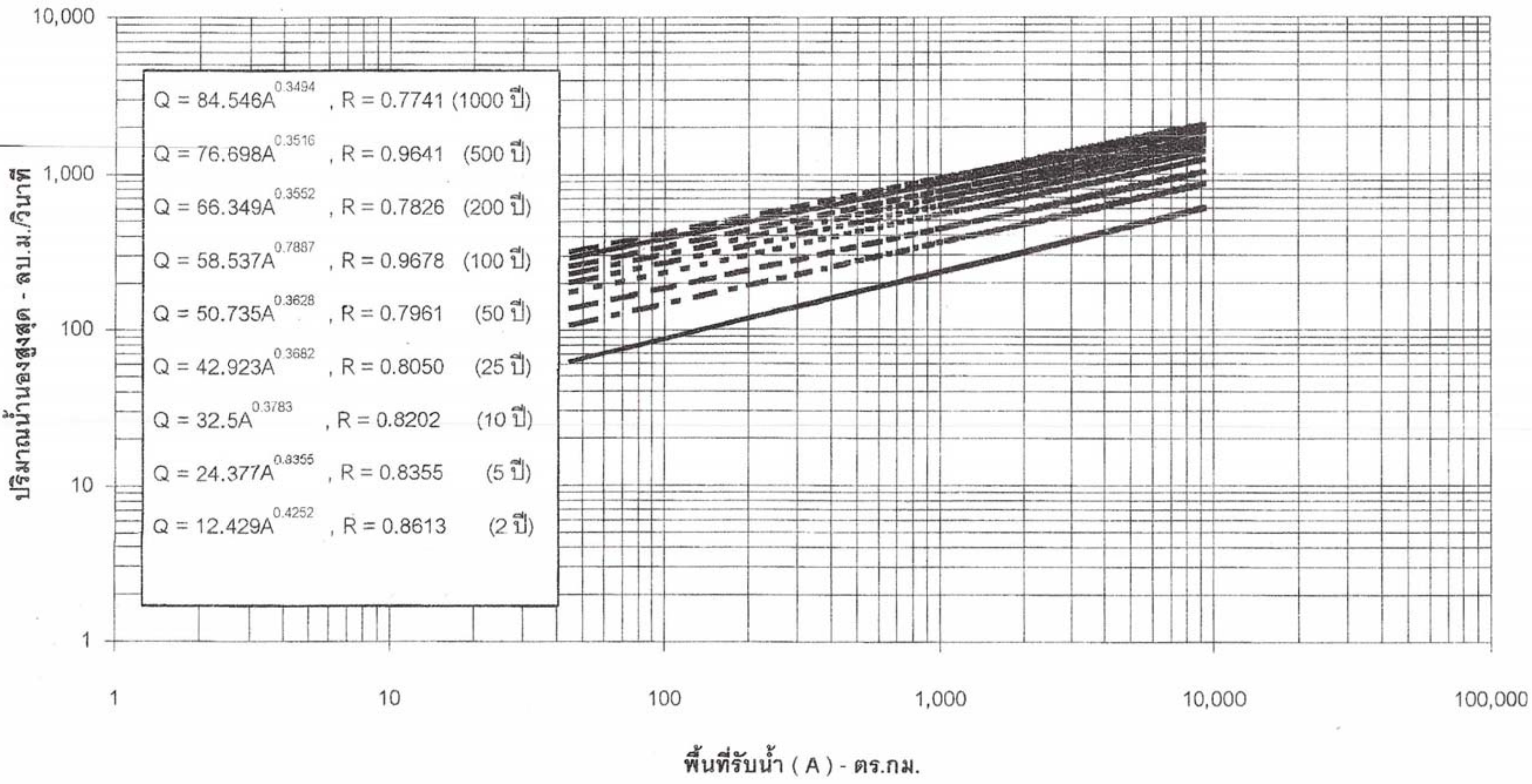
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำป่าสัก



## รูปที่ A - 15

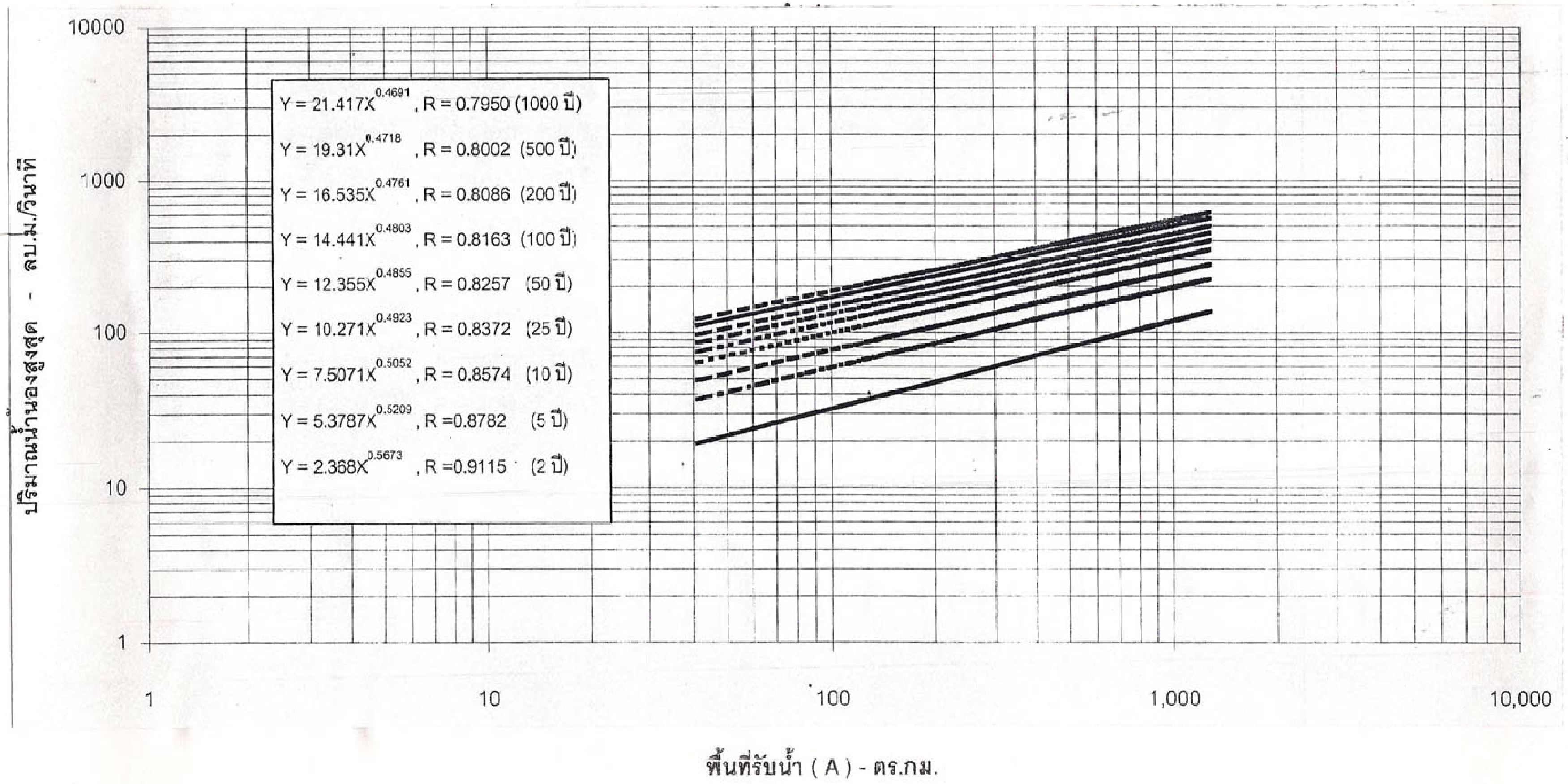
**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A )**

**ลุ่มน้ำบางปะกง นครนายก ปราจีนบุรี และ จังหวัดสระแก้ว**



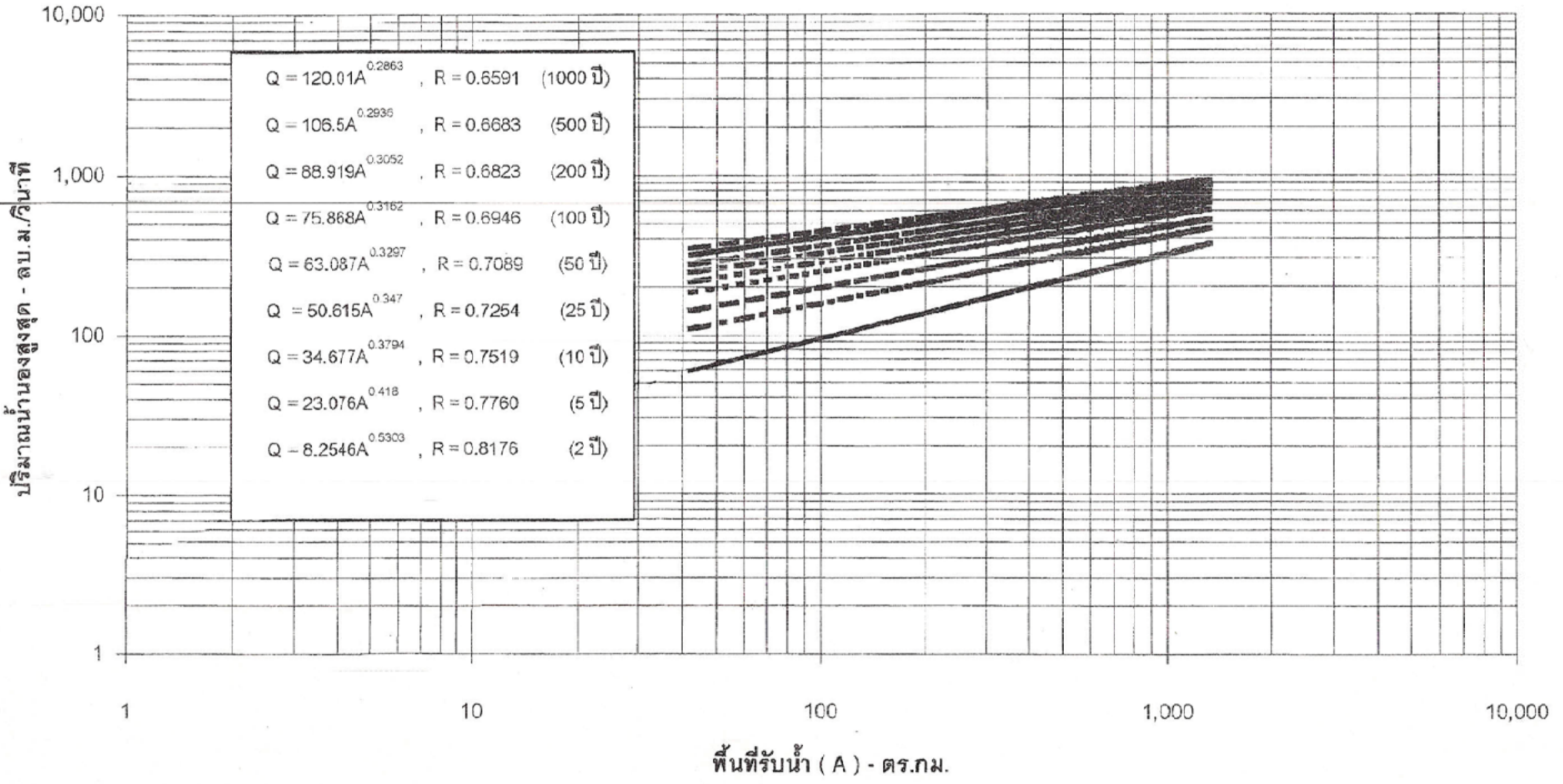
# รูปที่ A - 16

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำจังหวัดระยอง



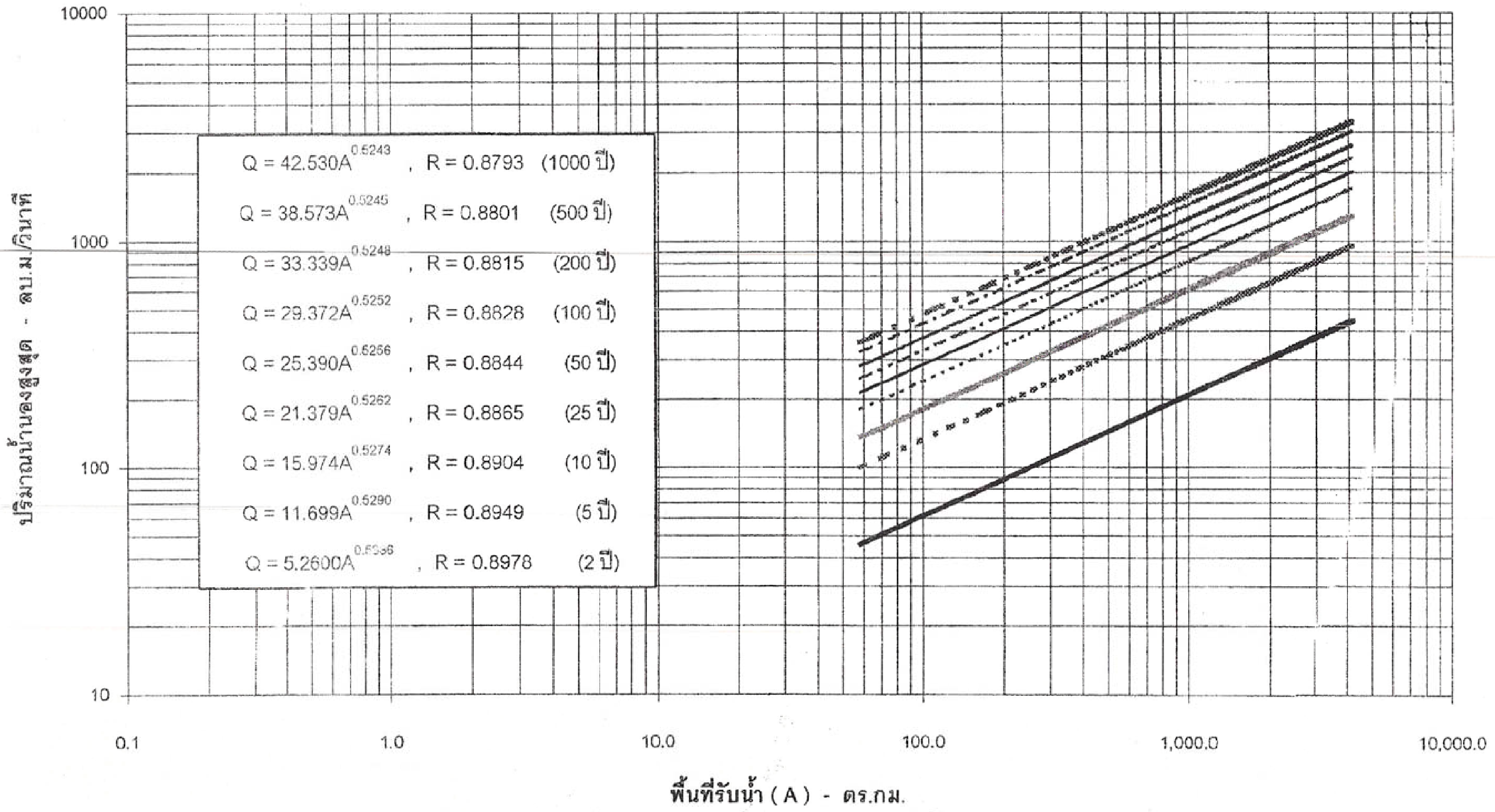
## รูปที่ A - 17

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำจันทบุรีและตราด



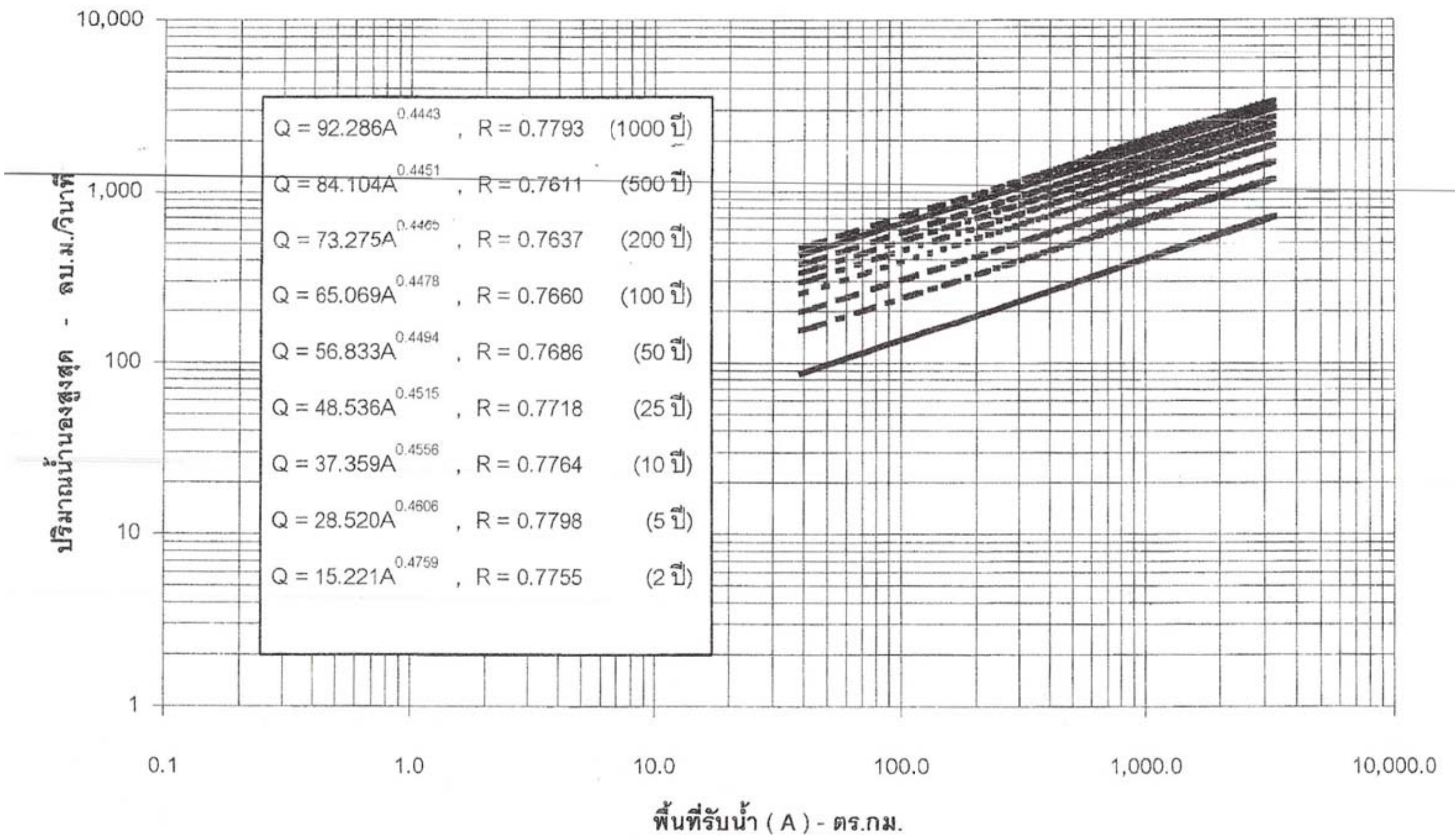
## รูปที่ A - 18

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ( A ) ลุ่มน้ำภาคตะวันตก**



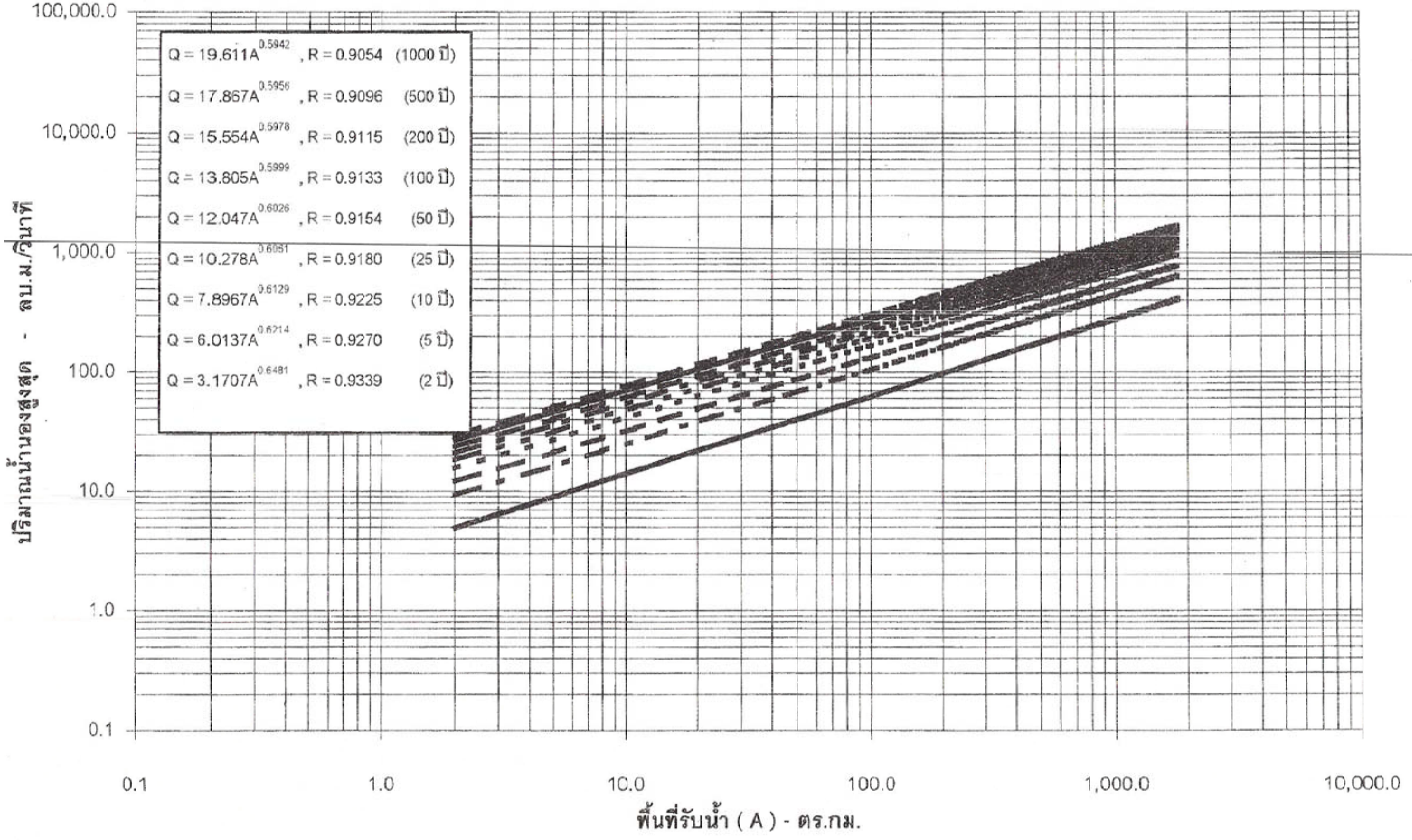
# รูปที่ A - 19

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก



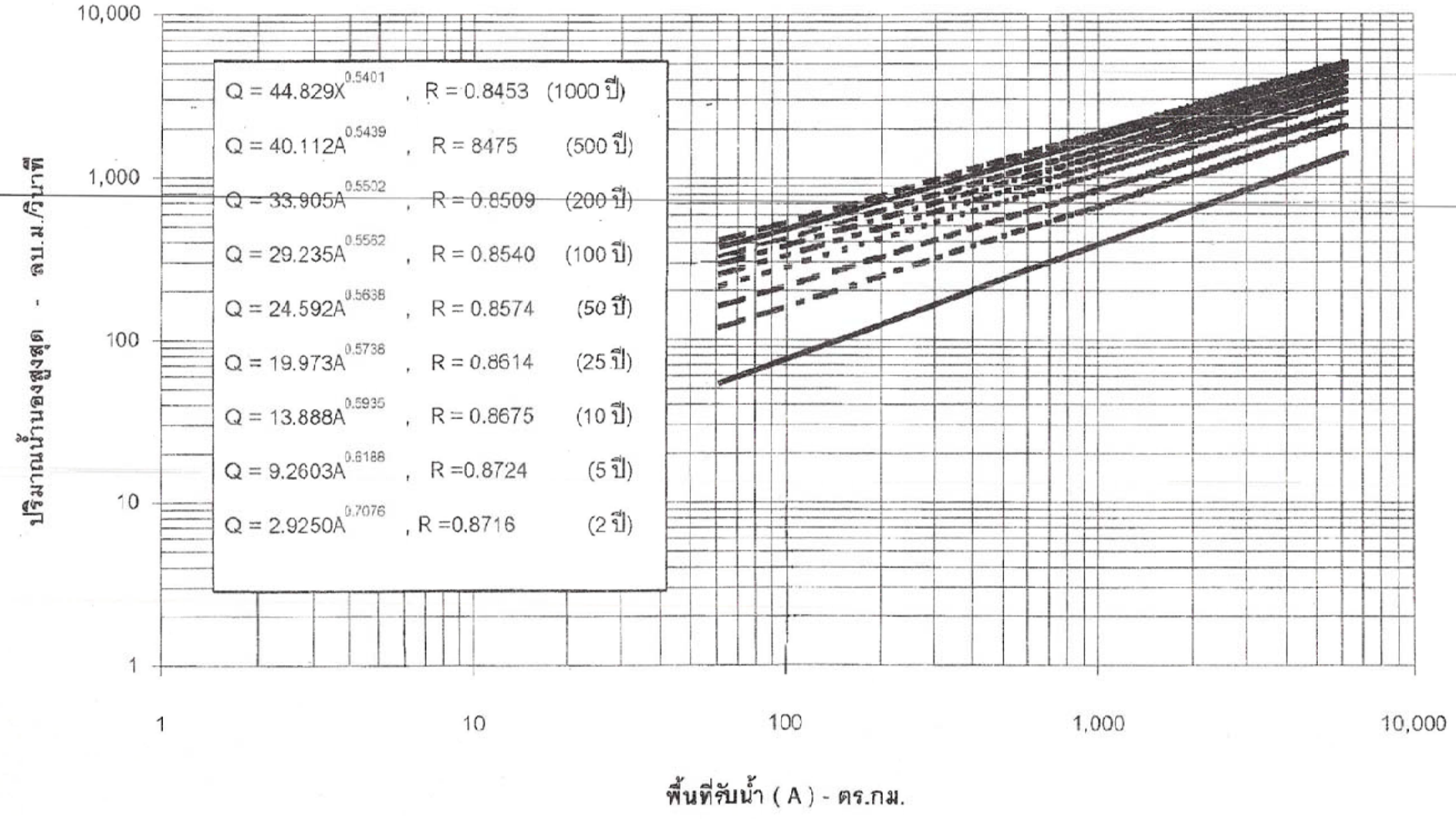
# รูปที่ A - 20

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก**



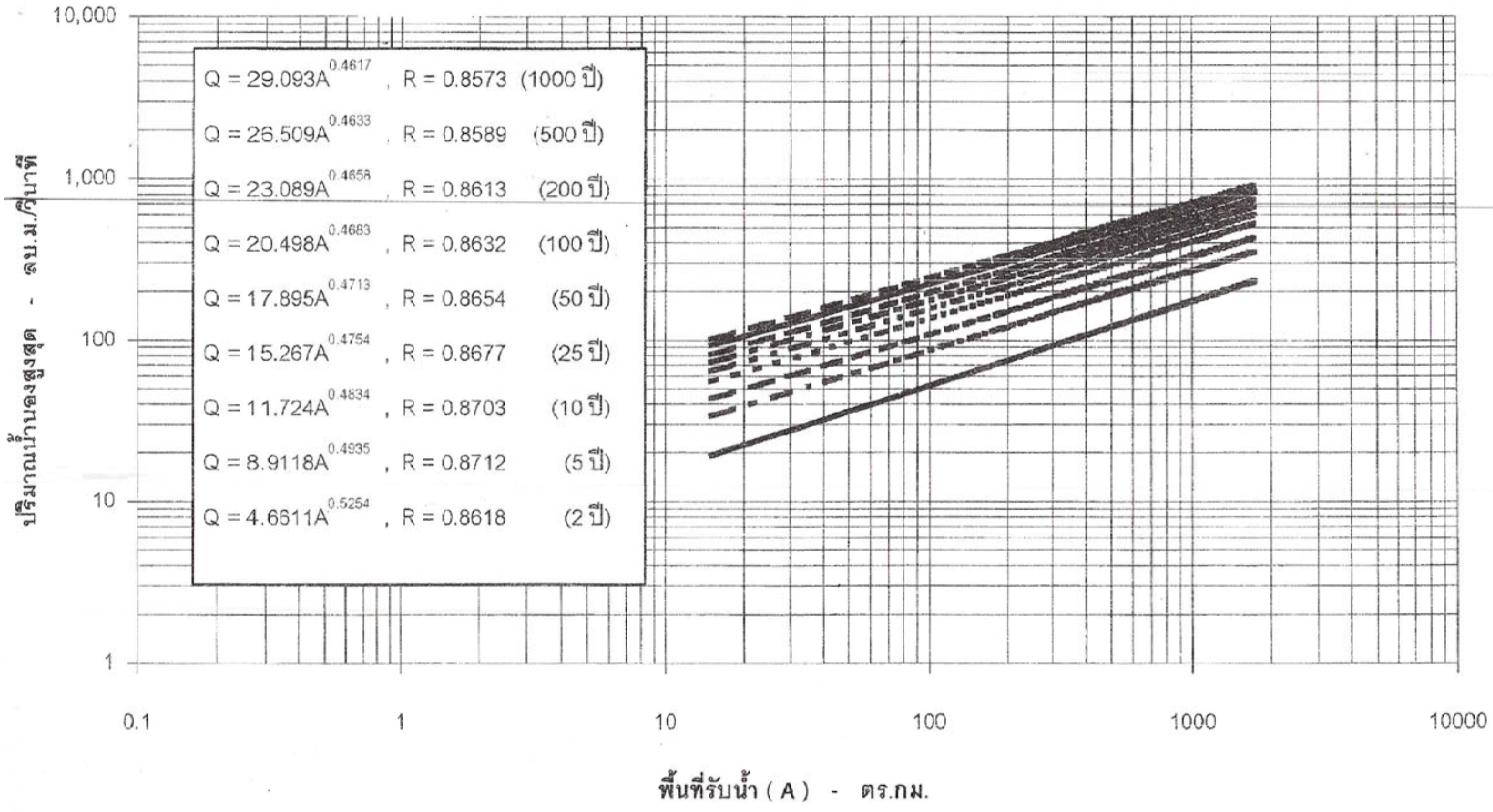
## รูปที่ A - 21

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำตาปี



# รูปที่ A - 22

**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ( $Q_{Tr}$ ) และ พื้นที่รับน้ำ ( A ) ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา**



**5) การหาอัตราการไหลสูงสุดจากบันทึกข้อมูลอื่นๆ** ได้แก่ ข้อมูล อัตราการไหลสูงสุดจากสถานีวัดน้ำใกล้เคียงที่ตั้งอยู่ในลำน้ำที่พิจารณา หรือ ข้อมูลระดับน้ำสูงสุดซึ่งอาจได้จากข้อมูลการจดบันทึกของหน่วยงาน หรือ ชาวบ้าน หรือ อาจได้จากการสำรวจระดับคราบน้ำสูงสุด หรือ อาจได้จากประวัติการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำเดิมว่า เพียงพอ ต่อการระบายน้ำหรือไม่ ข้อมูลประวัติน้ำท่วมสายทางต่างๆ ตามบันทึกรายงานของแขวงการทางต่างๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถึงแม้จะไม่สามารถ ทราบได้ว่าเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในรอบกี่ปี แต่เป็นข้อมูลที่สามารถประเมินอัตราการไหลสูงสุด และ ช่องเปิดของอาคารระบายน้ำที่ต้องการในเบื้องต้น โดยในการออกแบบช่องเปิดของอาคารระบายน้ำทุกครั้ง จะต้องนำข้อมูลเหล่านี้มาเปรียบเทียบ ผลการคำนวณอัตราการไหลด้วยวิธีต่างๆ ที่เลือกใช้ เพราะถือว่าข้อมูลบันทึกเหล่านี้เป็นตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในตำแหน่งที่ตั้งของอาคารระบายน้ำที่พิจารณาออกแบบ

**2.1.1.5 ชลศาสตร์การไหล**

การไหลของน้ำในระบบระบายน้ำในงานทางโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ

**1 ) การไหลในรางเปิด ( open channel )** เป็นการไหลในลักษณะที่ผิวน้ำสัมผัสกับอากาศ โดยตลอด ได้แก่ การไหลในแม่น้ำลำคลอง , รางระบายน้ำแบบเปิด ( U – Ditch ,side Ditch ) และการไหลในท่อเหลี่ยมหรือท่อกลมที่ระดับน้ำไม่เต็ม ระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำต่ำกว่าระดับผิวบนของท่อ ( Hw และ Tw < D ) สมมุติฐานที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทางที่เป็นการไหลในรางเปิดถือว่าเป็นการไหลแบบคงที่และสม่ำเสมอ ( Steady Uniform Flow ) คืออัตราการไหลและความเร็วคงที่ตลอดหน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่พิจารณาออกแบบด้วยเงื่อนไขดังกล่าวจึงสามารถใช้สมการแมนนิ่ง ( Manning's Eguation ) ในการคำนวณขนาดความจุอัตราการไหล ของหน้าตัดอาคารระบายน้ำได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = \frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | Q | = | อัตราการไหลสูงสุดที่ผ่านรางเปิด, ลบ.ม./วินาที |
| | n | = | สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งตามตารางที่ 2.1-14 |
| | A | = | พื้นที่หน้าตัดของท่อหรือทางน้ำไหล มีหน่วยเป็นตารางเมตร |
| | R | = | รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) มีหน่วยเป็นเมตร |
| | | = | A/P |
| | P | = | ความยาวเส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter) มีหน่วยเป็นเมตร |
| | S | = | ความลาดชันรางเปิดออกแบบ |

ค่า n ที่ใช้แทนค่าลงในสมการแมนนิ่ง ขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวทางน้ำไหล รูปร่างและขนาดของวัสดุท้องน้ำ และพืชปกคลุมดังแสดงในตารางที่ 2.1-14

รูปทรงทางเรขาคณิตและสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับทางน้ำเปิดรูปแบบต่างๆแสดงในตารางที่ 2.1-15

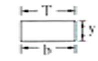
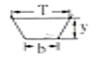
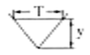
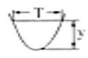
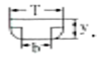
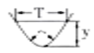
**ตารางที่ 2.1-14** สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

| **ผิวทางน้ำเปิด** | **n** |
|---|---|
| ( 1 ) ทางน้ำเปิดธรรมชาติ ( natural channels ) | |
| เรียบและตรง | 0.030 |
| ไหลช้าเนื่องจากมีสระลึกเป็นช่วง ๆ | 0.040 |
| แม่น้ำสายหลัก | 0.035 |
| ( 2 ) ลุ่มแม่น้ำที่มีน้ำท่วมถึง ( flood plains) | |
| ทุ่งหญ้า | 0.035 |
| ไม้พันธุ์เตี้ยบาง ๆ | 0.050 |
| ไม้พันธุ์เตี้ยมาก | 0.075 |
| ต้นไม้ | 0.150 |
| ( 3 ) ทางน้ำเปิดดินขุด ( excavated earth channels ) | |
| เรียบ | 0.022 |
| มีกรวดบ้าง | 0.025 |
| เต็มไปด้วยหญ้า | 0.030 |
| ก้อนหิน | 0.035 |
| ( 4 ) ทางน้ำเปิดดาดผิว ( artificially lined channels) | |
| แก้ว | 0.010 |
| ทองเหลือง | 0.011 |
| เหล็กเรียบ | 0.012 |
| เหล็กทาสี | 0.014 |
| เหล็กมีหมุดย้ำ | 0.015 |
| เหล็กหล่อ | 0.013 |
| คอนกรีตขัดผิว | 0.012 |
| คอนกรีตผิวหยาบ | 0.014 |
| ไม้ไสเรียบ | 0.012 |
| ไม้ไม่ได้ไส | 0.013 |
| ดินเหนียว | 0.014 |
| ก่ออิฐ | 0.015 |
| แอลฟัลต์ | 0.016 |
| โลหะลูกฟูก | 0.022 |
| หินเรียง | 0.025 |

**ที่มา:** Bruce: (1 )

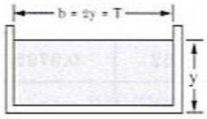
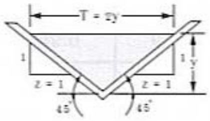
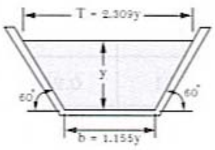
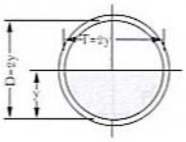
สำหรับหน้าตัดคูคลองที่ดีที่สุด เป็นหน้าตัดที่มีประสิทธิรูปเชิงชลศาสตร์มากที่สุด ซึ่งเป็นหน้าตัดของทางน้ำที่มีพื้นที่หน้าตัดขวางน้อยที่สุด ที่มีอัตราการไหลของน้ำตามต้องการและมีเส้นขอบเปียกน้อยที่สุด แต่หน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์อาจไม่ใช่หน้าตัดที่ดีที่สุดในทางปฏิบัติเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการก่อสร้างและราคาค่าก่อสร้าง สำหรับตัวอย่างหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์แสดงในตารางที่ 2.1-16 และตารางที่ 2.1-17

**ตารางที่ 2.1-15** รูปทรงทางเรขาคณิตและสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับทางน้ำเปิด

| หน้าตัด | พื้นที่ A | เส้นขอบเปียก P | รัศมีชลศาสตร์ R | ความกว้างผิวน้ำ T | ความลึกชลศาสตร์ D | ปัจจัยหน้าตัด Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
|  สี่เหลี่ยมผืนผ้า | $by$ | $b + 2y$ | $\frac{by}{b+2y}$ | $b$ | $y$ | $by^{1.5}$ |
|  สี่เหลี่ยมคางหมู | $(b + Zy)y$ | $b + 2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$ | $b + 2zy$ | $\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$ | $\frac{[(b+zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b+2zy}}$ |
|  สามเหลี่ยม | $Zy^2$ | $2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$ | $2zy$ | $\frac{y}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$ |
| วงกลม | $\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)d_o^2$ | $\frac{1}{2}\theta d_o$ | $\frac{1}{4}\left[1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right]d_o$ | $\frac{(\sin\frac{1}{2}\theta)d_o}{2\sqrt{y(d_o-y)}}$ | $\frac{1}{8}\left[\frac{\theta-\sin\theta}{\sin\frac{\theta}{2}}\right]d_o$ | $\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta-\sin\theta)^{1.5}}{\left(\sin\frac{\theta}{2}\right)^{0.5}}d_o^{2.5}$ |
|  โค้งพาราโบลา | $\frac{2}{3}Ty$ | $T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$ * | $\frac{2T^2y}{3T^2+8y^2}$ | $\frac{3}{2}\frac{A}{y}$ | $\frac{2}{3}y$ | $\frac{2}{9}\sqrt{6}Ty^{1.5}$ |
|  สี่เหลี่ยมมุมโค้ง (y>r) | $\left(\frac{\pi}{2}-2\right)r^2 + (b+2r)y$ | $(\pi - 2)r + b + 2y$ | $\frac{(\pi/2-2)r^2+(b+2r)y}{(\pi-2)r+b+2y}$ | $b + 2r$ | $\frac{(\pi/2-2)r^2}{b-2r} + y$ | $\frac{[(\pi/2-2)r^2+(b+2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b+2r}}$ |
|  สามเหลี่ยมมุมโค้ง | $\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1-z\cot^{-1}z)$ | $\frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1-z\cot^{-1}z)$ | $\frac{A}{P}$ | $2\left[z(y-r)+r\sqrt{1+z^2}\right]$ | $\frac{A}{T}$ | $A\sqrt{\frac{A}{T}}$ |

**หมายเหตุ** * ใช้ประมาณได้ในช่วง $0 < x \le 1$ โดยที่ $x = 4y/T$ ส่วนในกรณีที่ $x > 1$ สามารถหาเส้นขอบเปียกได้จาก $P = (T/2)\,[\sqrt{1+x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1+x^2})]$

**ตารางที่ 2.1-16** แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์

| หน้าตัดทางน้ำเปิด | พื้นที่ A | เส้นขอบเปียก P | รัศมีชลศาสตร์ R | รัศมีชลศาสตร์ D | $AR^{2/3}$ | ความลึกปกติ y หรือ $y_n$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
|  | $1.682\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/4}$ หรือ $2y^2$ | 4y | y/2 | y | $2y^{2.5}$ | $0.917\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/8}$ |
|  | $1.682\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/4}$ หรือ $y^2$ | 2.83y | 0.354y | 0.5y | $0.707y^{2.5}$ | $1.297\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/8}$ |
|  | $1.622\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/4}$ หรือ $1.73y^2$ | 3.46y | y/2 | 0.75y | $1.5y^{2.5}$ | $0.968\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/8}$ |
|  | $1.583\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/4}$ หรือ $\frac{1}{2}\pi y^2$ | $\pi y$ | y/2 | 0.786y | $0.785y^{2.5}$ | $\left[\frac{nQ}{S_o^{1/2}}\right]^{3/8}$ |

**ตารางที่ 2.1-17** แสดงหน้าตัดการไหลที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ของทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เมื่อกำหนดความลาดด้านข้าง (z) ให้ต่างๆ กัน

| z | $\frac{b}{y}$ | $\frac{y}{A^{1/2}}$ | $\frac{b}{A^{1/2}}$ | $\frac{T}{A^{1/2}}$ | $\frac{S_o}{A^{1/2}}$ | $\frac{P}{A^{1/2}}$ | $\frac{R}{A^{1/2}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 2.0000 | 0.7071 | 1.4142 | 1.4142 | 0.7071 | 2.8284 | 0.3536 |
| 0.50 | 1.2361 | 0.7590 | 0.9382 | 1.6972 | 0.8486 | 2.6352 | 0.3795 |
| 0.58 | 1.1521 | 0.7598 | 0.8574 | 1.7567 | 0.8784 | 2.6321 | 0.3799 |
| 1.00 | 0.8284 | 0.7158 | 0.6127 | 2.0919 | 1.0460 | 2.7044 | 0.3698 |
| 1.25 | 0.7016 | 0.7158 | 0.5022 | 2.2917 | 1.1459 | 2.7939 | 0.3579 |
| 1.50 | 0.6056 | 0.6891 | 0.4173 | 2.4846 | 1.2423 | 2.9021 | 0.3446 |
| 1.75 | 0.5309 | 0.6621 | 0.3515 | 2.6689 | 1.3345 | 3.0206 | 0.3311 |
| 2.00 | 0.4721 | 0.6361 | 0.3003 | 2.8444 | 1.4222 | 3.1446 | 0.3180 |
| 2.50 | 0.3852 | 0.5887 | 0.2268 | 3.1702 | 1.5851 | 3.3971 | 0.2944 |
| 3.00 | 0.3246 | 0.5485 | 0.1780 | 3.4690 | 1.7345 | 3.6467 | 0.2742 |
| 4.00 | 0.2462 | 0.4853 | 0.1195 | 4.0019 | 2.0010 | 4.1213 | 0.2426 |
| 5.00 | 0.1979 | 0.4386 | 0.0868 | 4.4728 | 2.2364 | 4.5597 | 0.2193 |
| 6.00 | 0.1654 | 0.4027 | 0.0666 | 4.8990 | 2.4495 | 4.9661 | 0.2013 |

**2 ) การไหลผ่านท่อลอด**

ลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อลอดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือแบบ Inlet Control และ Outlet Control

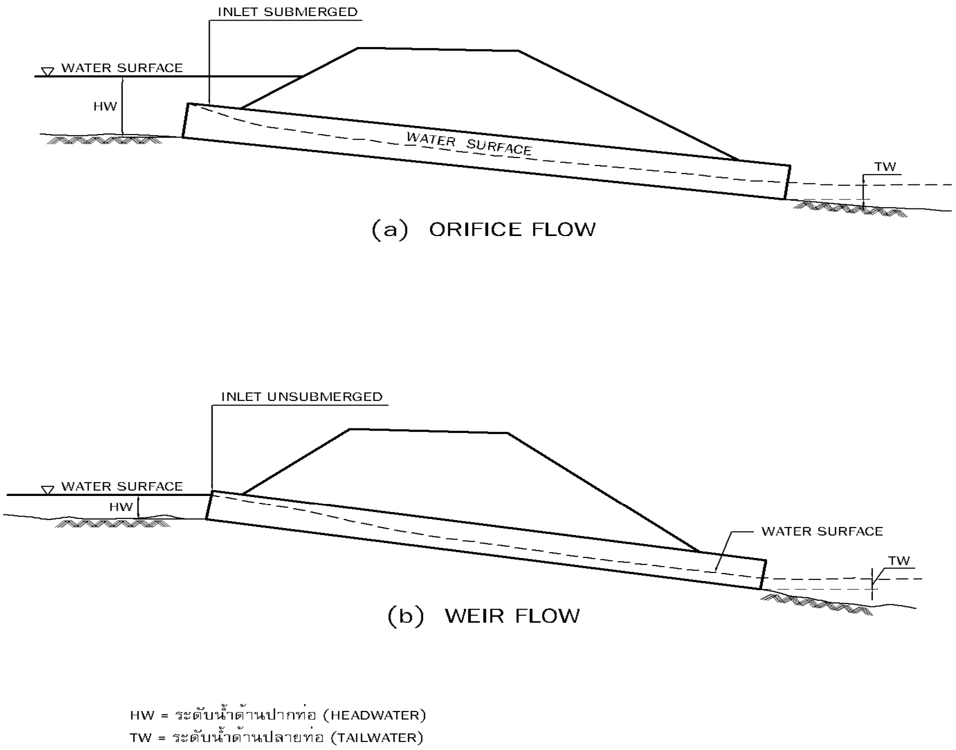
**2.1) Inlet Control** การไหลแบบ Inlet Control นี้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพที่ปากทางเข้าเท่านั้น เช่น ระดับน้ำเหนือปากท่อ, ลักษณะของปากท่อ เป็นต้น ส่วนความลาดเอียงของท่อ, ความหยาบของผิวท่อ, ระดับน้ำที่ปลายท่อ หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ถัดจากปากท่อเข้ามาจะไม่ส่งผลทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลง การไหลแบบ Inlet Control สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ

**2.1.1) Orifice Flow** การไหลแบบ Orifice Flow นี้ ระดับน้ำด้านปากท่อ (Headwater) จะอยู่สูงกว่าระดับหลังท่อ (ดูรูปที่ 2.1-17a) แต่น้ำที่ไหลเข้าท่อจะไหลได้ไม่เต็มท่อ ลักษณะการไหลของน้ำเหมือนกับการไหลผ่านรูเปิด (Orifice) หรือไหลลอดใต้บานประตู ระบายน้ำ (Sluice gate) จึงเรียกว่า Orifice flow โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = C_d A \sqrt{2g(H_w - D/2}$$

โดยที่

| | | |
|---|---|---|
| Q | = | อัตราการไหลผ่านท่อ (ลบ.เมตร/วินาที) |
| $C_d$ | = | สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล |
| A | = | พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร) |
| g | = | อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที$^2$) |
| h | = | ความสูงวัดจากระดับน้ำถึงจุดศูนย์กลางท่อ (เมตร) |
| Hw | = | ความสูงวัดจากระดับผิวน้ำหน้าท่อถึงธรณีปากท่อ (เมตร) |
| D | = | เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกลมหรือความลึกของท่อเหลี่ยม (เมตร) |



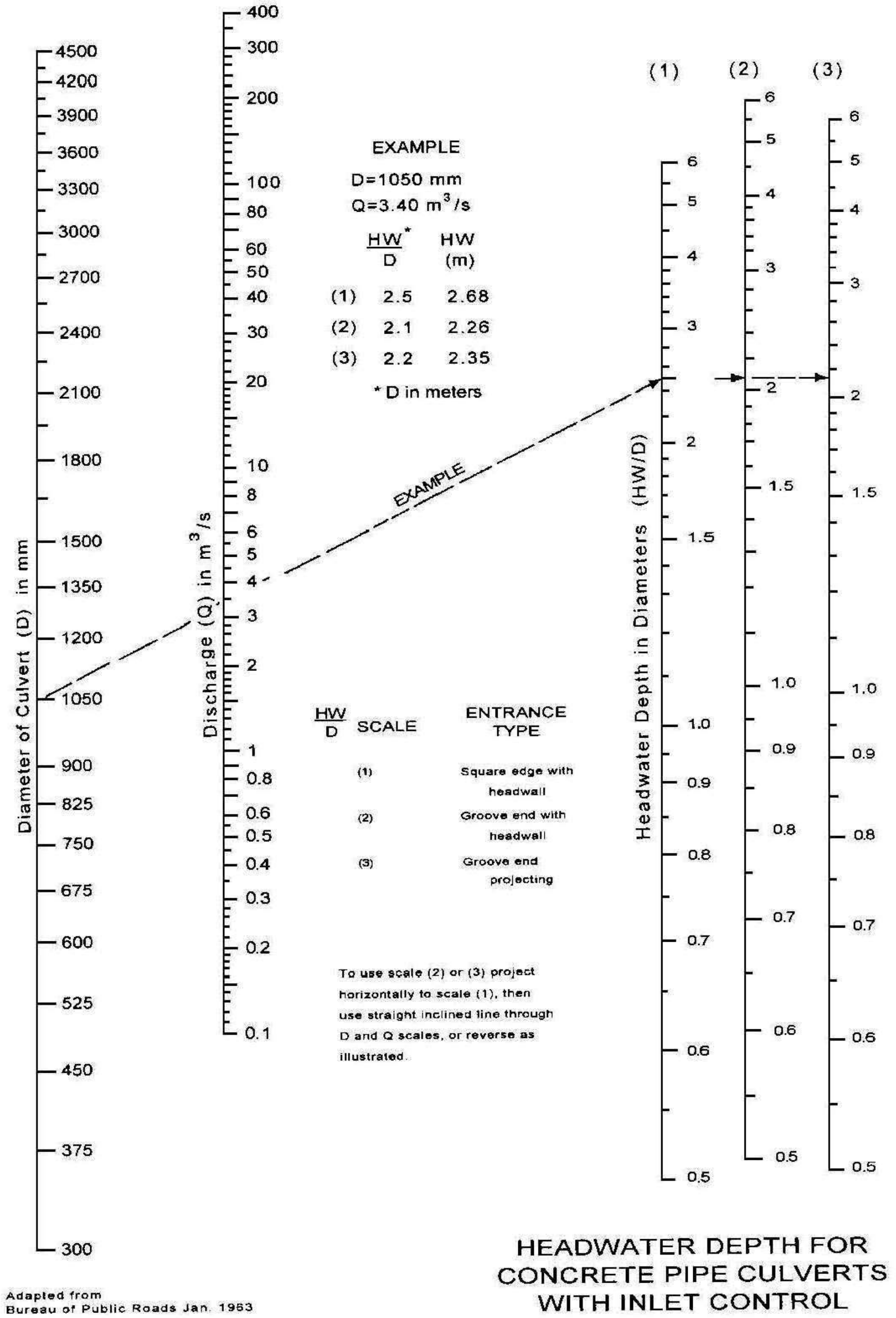

**รูปที่ 2.1-17** ลักษณะการไหลผ่านท่อลอดแบบ Inlet Control

**2.1.2) Weir Flow** การไหลแบบ Weir Flow นี้ ระดับน้ำทางปากท่อจะไม่สูงท่วมปากท่อ (ดูรูป 2.1-17b) และความลาดเอียงของท่อจะเป็นแบบชัน (Steep Slope)* สำหรับการไหลชนิดนี้ สมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำไม่มีรูปแบบแน่นอนเหมือนแบบ Orifice Flow แต่จะขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของท่อด้วย

เป็นที่น่าสังเกตว่าลักษณะการไหลแบบ Inlet Control นี้ น้ำจะไหลไม่เต็มท่อ ท่อมีลักษณะความลาดเอียงมาก และประการสุดท้ายระดับน้ำปลายท่อ (Tail water) จะไม่สูงท่วมหลังท่อ

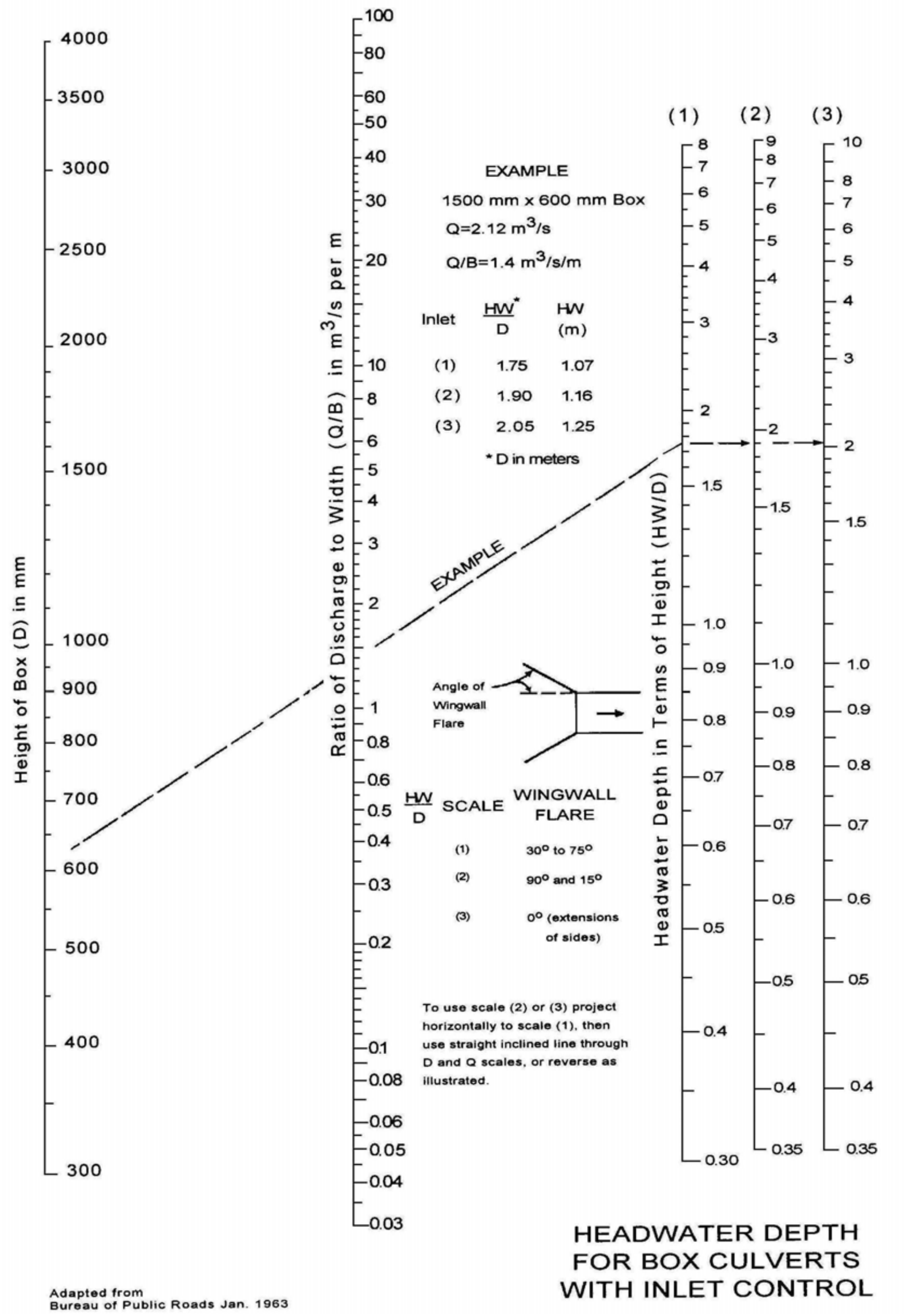
แผนภูมิคำนวณหาความลึกของระดับน้ำด้านปากท่อ (Headwater Depth) ที่ใช้ในการออกแบบ สำหรับการไหลแบบ Inlet Control ได้แสดงในรูปที่ 2.1-18 สำหรับท่อกลมคอนกรีตและสำหรับท่อสี่เหลี่ยม ได้แสดงในรูปที่ 2.1-19

*** ความลาดเอียงแบบชัน (Steep Slope)** ความลาดเอียงแบบชัน หมายถึงความลาดเอียงที่ทำให้การไหลในสภาพ Uniform Flow เป็นแบบ Supercritical Flow ความลาดเอียงนี้จะมีค่ามากกว่าความลาดเอียงวิกฤติ (Critical Slope) ซึ่งเป็นความลาดเอียงที่ทำให้เกิดการไหลแบบ Critical Flow




**รูปที่ 2.1-18** แผนภูมิคำนวณหาความลึกของระดับน้ำปากท่อ สำหรับท่อคอนกรีตกลม ลักษณะการไหลแบบ Inlet Control

**ที่มา :** Urban Drainage Design Manual, FHWA-NHI-01-021,2001

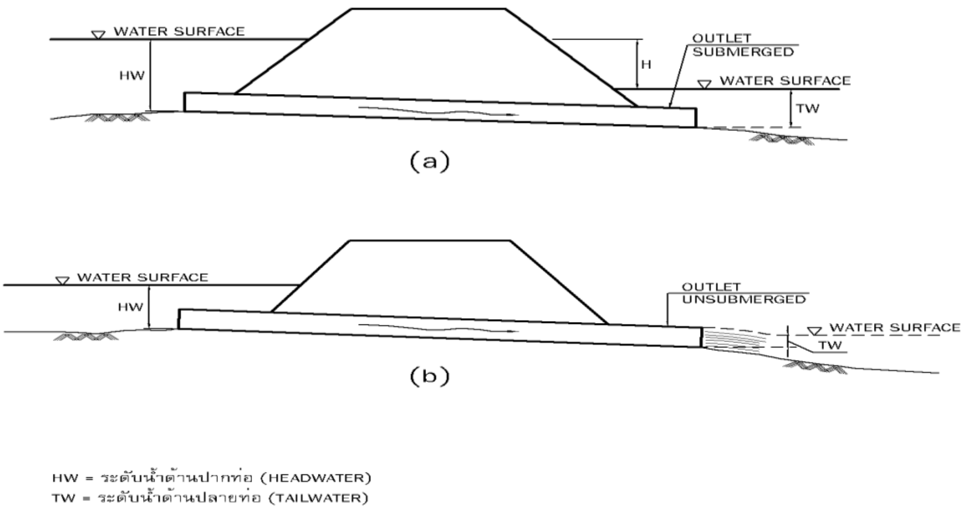



**รูปที่ 2.1-19** แผนภูมิคำนวณหาความลึกของระดับน้ำด้านปากท่อ สำหรับท่อเหลี่ยม ลักษณะการไหลแบบ Inlet Control

**ที่มา :** Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA-NHI-01-020,2001

**2.2.)** ***Outlet Control*** การไหลแบบ Outlet Control นี้ ปริมาณการไหลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายชนิดด้วยกัน เช่น ความลาดเอียงของท่อ, ความหยาบผิว, ความแตกต่างของระดับน้ำปากท่อกับปลายท่อ และลักษณะขอบปากท่อ เป็นต้น อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

**2.2.1) การไหลแบบน้ำเต็มท่อ (Full Pipe Flow)** การไหลนี้น้ำจะเต็มท่อแรงดันของน้ำภายในท่อจะสูงกว่าความดันบรรยากาศ ที่ปากท่อระดับน้ำจะสูงกว่าขอบบนของท่อ แต่ที่ปลายท่อระดับน้ำอาจจะท่วมหลังท่อ (ดูรูปที่ 2.1-20a) หรือไม่ท่วมหลังท่อ (ดูรูปที่ 2.1-20b)




**รูปที่ 2.1-20** ลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลเต็มท่อ

การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ โดยมากจะใช้สมการพลังงาน (Energy Equation) โดยถือว่าพลังงานที่สูญเสียไปทั้งหมดจะเท่ากับผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ นั่นคือ

$$H = \left(1 + K_e + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}}\right)\frac{V^2}{2g}$$

โดยที่

H = ผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ(เมตร)

$K_e$ = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

L = ความยาวของท่อ (เมตร)

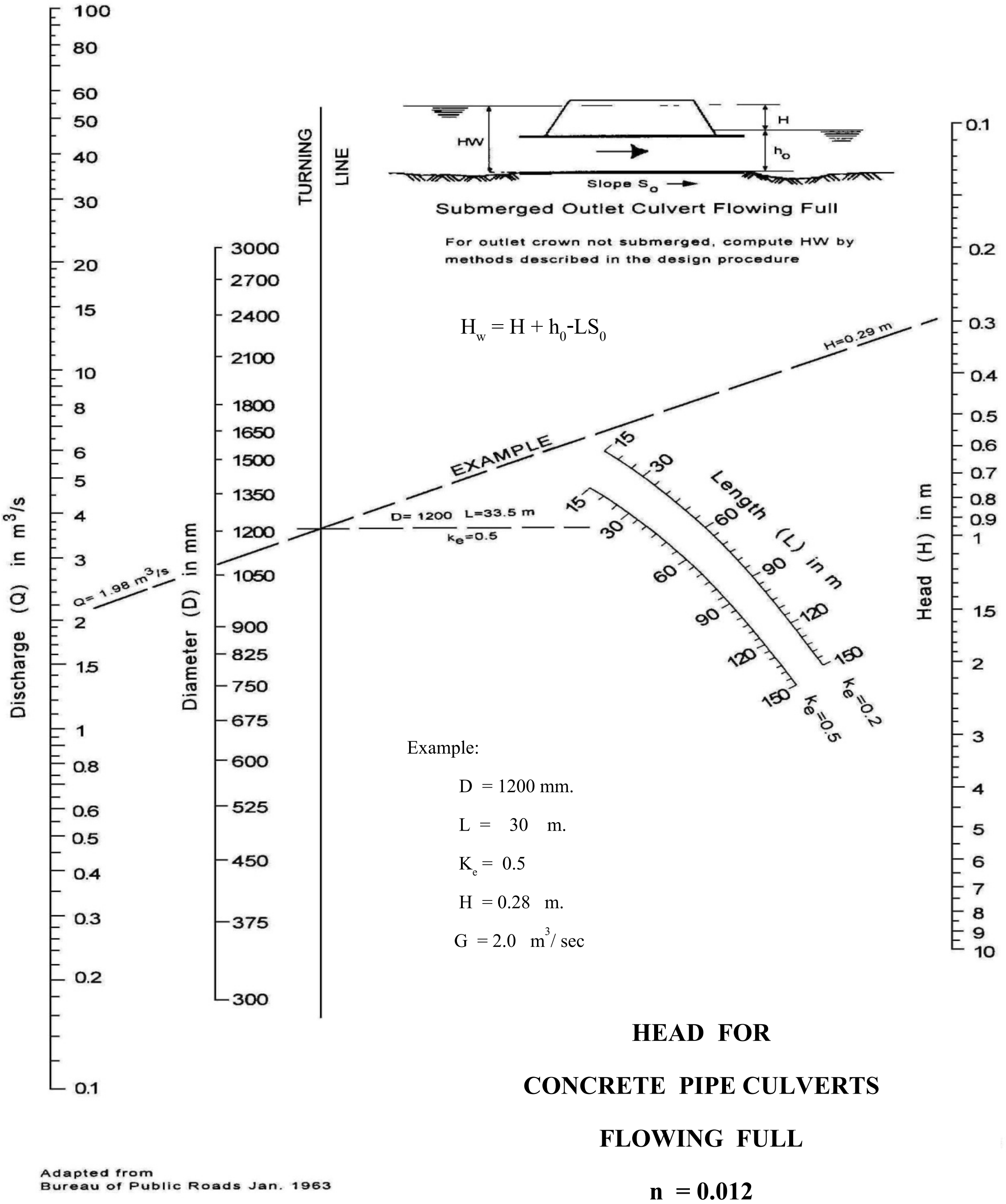
R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) ของท่อ (เมตร)= A/P

A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำไหล (ตารางเมตร)

P = ความยาวเส้นขอบที่เปียกน้ำ (เมตร)

g= อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที$^2$)

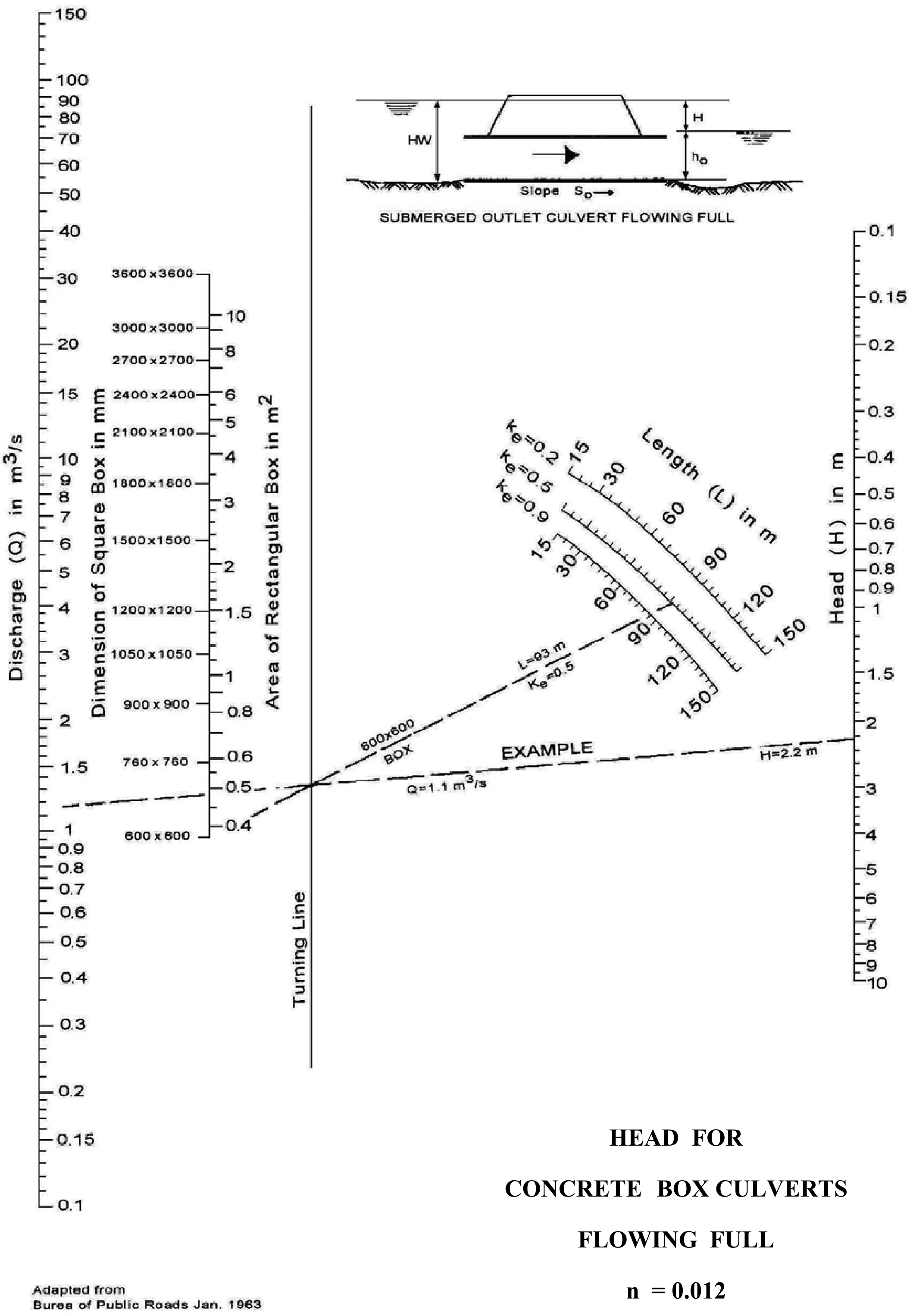
V = ความเร็วการไหลของน้ำ (เมตร/วินาที)




**รูปที่ 2.1-21** แผนภูมิคำนวณหาผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ สำหรับท่อคอนกรีตกลม ลักษณะการไหลแบบ Outlet Control

( สำหรับค่า $K_e$ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.1-18 , $h_0 = T_W$ หรือ $\frac{dc+D}{2}$ โดยใช้ค่าที่มากกว่า ค่า dc ตามแผนภูมิในรูปที่ 2.1-23 และรูปที่ 2.1-24 )

**ที่มา :** Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA-NHI-01-020,2001




**รูปที่ 2.1-22** แผนภูมิคำนวณหาผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ สำหรับท่อเหลี่ยม ลักษณะการไหลแบบ Outlet Control

**ที่มา :** Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA-NHI-01-020,2001

**ตารางที่ 2.1-18** แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ ( $K_e$)

**Entrance Loss Coefficients.**

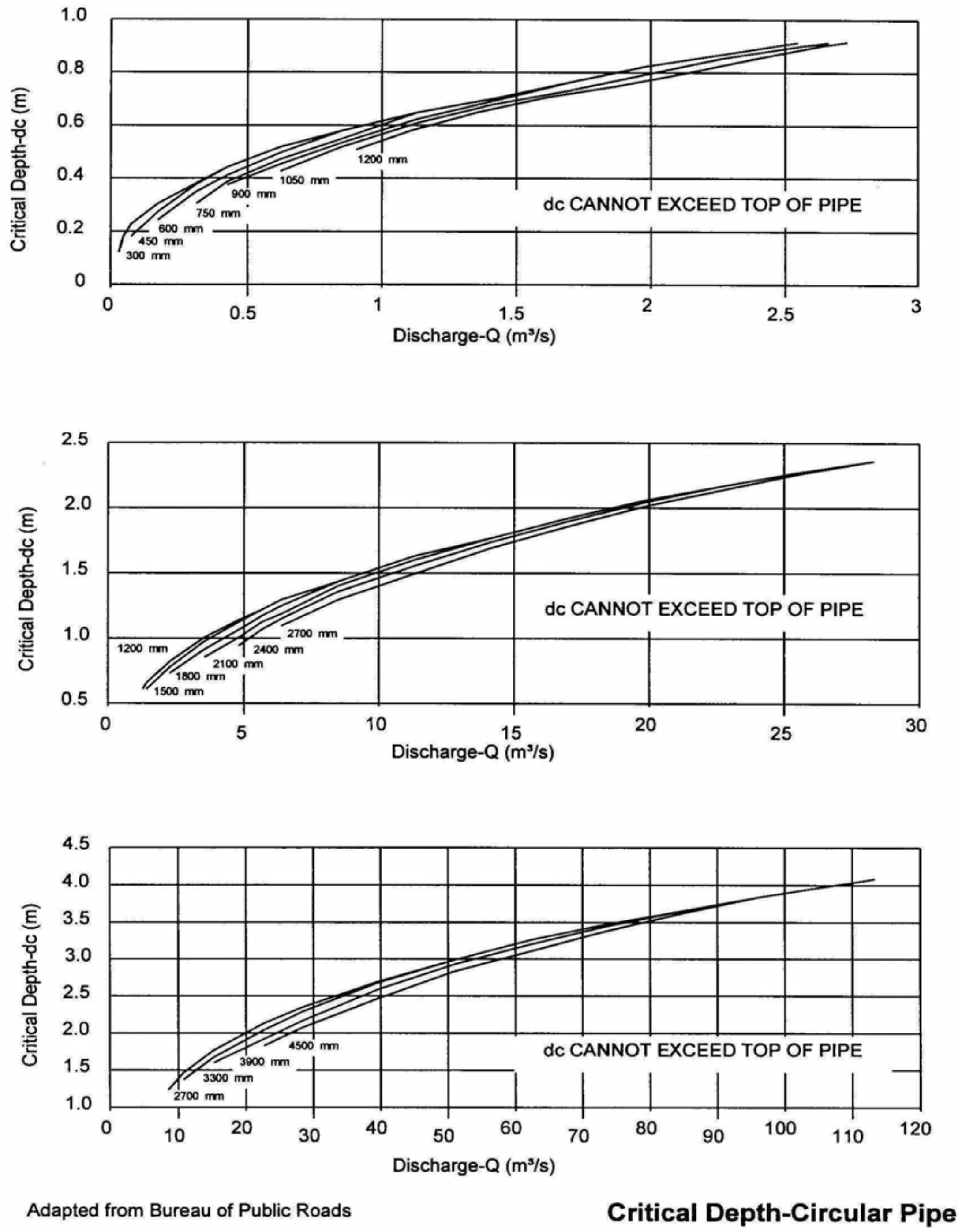
**Outlet Control, Full or Partly Full Entrance Head Loss**

$$H_e = K_e\left[\frac{V^2}{2g}\right]$$

| Type of Structure and Design of Entrance | Coefficient $K_e$ |
|---|---|
| • Pipe, Concrete | |
| Projecting from fill, socket end (groove-end) | 0.2 |
| Projecting from fill, sq. cut end | 0.5 |
| Headwall or headwall and wingwalls | |
| Socket end of pipe (groove-end | 0.2 |
| Square-edge | 0.5 |
| Rounded (radius = D/12 | 0.2 |
| Mitered to conform to fill slope | 0.7 |
| *End-Section conforming to fill slope | 0.5 |
| Beveled edges, $33.7^0$ or $45^0$ bevels | 0.2 |
| Side- or slope-tapered inlet | 0.2 |
| • Pipe. or Pipe-Arch. Corrugated Metal | |
| Projecting from fill (no headwall) | 0.9 |
| Headwall or headwall and wingwalls square-edge | 0.5 |
| Mitered to conform to fill slope, paved or unpaved slope | 0.7 |
| *End-Section conforming to fill slope | 0.5 |
| Beveled edges, $33.7^0$ or $45^0$ bevels | 0.2 |
| Side- or slope-tapered inlet | 0.2 |
| • Box, Reinforced Concrete | |
| Headwall parallel to embankment (no wingwalls) | |
| Square-edged on 3 edges | 0.5 |
| Rounded on 3 edges to radius of D/12 or B/12 or beveled edges on 3 sides | 0.2 |
| Wingwalls at $30^0$ to $75^0$ to barrel | |
| Square-edged at crown | 0.4 |
| Crown edge rounded to radius of D/12 or beveled top edge | 0.2 |
| Wingwall at $10^0$ to $25^0$ to barrel | |
| Square-edged at crown | 0.5 |
| Wingwalls parallel (extension of sides) | |
| Square-edged at crown | 0.7 |
| Side- or slope-tapered inlet | 0.2 |

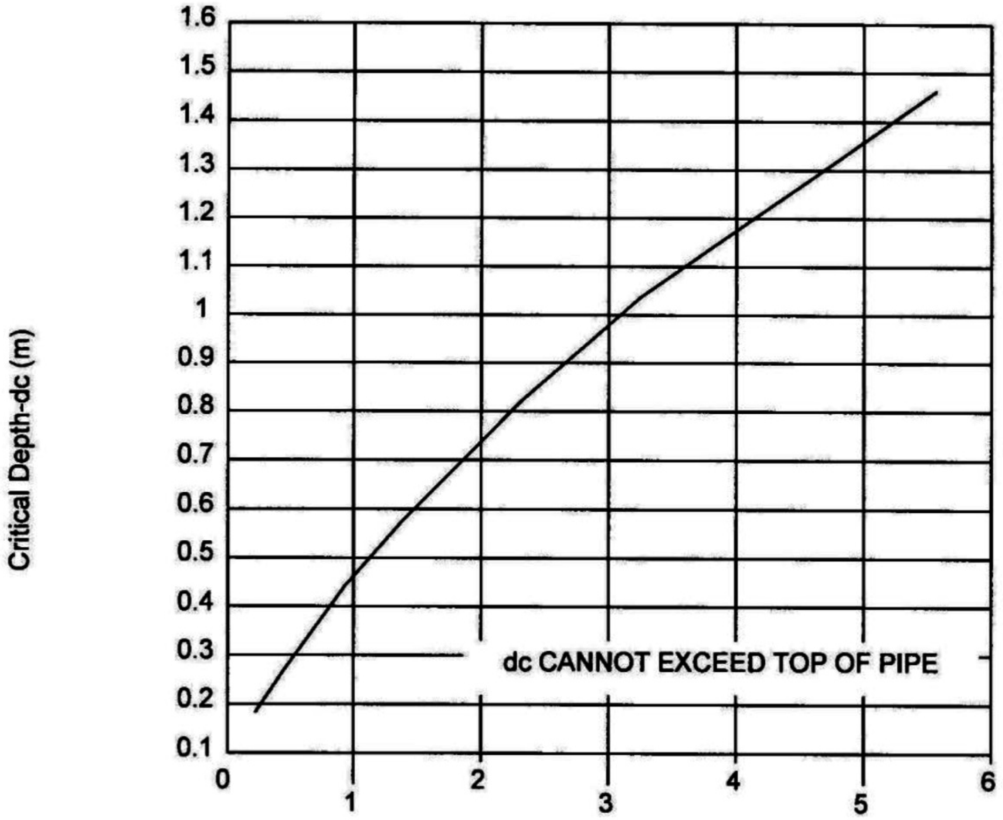
*Note: "End Sections conforming to fill slope," made of either metal or concrete, are the sections commonly available from manufacturers. From limited hydraulic tests they are equivalent in operation to a headwall in both inlet and outlet control. Some end sections, incorporating a closed taper in their design have a superior hydraulic performance. These latter sections can be designed using the information given for the beveled inlet.

**ที่มา :** Hydraulic Design of Hignway Culverts, FHWA – NHI-01-020,2001




**รูปที่ 2.1-23** แผนภูมิคำนวณหาค่า Critical Depth สำหรับท่อกลม (Pipe Culverts)

**ที่มา :** Urban Drainage Design Manual, FHWA-NHI-01-021,2001

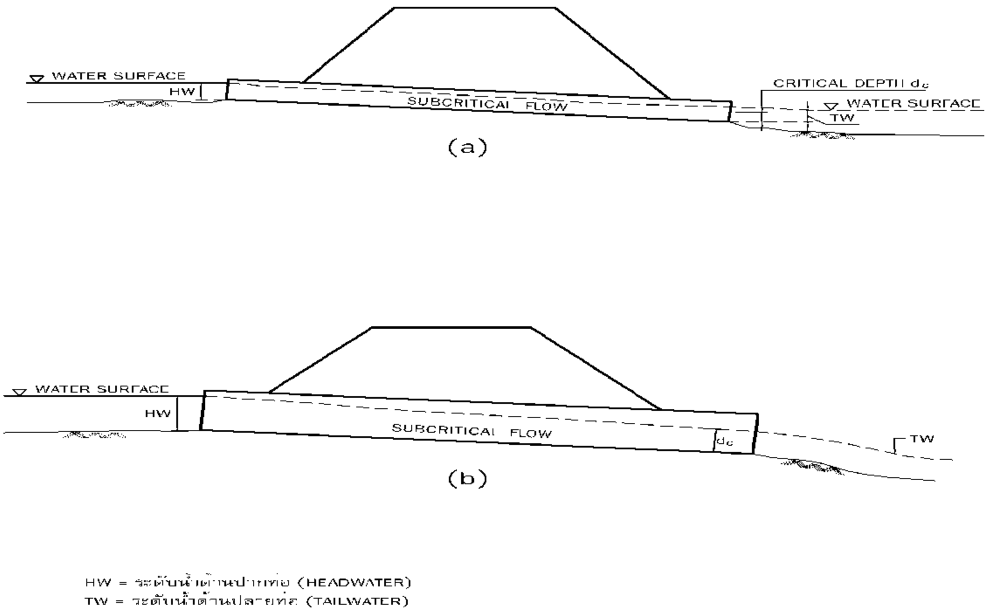



**รูปที่ 2.1-24** แผนภูมิคำนวณหาค่า Critical Depth สำหรับท่อสี่เหลี่ยม (Box Culverts)

**ที่มา :** Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA-NHI-01-020,2001

**2.2.2) การไหลแบบน้ำไม่เต็มท่อ (Partly Full Flow)** การไหลลักษณะนี้ความลาดเอียงของท่อจะต้องเป็นแบบลาด* (Mild Slope) และปากท่อจะไม่จม (Submerged) ใต้ระดับน้ำ แบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกระดับท้ายน้ำสูงกว่าระดับความลึกวิกฤติ (Critical Depth) ก่อนถึงปลายท่อ (ดูรูปที่ 2.1-25a) การไหลจะเป็นแบบ Subcritical Flow ตลอดความยาวท่อ อีกประเภทหนึ่ง (ดูรูปที่ 2.1-25b) ระดับท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับความลึกวิกฤติ ระดับน้ำจะโค้งต่ำลงตรงปลายท่อ และจะมีหน้าตัดหนึ่ง ซึ่งความลึกของน้ำเท่าความลึกวิกฤติพอดี

การคำนวณหาปริมาณน้ำในกรณีเป็น Outlet Control และน้ำไหลไม่เต็มท่อนี้เป็นเรื่องยุ่งยากมาก ดังนั้นในการออกแบบจึงมักจะหลีกเลี่ยงการไหลประเภทนี้เสมอ




**รูปที่ 2.1-25** ลักษณะการไหลผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลไม่เต็มท่อ

*** ความลาดเอียงแบบลาด (Mild Slope)** ความลาดเอียงแบบลาดจะมีค่าน้อยกว่าความลาดเอียงแบบวิกฤติ (Critical Slope) การไหลบน Mild Slope นี้จะเป็นแบบ Subcritical Flow (Froudenumber น้อยกว่า 1)

**3) การกำหนดความเร็วของการไหลที่ไม่เกิดการกัดเซาะและการตกตะกอน**

ก. <u>ความเร็วภายในท่อ</u> ความเร็วต่ำสุดภายในท่อไม่ควรน้อยกว่า 0.7 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการตกตะกอน ความเร็วสูงสุดไม่ควรเกิน 6.00 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของผิวท่อที่เกิดจากตะกอนหยาบ ความเร็วสูงสุดภายในท่อที่นิยมใช้กันประมาณ 2.00 - 3.00 เมตร/วินาที

ข. <u>ความเร็วที่ปลายท่อ</u> ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อ ไม่ควรจะให้สูงจนทำให้เกิดการกัดเซาะพื้นขึ้นได้ เว้นเสียแต่จะมีการทำโครงสร้างเพื่อใช้ป้องกันการกัดเซาะ ความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่พื้น

| | | | |
|---|---|---|---|
| หินขนาด 30 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 6.0 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 25 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 5.0 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 15 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 3.0 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 10 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 2.5 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 5 ซม.หรือปลูกหญ้า | ความเร็วไม่ควรเกิน | 2.0 | เมตร/วินาที |
| ดินเหนียวแข็ง (Firm Loam or very stiff coarse clay) | ความเร็วไม่ควรเกิน | 1.2 | เมตร/วินาที |
| ดินทรายหรือดินตะกอน (Sandy or Silty Clay) | ความเร็วไม่ควรเกิน | 1.0 | เมตร/วินาที |

ค. สำหรับทางน้ำที่มีการป้องกันโดยการปูหินทิ้งระยะทางอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

**<u>ความลาดเอียงของท่อ</u>** ความลาดเอียงของท่อลอดควรออกแบบให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับความลาดเอียงของพื้นลำธาร ความลาดเอียงที่น้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5% (1 on 200) ถึง 0.33% (1 on 300) ถ้าเป็นไปได้ควรวางท่อให้เอียงประมาณ 1% หรือมากกว่า เพื่อที่การไหลจะได้อยู่ในลักษณะของ Inlet Control สำหรับความลาดเอียงสูงสุดที่ยอมให้ไม่ควรเกิน 15% เนื่องจากจะทำให้ความเร็วของน้ำในท่อสูง(ตารางที่ 2.1-19 และ ตารางที่ 2.1-20) จนทำให้ท่อเกิดการสึกกร่อนได้

**ตารางที่ 2.1-19** Average Velocities of Overland Flow

| Description of Course of Runoff | Velocities (m/s) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Slope (%) | | | | | | |
| | 0-3 | 4-7 | 8-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
| Woodland or Jungle | 0.15 | 0.30 | 0.45 | 0.55 | 0.65 | 0.80 | 1.10 |
| Pasture | 0.25 | 0.50 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.25 | 1.40 |
| Cultivated (Row Crop) | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.10 | 1.20 | 1.35 | 1.50 |
| Pavement | 1.50 | 3.60 | 4.75 | 5.50 | - | - | - |
| Natural Draw (Not Well Defined) | 0.25 | 0.75 | 1.25 | 1.80 | - | - | - |

**ตารางที่ 2.1-20** Approximate Stream Velocities

| Average Slope of Channel (%) | Average Velocities (m/s) |
|---|---|
| 1-2 | 0.60 |
| 2-4 | 0.90 |
| 4-6 | 1.20 |
| 6-10 | 1.50 |
| 10-15 | 2.50 |

**4) วิธีการออกแบบ**

การออกแบบท่อลอด จะต้องอาศัยวิธีการสมมุติค่า และทดสอบ (Trial and error) คือเลือกขนาดท่อขนาดหนึ่ง แล้วตรวจสอบดูว่าน้ำจะสามารถไหลผ่านได้ ตามอัตราที่กำหนดไว้หรือไม่ ปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีการเช่นนี้ คือ ในขั้นแรกเราไม่ทราบว่าลักษณะการไหลจะเป็นแบบ Inlet Control หรือ Outlet Control โดยทั่วไปถ้าความลาดเอียงของท่อเท่ากับหรือมากกว่า 1% การไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้าน้อยกว่า 0.5% จะเป็นแบบ Outlet Control แต่เพื่อความแน่นอนจะต้องทดสอบลักษณะการไหลเสมอ

### 2.1.2 ภูมิประเทศและภูมิอากาศ

#### 2.1.2.1 ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการฯ

ภูมิประเทศมีส่วนเกี่ยวข้องกับลักษณะการระบายน้ำของทางหลวงเป็นอย่างมาก ปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำจะสร้างความเสียหายให้กับตัวทางหลวง และในกรณีตัวทางหลวงเองจะเกี่ยวข้องกับการสร้างปัญหาให้กับพื้นที่ประชิดสองข้างทาง และสิ่งแวดล้อม ในประเด็นของการระบายน้ำจำเป็นต้องมีการศึกษาปัญหาของการระบายน้ำ และออกแบบระบบระบายน้ำที่เหมาะสมในแต่ละลักษณะพื้นที่ เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นให้น้อยลงดังนี้

**1. ภูมิประเทศที่เป็นภูเขาหรือลาดชัน**

ลักษณะการไหลของน้ำจะเป็นแบบไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำกว่าซึ่งจะเป็นการไหลที่รวดเร็ว และรุนแรง ลำน้ำ ลำธารที่ไหลในพื้นที่นี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับมากมี ความเร็วมาก มีสิ่งไหลลอยตามน้ำมาก เช่น กิ่งไม้ ท่อนไม้ เกิดการกัดเซาะรุนแรง ทั้งตามขวาง และตามยาว ของทางหลวง นอกจากนี้แล้วในบางกรณีจะมีน้ำใต้ดินที่จะมีผลต่อตัวคันทาง เมื่อตัดหรือ ถมทางหลวง ผ่านไปในพื้นที่ดังกล่าว ในภาพรวมระบบระบายน้ำในลักษณะภูมิประเทศแบบนี้ประกอบด้วย

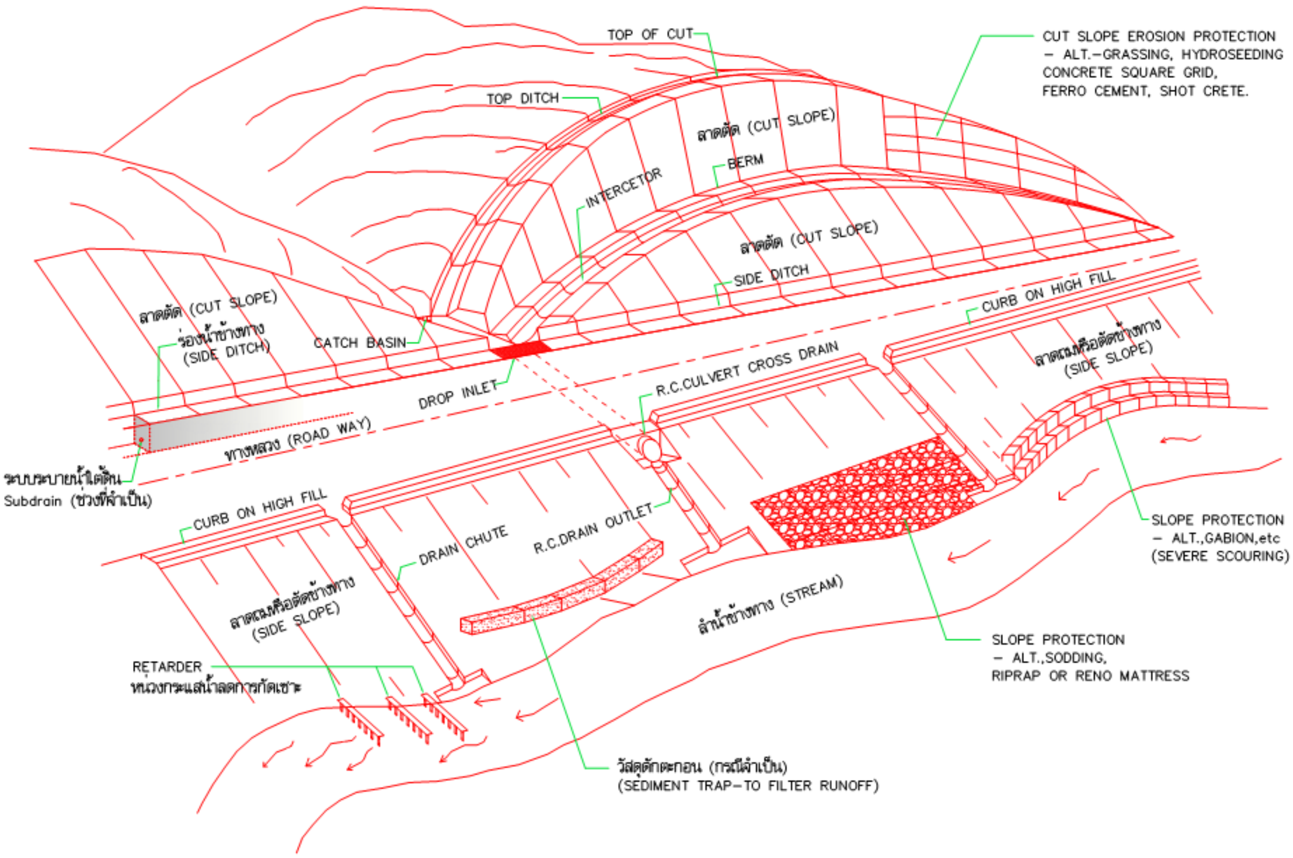
**1.1 ระบายน้ำตามขวาง**

การก่อสร้างทางในภูเขา มักจะมีลักษณะรูปตัดเป็นการตัดทั้งหมด (Full cutหรือ Block cut ) ตัดครึ่ง ถมครึ่ง ( Half cut & Half fill ) หรือ ถมทั้งหมด ( Fill embankment ) แต่ละแบบน้ำจะไหลจากที่สูงด้านข้างไหลผ่านตัวคันทาง ลงที่ต่ำกว่าด้านข้างทางซึ่งจะก่อให้เกิดการกัดเซาะทั้งบนลาดตัด ( Back slope)บนตัวคันทาง ( Road bed ) และบนลาดถม ( Side slope ) จำเป็นต้องมีระบบระบายน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำและความเร็วกระแสน้ำ ได้แก่ การขุดร่องน้ำบนยอดเขาดักกระแสน้ำส่วนหนึ่งก่อนไหลลงผ่านลาดตัด การขุดก่อสร้างรางระบายน้ำบนขั้น ( Bench ) บนลาดตัด ( Interceptor ) การขุดร่องน้ำข้างทาง ( Side ditch ) เพื่อมิให้น้ำเอ่อท่วมผ่านคันทาง การก่อสร้างคันกั้นน้ำที่ขอบไหล่ทางช่องถมสูง ( Curb on High Fill ) เพื่อดักน้ำมิให้ไหลลงกัดเซาะลาดถมคันทาง และรางระบายน้ำบนขั้น ( Berm ) ของลาดถมสูง

การออกแบบอาคารระบายน้ำตรงจุดที่มีทางน้ำไหลผ่านทางหลวงนอกจากปริมาณน้ำหลากแล้วจะต้องพิจารณา ระดับน้ำสูงสุดที่ควรจะเป็น ความเร็วของกระแสน้ำ ลักษณะทางเรขาคณิตของแนวทางน้ำที่ไหลเข้าบนทางหลวง ลักษณะการกัดเซาะ สิ่งที่ไหลลอยตามน้ำ ตลอดมุมเฉียง ( Skew angle ) ที่เหมาะสมด้วย ปัจจัยดังกล่าวจะมีผลอย่างมากต่อการเลือกประเภทของอาคารระบายน้ำว่าจะเป็นท่อกลม ท่อเหลี่ยม หรือสะพาน การป้องกันการกัดเซาะที่คอสะพาน ลาดถมที่ประชิดคอสะพาน การกำหนดความยาวช่วงสะพาน (Span) การป้องกันเสาตอม่อ ฯลฯ แม้กระทั่งการปรับแนวทางน้ำใหม่ การป้องกันลาดตลิ่งทางน้ำ การก่อสร้างบ่อดักตะกอน ปากท่อ ก็เป็นเรื่องที่จำเป็นต้องพิจารณาด้วยทุกครั้ง การก่อสร้างรางระบายน้ำคอนกรีต จากปากท่อระบายน้ำตามลาดข้างทางในกรณีที่ปากท่อลอยสูงจากระดับดินเดิมด้านข้างทาง เป็นเรื่องจำเป็น เป็นกันเพื่อป้องกันการกัดเซาะบนลาดข้างทางเช่นกัน

**1.2 การระบายน้ำตามยาว**

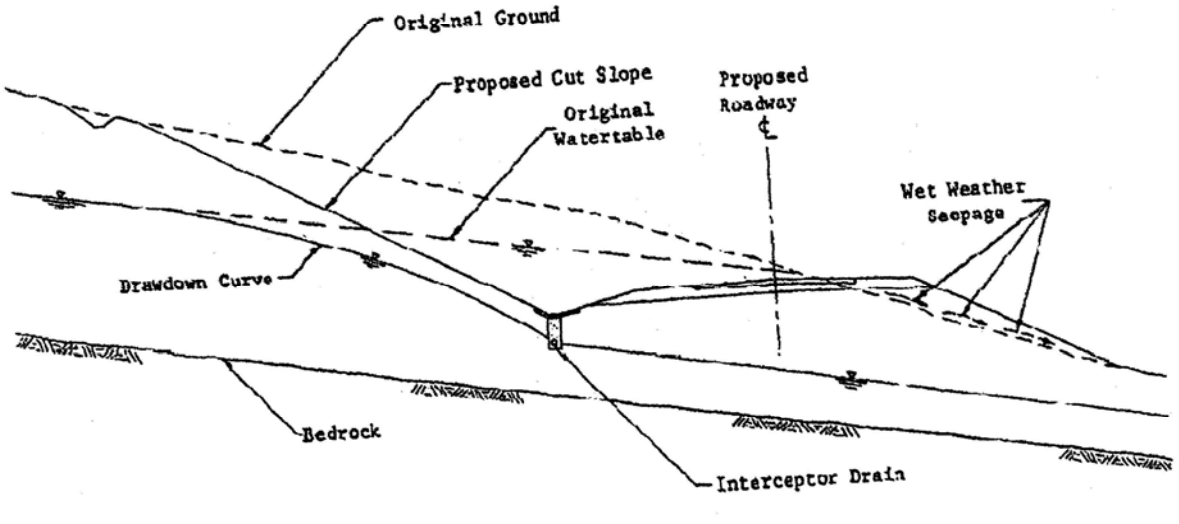
ความลาด ( Slope ) ของทางหลวงในภูมิประเทศที่เป็นทางเขาหรือทางลาดชันและลักษณะภูมิประเทศ เป็นสาเหตุให้น้ำไหลตามทางลาดชันตามแนวยาวของทางหลวง จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการกัดเซาะทางหลวงและพื้นดินด้านข้างทางหลวง การออกแบบการป้องกันการกัดเซาะรูปแบบต่าง ๆ เป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องดำเนินการ เช่น การก่อสร้างร่องน้ำข้างทางพร้อมวัสดุป้องกันการกัดเซาะในร่องน้ำ เช่นคอนกรีต แอสฟัลท์ เรียงหิน หรือ ปลูกหญ้า รวมทั้ง การก่อสร้างคันขวางร่องน้ำ ( Ditch check ) เป็นระยะเพื่อลดพลังงานของกระแสน้ำป้องกันการการกัดเซาะและบริเวณช่วงโค้งหรือจุดที่เป็นแอ่ง ( Sag ) ควรพิจารณาการก่อสร้างบ่อดัก ( Drop Inlet ) และวางท่อกลม คสล. ลอดถนน เพื่อแบ่งน้ำให้ไหลทิ้งออกด้านข้าง ถ้าทำได้เพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำและความแรงของกระแสน้ำในร่องน้ำ ตลอดจนเป็นการดักตะกอนที่ไหลตามกระแสน้ำมาด้วย การป้องกันการกัดเซาะบนไหล่ทางอาจดำเนินการก่อสร้างร่องน้ำคอนกรีตที่ขอบไหล่ทาง เพื่อช่วยให้น้ำไหลตามยาว โดยลดการกัดเซาะได้ระดับหนึ่ง แต่ต้องคำนึงถึงขนาดความกว้าง ความลึก ของร่องดังกล่าวเพื่อความปลอดภัยของรถที่อาจวิ่งไปทับได้



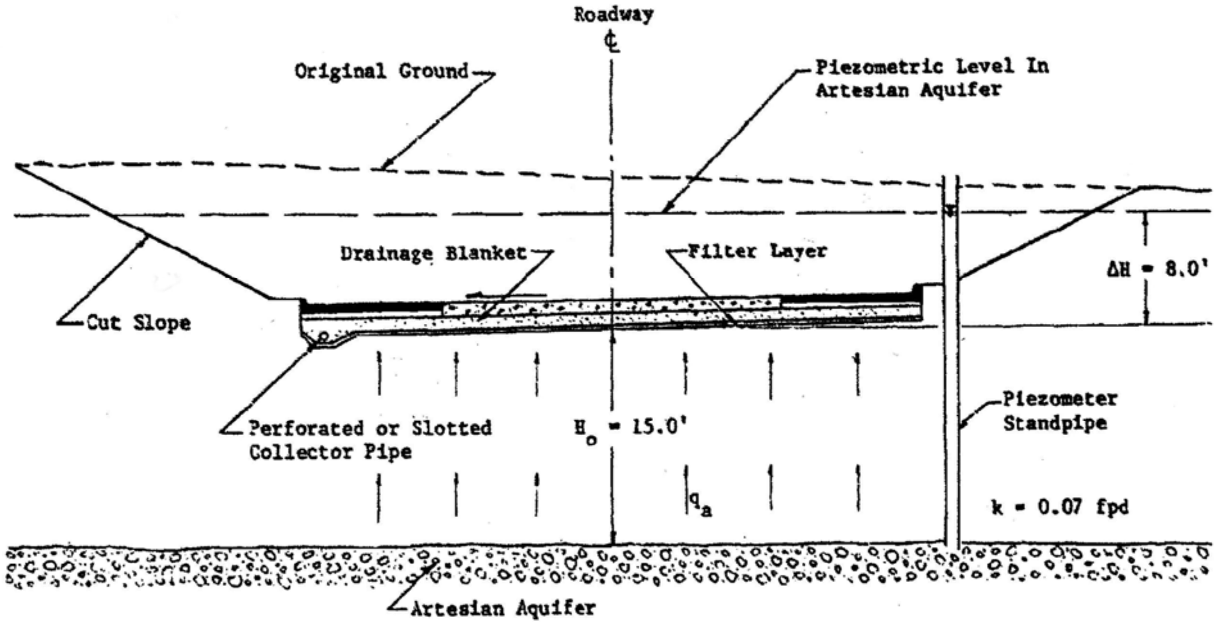

**รูปที่ 2.1-26** แสดงระบบระบายน้ำและงานป้องกันการกัดเซาะของทางหลวงบนภูมิประเทศที่เป็นภูเขา

**1.3 การระบายน้ำใต้ดิน**

การก่อสร้างทางหลวงผ่านภูมิประเทศที่เป็นภูเขาหรือที่ราบลุ่มมักประสพปัญหาเรื่องน้ำดินซึ่งเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อทางหลวงในลักษณะขาดเสถียรภาพของคันทาง เกิดการเลื่อนไถลเกิดการทรุดตัว เกิดความเสียหายบนชั้นทาง จึงต้องศึกษาลักษณะของน้ำใต้ดินที่เป็นอยู่ซึ่งทางหลวงจะตัดผ่านไปแล้วจะเกิดปัญหาทั้งทางด้านตัด ( Cut ) และด้านถม ( Fill ) การออกแบบเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวดำเนินการได้ในหลายวิธีด้วยหลักการที่ต้องการลดระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) ให้ต่ำกว่า ชั้น Sub grade ของคันทางให้มา และการระบายทิ้งออกทั้งตามยาวและตามขวางของทางหลวง หรือก่อสร้างชั้นระบายน้ำใต้คันทางดินถมหรือดินตัด เพื่อป้องกันการซึมผ่านขึ้นจากน้ำใต้ดินชั้นใต้ การสังเกตุน้ำใต้ดินจึงต้องดำเนินการทั้งในระหว่างการสำรวจภูมิประเทศเพื่อออกแบบ ศึกษาจากแผนที่ทางธรณีวิทยาและในระหว่างการก่อสร้างให้สังเกตน้ำใต้ดินที่ปรากฏทั้งด้านตัด ด้านถม และช่วงรอยต่อระหว่างช่วงที่ตัดและถมตามยาวแล้วออกแบบเพื่อแก้ไขป้องกัน



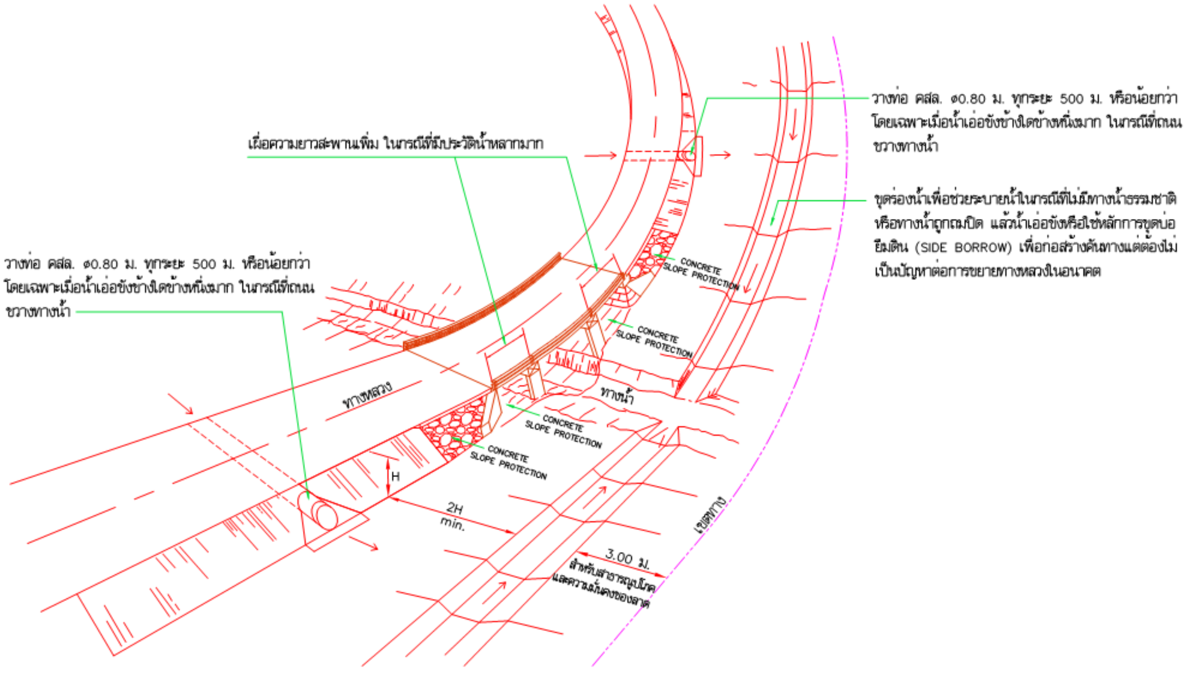

**รูปที่ 2.1-27** การออกแบบร่องระบายน้ำใต้ดินเพื่อตัดกระแสน้ำใต้ดิน ( Interceptor Drain ) และลดระดับน้ำใต้ดิน ( Water Table )




**รูปที่ 2.1-28** การก่อสร้างชั้นระบายน้ำเพื่อป้องกันการซึมขึ้นของน้ำใต้ดิน

**2. ภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่ม**

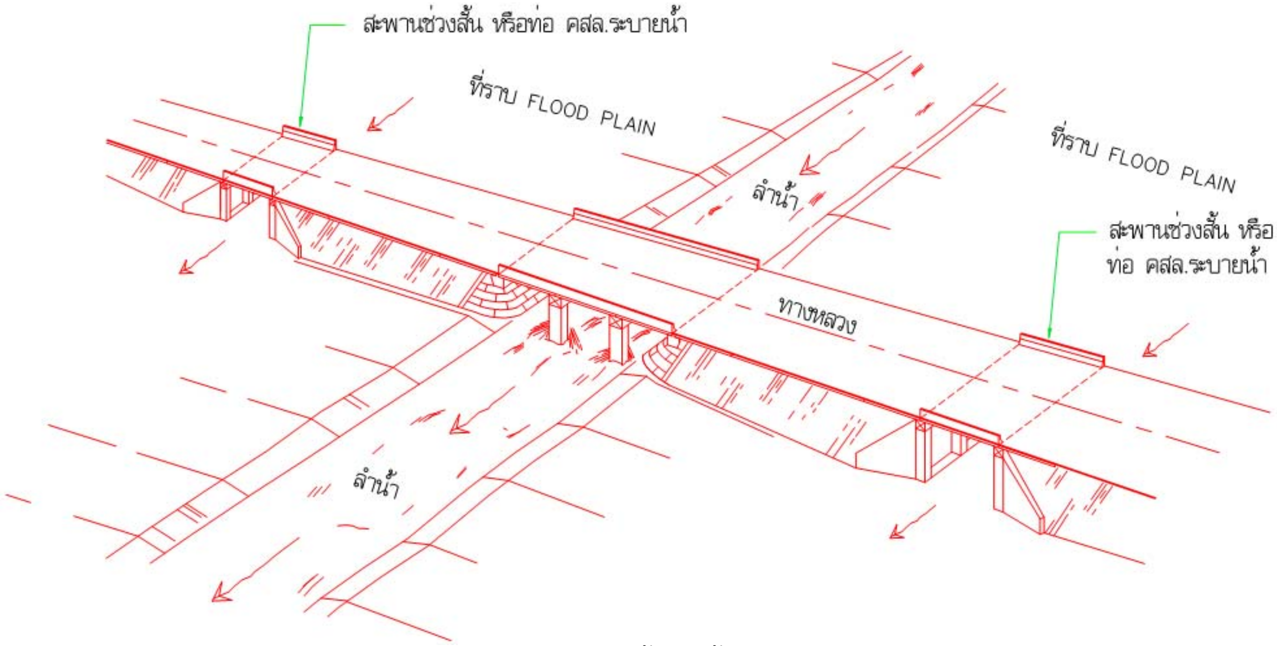
การก่อสร้างทางหลวงผ่านไปในภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่มจะต้องคำนึงถึงการระบายน้ำ เนื่องจากส่วนมากแล้ว ตัวทางหลวงมักจะขวางการไหลของน้ำ หรือ ทำให้พื้นที่ลุ่มรับน้ำหายไปบางส่วนเป็นเหตุให้น้ำเอ่อขัง จำเป็นต้องพิจารณาออกแบบกำหนดอาคารระบายน้ำให้พอเพียง เพื่อให้น้ำไหลผ่านหรือลดระดับลง โดยการกำหนดความยาวสะพานให้พอเพียงโดยต้องเผื่อความยาวให้มากกว่าที่ประเมินจากปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน( Run off ) เป็นค่า Factor of Safety ( F.S. ) ซึ่งสำหรับทางสายหลัก หรือทางที่มีประวัติน้ำท่วมบ่อยครั้ง ควรให้ค่า F.S. เท่ากับ 1.5 เป็นอย่างน้อย พร้อมการป้องกันเชิงลาดที่คอสะพาน ( Bridge Approach ) และลาดถมที่ประชิดคอสะพานด้านข้างให้ยาวพอเพื่อป้องกันการกัดเซาะ ในกรณีที่ไม่ปรากฏทางน้ำไหลผ่าน ควรวางท่อ คสล. ( Cross Drain ) เพื่อระบายน้ำ ทุกระยะ 500 เมตร หรือน้อยกว่าเพื่อช่วยระบายน้ำ ในบางกรณีที่มีปัญหาในการไหลผ่านตัวทางหลวงด้วยสาเหตุต่าง ๆ เช่น พื้นที่ด้านข้างเขตทางหลวงมีการพัฒนาที่ดินโดยการถมดิน หรือทางน้ำถูกรุกล้ำ ถมปิดทำให้น้ำเอ่อขัง ไม่สามารถไหลไปตามพื้นที่ตามธรรมชาติได้ ก็อาจขุดลำราง ภายในเขตทางตามแนวยาว เพื่อช่วยระบายน้ำหรือรับน้ำที่เข้าหาตัวทางหลวง และให้ไหลไปตามยาวไประบายลงสู่จุดที่กระทำได้ แต่ต้องคำนึงถึงความมั่นคง ( Stability ) ของตัวทางหลวง และการขยายเพิ่มช่องจราจรในอนาคตด้วย



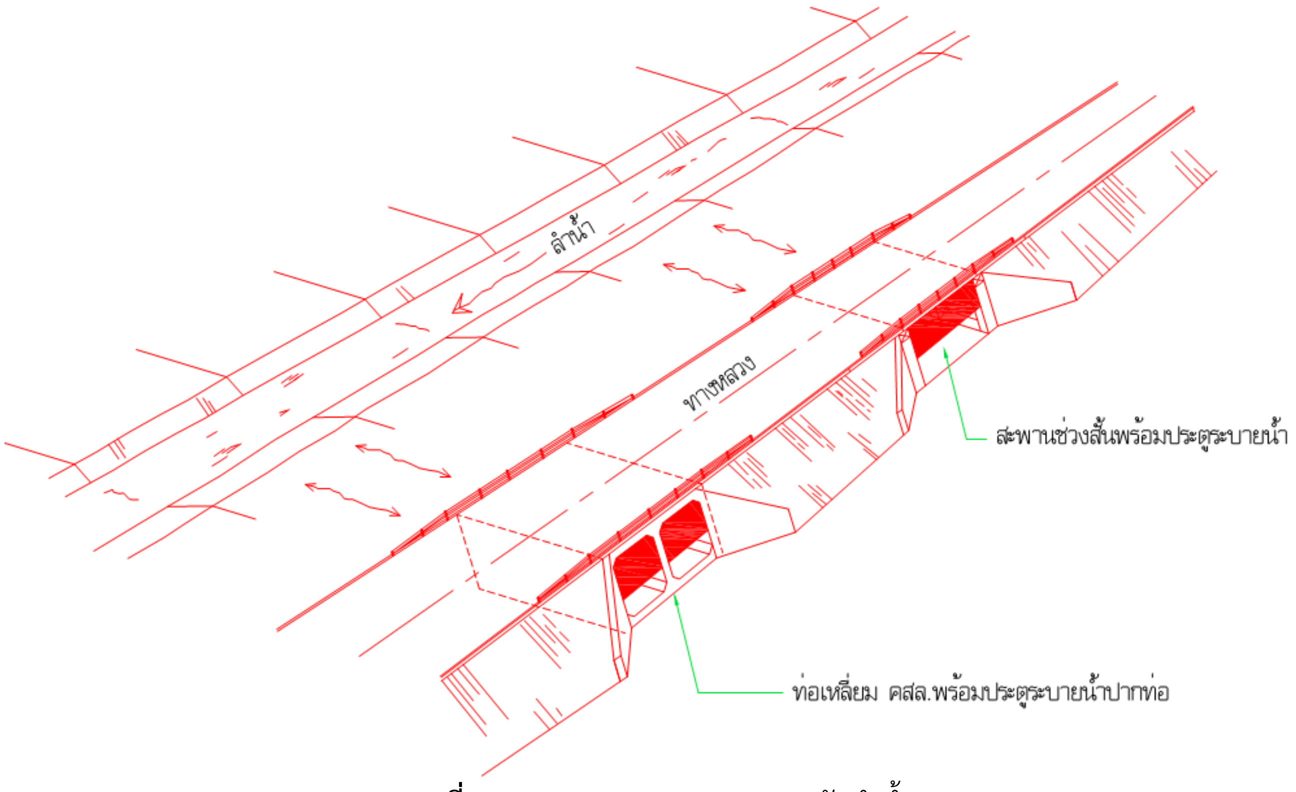

**รูปที่ 2.1-29** แสดงระบบระบายน้ำในภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่ม

ในกรณีที่ลำน้ำบางแห่งไหลผ่านที่ราบซึ่งมีลักษณะการไหลของน้ำแบบ Flood Plain ที่ระดับน้ำท่วมจะเอ่อล้นตลิ่งเข้าท่วมที่ราบทั้งสองฝั่งลำน้ำเป็นบริเวณกว้าง การก่อสร้างสะพานเพื่อข้ามที่ราบน้ำท่วมทั้งหมดจะทำให้สะพานมีความยาวและสิ้นเปลืองมาก ดังนั้นในการออกแบบจะใช้วิธีก่อสร้างทางตัดผ่านที่ราบทั้งสองฝั่งลำน้ำบางส่วน แล้วจึงก่อสร้างสะพานหรือ ท่อคสล. ระบายน้ำเชื่อมต่อทางทั้งสองฝั่งของลำน้ำเพื่อให้มีช่องเปิดบริเวณสะพานให้น้ำไหลผ่านไปได้เป็นช่วง ๆ ซึ่งการก่อสร้างทางและสะพานในลักษณะนี้จะเป็นการบีบทางน้ำและทำให้ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของสะพานยกระดับสูงขึ้นจากสภาพก่อนมีโครงการ ซึ่งจะสูงมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องเปิดบริเวณสะพานว่ามีมากน้อยเพียงไร กล่าวคือถ้าช่องเปิดมีน้อยหรือก่อสร้างสะพานมีความยาวน้อยจะทำให้มีการบีบทางน้ำมาก ระดับน้ำด้านเหนือน้ำจะสูงขึ้นจากเดิมมาก และในทางกลับกันถ้าช่องเปิดมีมากหรือก่อสร้างสะพานมีความยาวมากจะทำให้มีการบีบทางน้ำน้อย ระดับน้ำด้านเหนือน้ำจะสูงขึ้นจากเดิมน้อย ดังนั้นจึงต้องกำหนดความกว้างของสะพานให้เหมาะสมเพื่อให้ระดับน้ำที่สูงขึ้นนี้ไม่ท่วมทางจนเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของงานทางได้ รวมทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพการระบายน้ำหรือสภาพน้ำท่วมของพื้นที่ใกล้เคียง

ในกรณีที่แนวถนนขนานไปกับลำน้ำด้านข้าง ตัวถนนจะขวางการไหลของน้ำจากพื้นที่ด้านข้างลงสู่แม่น้ำ แต่ในบางกรณีที่น้ำจากลำน้ำเอ่อสูงขึ้นเข้าท่วมพื้นที่ด้านข้างลำน้ำ ตัวถนนจะช่วยขวางป้องกันน้ำท่วมจากตัวลำน้ำได้ การออกแบบอาคารระบายน้ำและความสูงของระดับก่อสร้างตัวถนนในกรณีดังกล่าวนี้จำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมและหน้าที่ของตัวถนนและการไหลของน้ำให้ชัดเจนแล้วจึงออกแบบให้ตรงตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวให้เหมาะสม ทั้งการกำหนดช่องเปิดผ่านตัวถนนเป็นช่วง ๆ พร้อมอาคารระบายน้ำที่เหมาะสม การออกแบบอาคารประกอบ เช่น ประตูระบายน้ำเปิดปิดตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และการป้องกันการกัดเซาะตัวถนนให้พอเพียงรวมทั้งชั้นโครงสร้างทางและผิวทางที่ทนทานต่อการกัดเซาะในกรณีที่น้ำหลากเอ่อท่วม




**รูปที่ 2.1-30** แสดง ทางหลวงตัดทางน้ำ ในพื้นที่ราบลุ่มที่เป็น FLOOD PLAIN

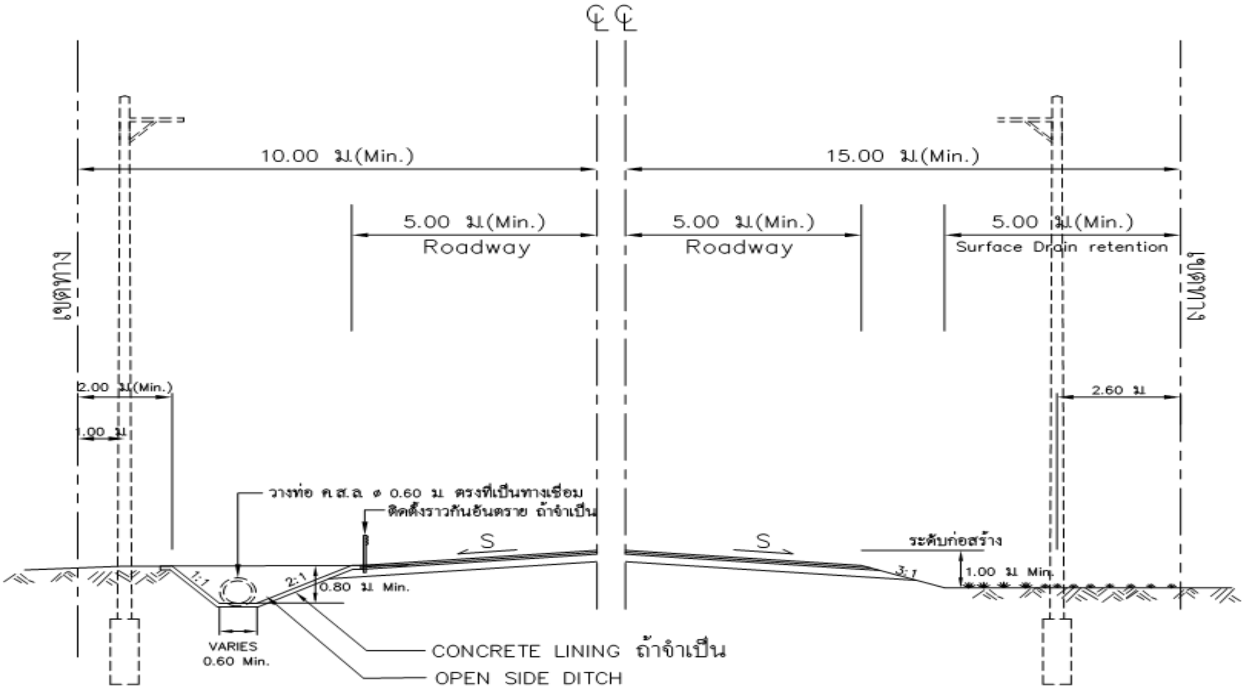



**รูปที่ 2.1-31** แสดง ทางหลวงขนานกับลำน้ำ

**3. ภูมิประเทศที่เป็นลักษณะชุมนุมชน**

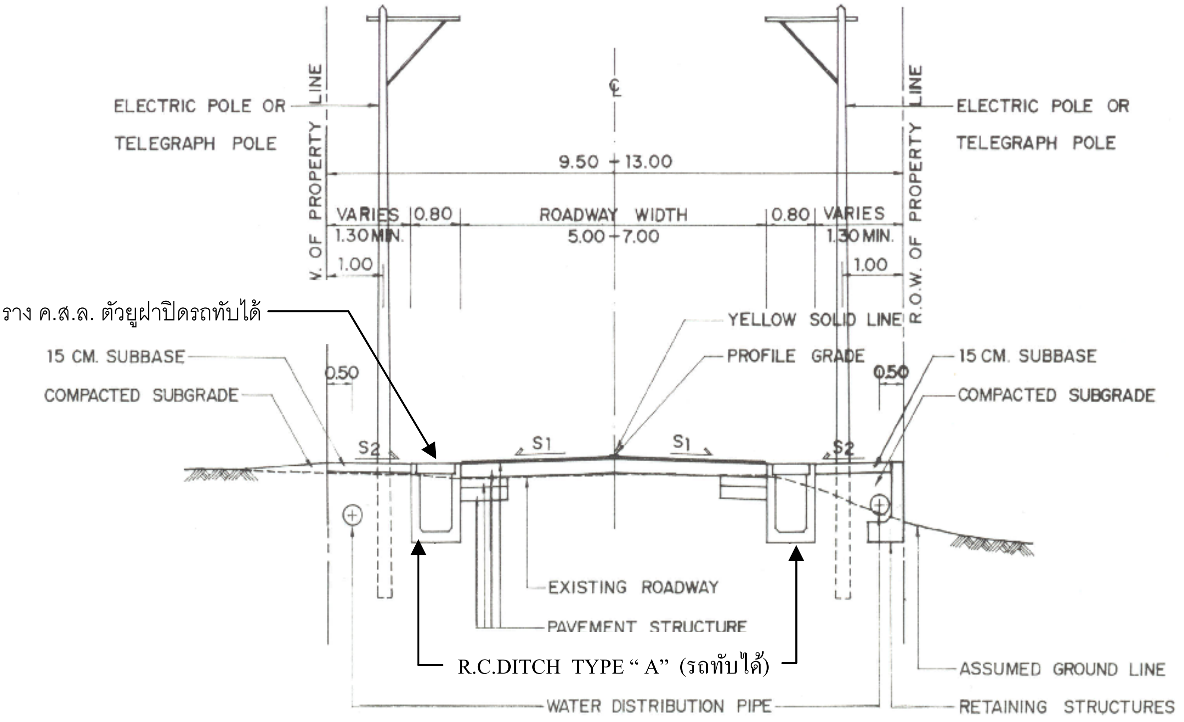
ลักษณะของย่านชุมนุมชนที่ทางหลวงผ่านและความกว้างของเขตทางจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของการออกแบบงานระบายน้ำที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

3.1) ลักษณะที่เป็นหมู่บ้านหรือเป็นบ้านพักอาศัยที่ไม่หนาแน่น ไม่เป็นลักษณะอาคารพาณิชย์ที่มีการเข้าออกมาก อาจกำหนดรูปแบบ เป็นแบบไหลบนพื้น (Surface Drain) จากคันทางสู่พื้นที่ด้านข้าง แต่ระดับหลังทางต้องสูงกว่าระดับพื้นที่ด้านข้างทางพอสมควร และต้องมีระยะห่างจากตีนลาดถม (Toe of Slope) ถึงเขตทาง กว้างพอที่จะชะลอการไหลของน้ำสู่พื้นที่ด้านข้าง ในกรณีที่คันทางห่างจากเขตทางไม่มาก ควรขุดร่องน้ำข้างทาง (Side Ditch) ตามความจำเป็น การขุดร่องน้ำข้างทางแบบเปิด (Open Ditch) จะมีความเหมาะสมกรณีที่พื้นที่ประชิดด้านข้าง เป็นลักษณะพื้นที่ที่สามารถกำหนดจุดเข้าออกทางหลวงได้เป็นจุดเฉพาะแห่ง เช่น พื้นที่สถานศึกษา หน่วยงานราชการ โรงพยาบาล วัด หรือพื้นที่ที่มีแนวรั้วกั้นยาว และร่องน้ำข้างทางแบบเปิดเป็นแบบที่สามารถทำความสะอาดได้ง่าย ให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำที่ดี และราคาค่าก่อสร้างไม่สูง



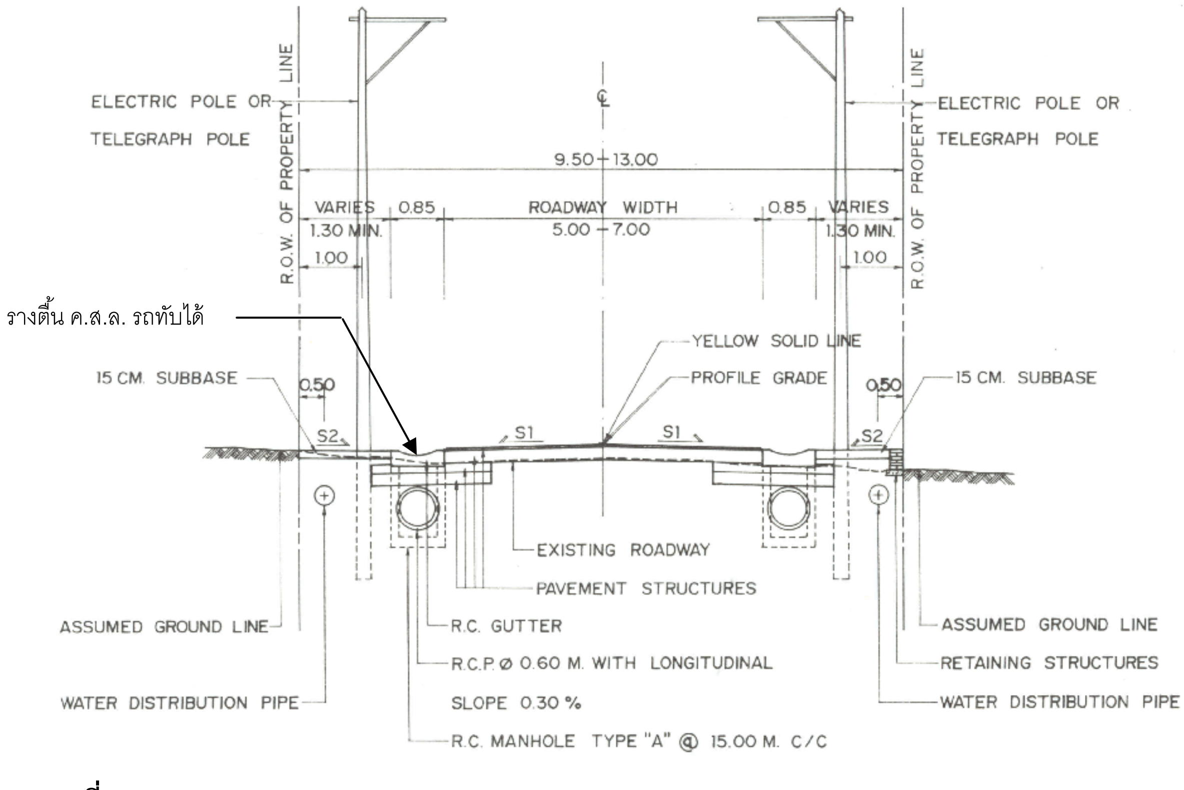

**รูปที่ 2.1-32 TYPICAL CROSS – SECTION FOR R.O.W. 10.00 M. MIN. , 15.00 M. MIN. - (ALTERNATIVE )**
**การระบายน้ำเป็นแบบไหลบนผิวดินปกติหรือเป็นแบบร่องน้ำข้างทาง (Open Side Ditch)**

3.2) ลักษณะที่เป็นหมู่บ้านที่หนาแน่น มีอาคารพาณิชย์บ้าง มีเขตทางไม่กว้าง จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบให้มีท่อระบายน้ำ หรืออาคารระบายน้ำข้างทางแบบปิด (Closed Type) ถ้ามีการเดินสัญจรมากก็จำเป็นต้องกำหนดให้มีทางเท้า รูปแบบของระบบระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับความกว้างของเขตทางและการใช้ประโยชน์ให้เป็นพื้นที่จอดรถได้ด้วย ปัญหาของสิ่งสาธารณูปโภคในเขตทางทั้งบนดินและใต้ดิน ตลอดจนงบประมาณก่อสร้าง



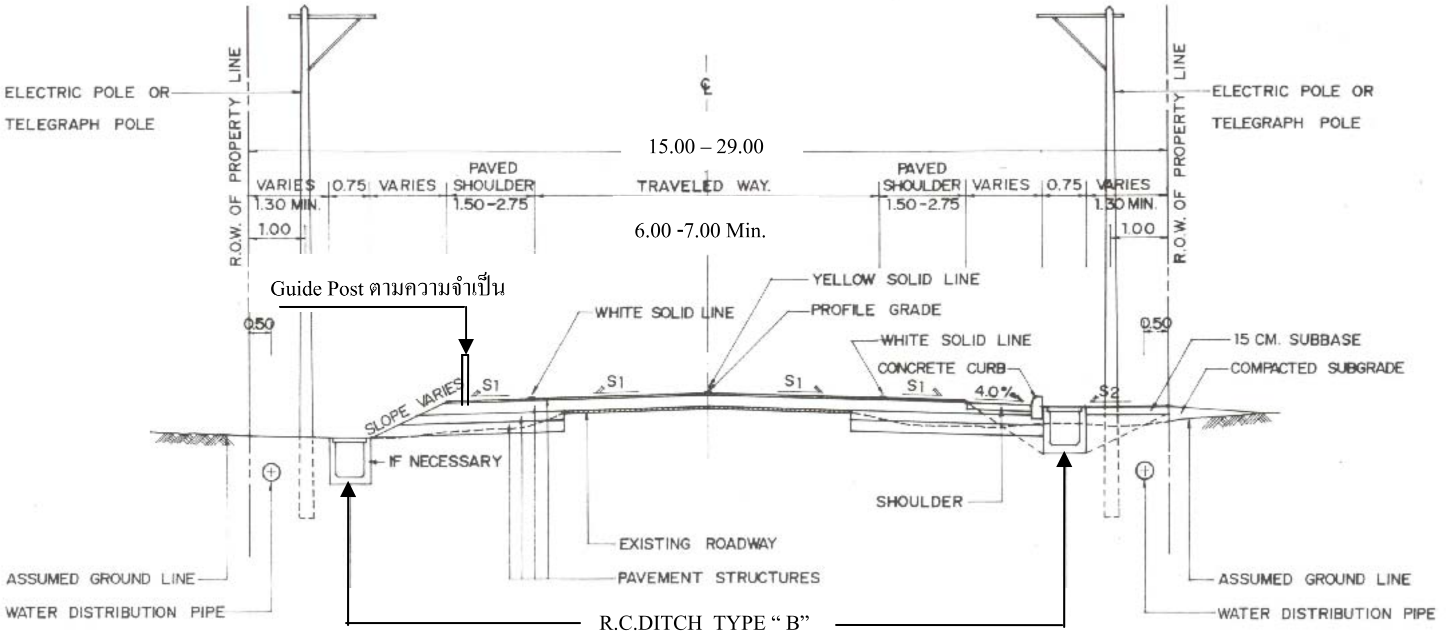

**รูปที่** 2.1-33 TYPICAL CROSS – SECTION FOR R.O.W. 9.50 M. MIN. (ALTERNATIVE I)

**อาคารระบายน้ำเป็นแบบราง ค.ส.ล. ตัวยูฝาปิดรถทับได้**




**รูปที่** 2.1-34 TYPICAL CROSS – SECTION FOR R.O.W. 9.50 M. MIN. (ALTERNATIVE II)

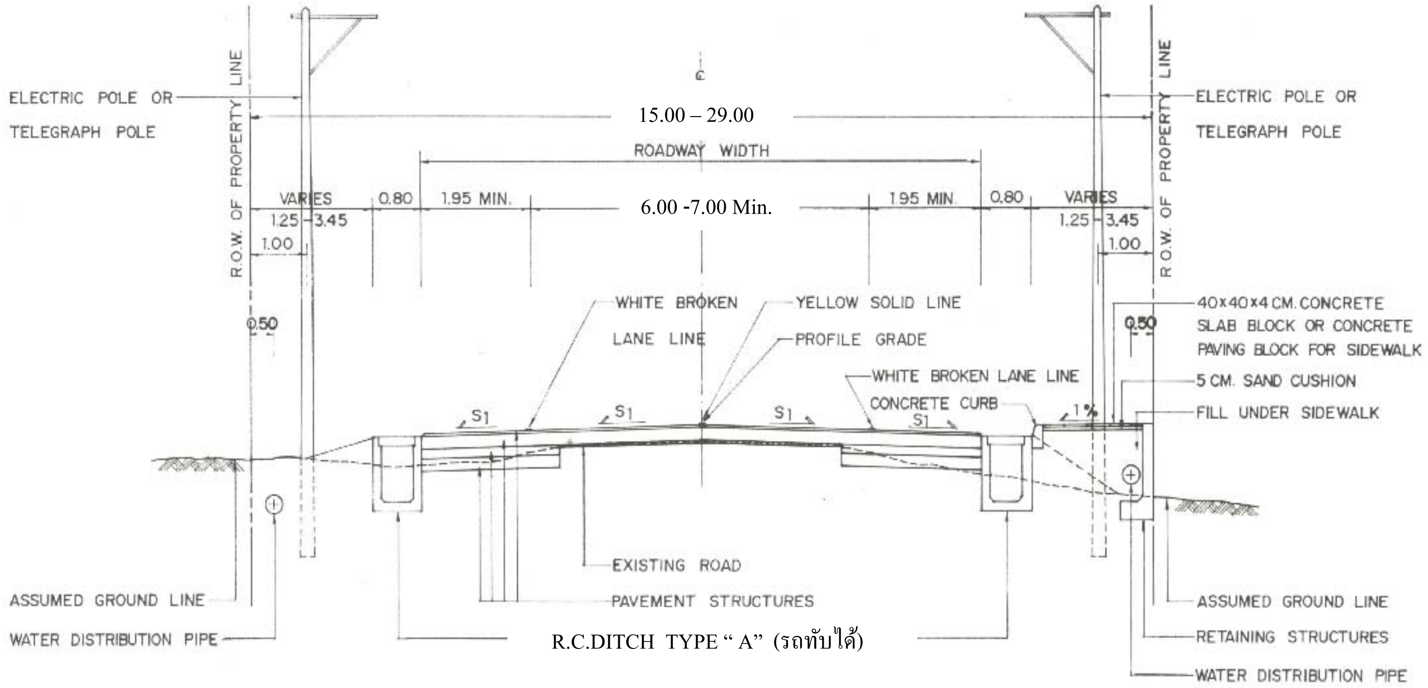
**อาคารระบายน้ำเป็นแบบรางตื้น ค.ส.ล. รถทับได้**




(เปลี่ยนเป็น R.C.DITCH TYPE " A" ตรงจุดที่เป็นทางเชื่อม)

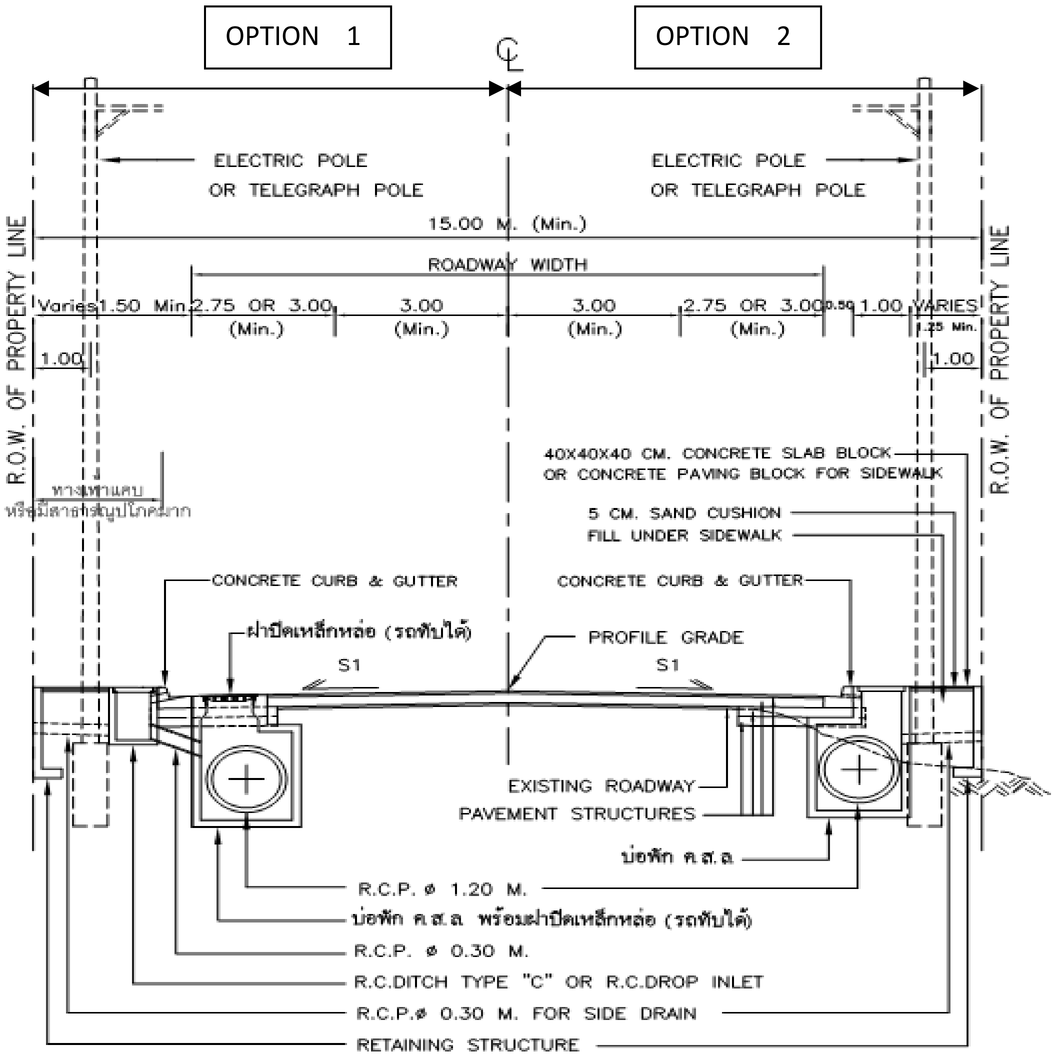
**รูปที่ 2.1-35 TYPICAL CROSS – SECTION FOR R.O.W. 15.00 M. MIN. (ALTERNATIVE I)**

**อาคารระบายน้ำเป็นแบบราง ค.ส.ล. ตัวยูฝาปิดรถทับไม่ได้**



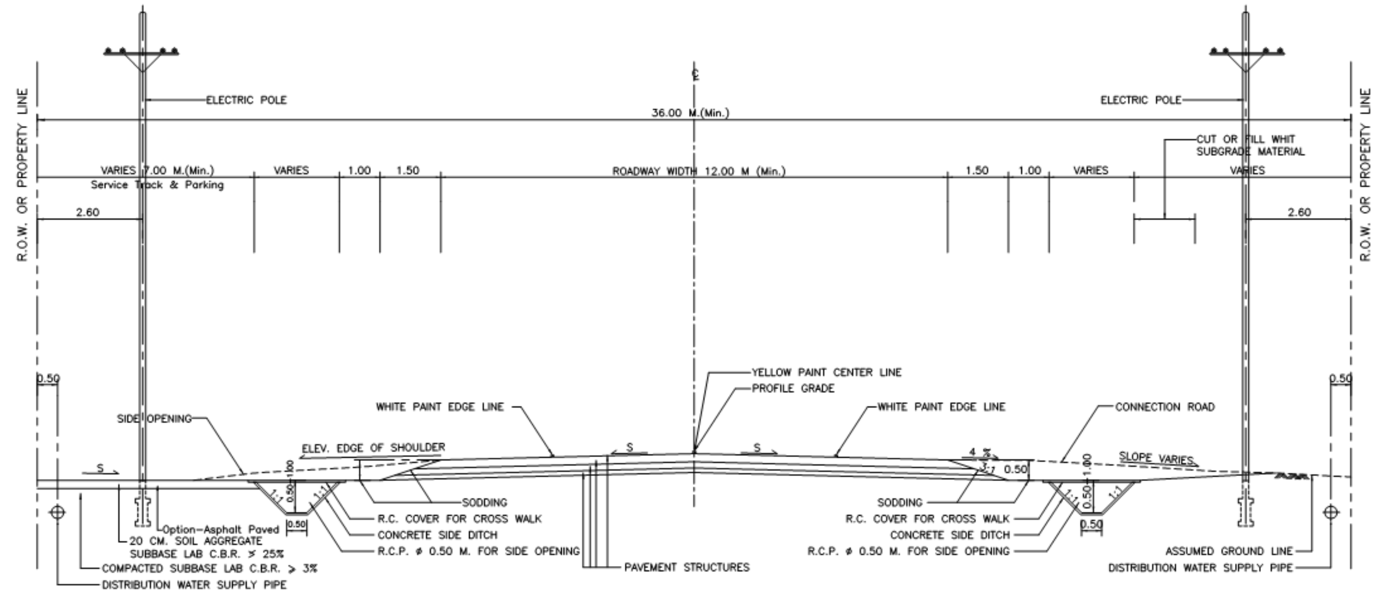

**รูปที่ 2.1-36 TYPICAL CROSS – SECTION FOR R.O.W. 15.00 M. MIN. (ALTERNATIVE II)**

**อาคารระบายน้ำเป็นแบบราง ค.ส.ล. ตัวยูฝาปิดรถทับได้พร้อมทางเท้า**



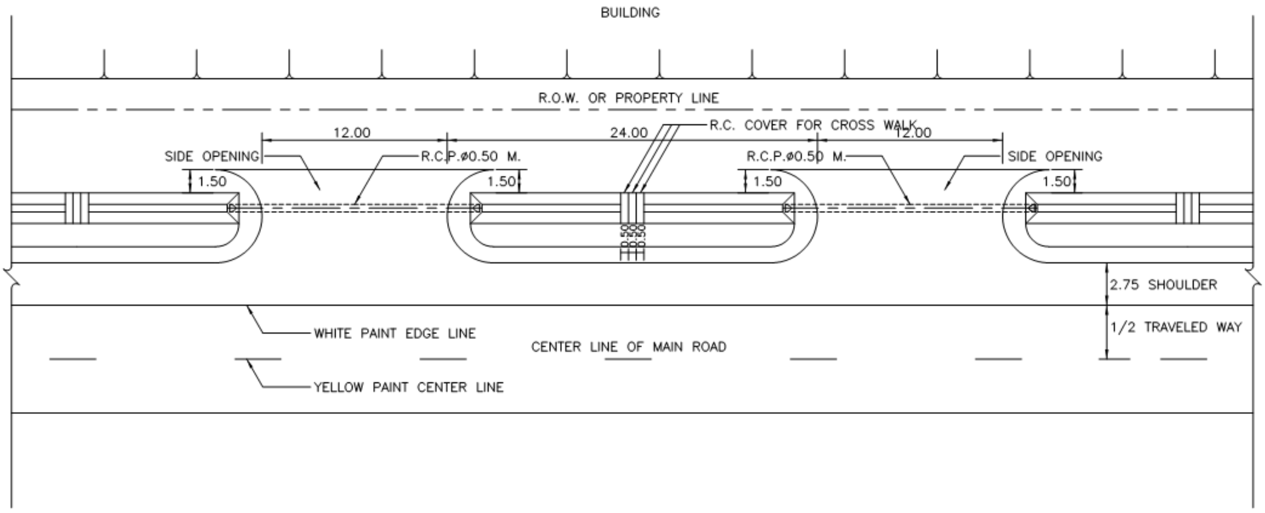

**รูปที่** 2.1-37 **TYPICAL CROSS – SECTION FOR R.O.W.** 15.00 **M. MIN. (ALTERNATIVE III)**
**อาคารระบายน้ำเป็นแบบท่อระบายน้ำ ค.ส.ล. แบบปิดพร้อมทางเท้า**

3.3) ลักษณะที่เป็นย่านชุมนุมชน ขนาดปานกลาง มีอาคารพาณิชย์บ้าง มีเขตทางกว้างได้มาตรฐาน อาจกำหนดรูปแบบการระบายน้ำและการปรับปรุงทางหลวง มีลักษณะเป็นขั้นตอน (Stage Construction) โดยอาจเริ่มจากรูปแบบขั้นต่ำสุด (Minimum Design) ตามความจำเป็นเพื่อป้องกันน้ำขังข้างทาง และไหลเข้าอาคารที่ประชิดด้านข้าง โดยเฉพาะเมื่อระดับอาคารมีระดับสูง และถมเต็ม ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมการเข้าออกทางหลวง ให้เกิดความปลอดภัยด้วย โดยเฉพาะเมื่อทางหลวงเป็นทางสายหลักมีปริมาณการจราจรมาก ความเร็วสูงและงบประมาณก่อสร้างไม่มีมาก



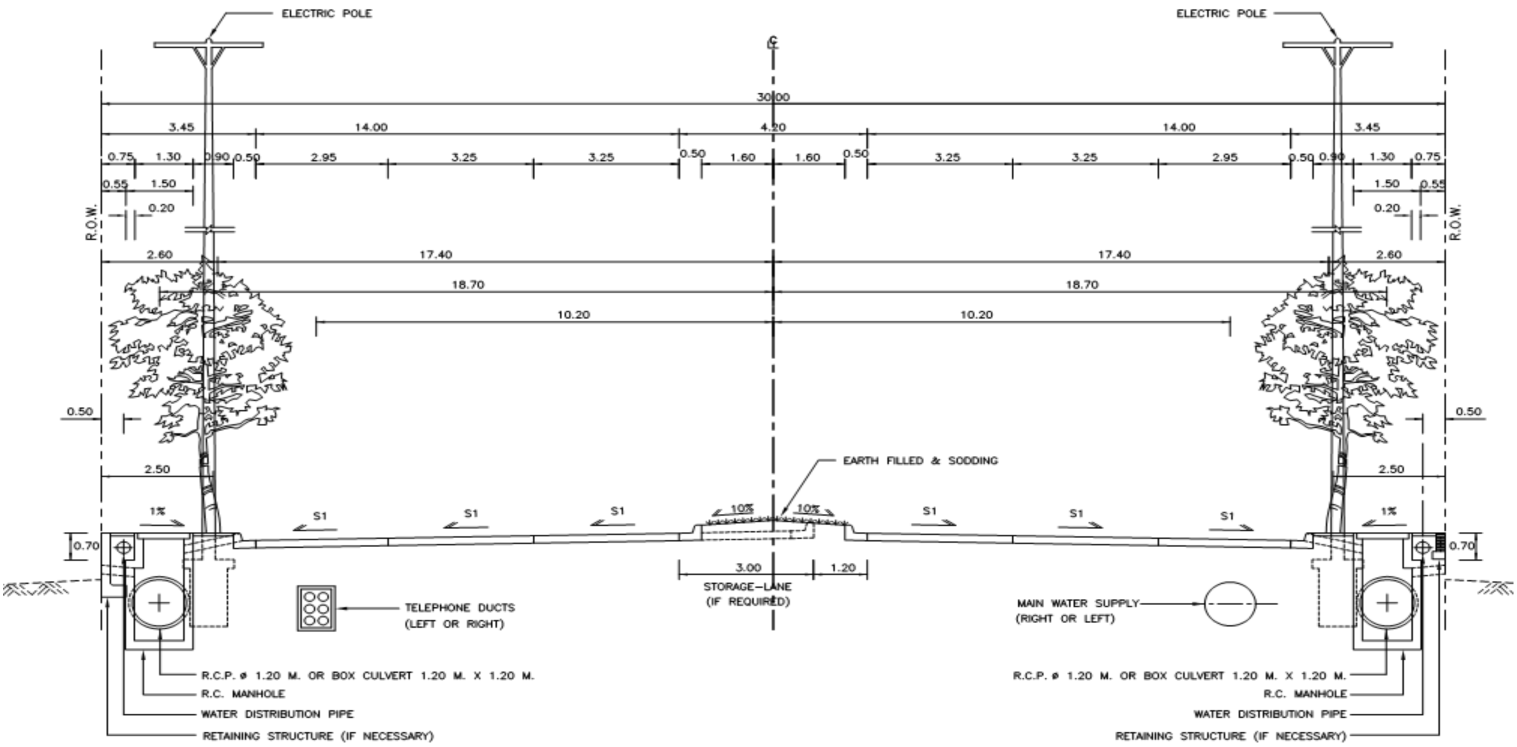

**รูปที่** 2.1-38 (ก) **TYPICAL CROSS SECTION (FIRST STAGE)**

**อาคารระบายน้ำเป็นแบบรางเปิดพร้อมพื้นที่หน้าอาคาร**

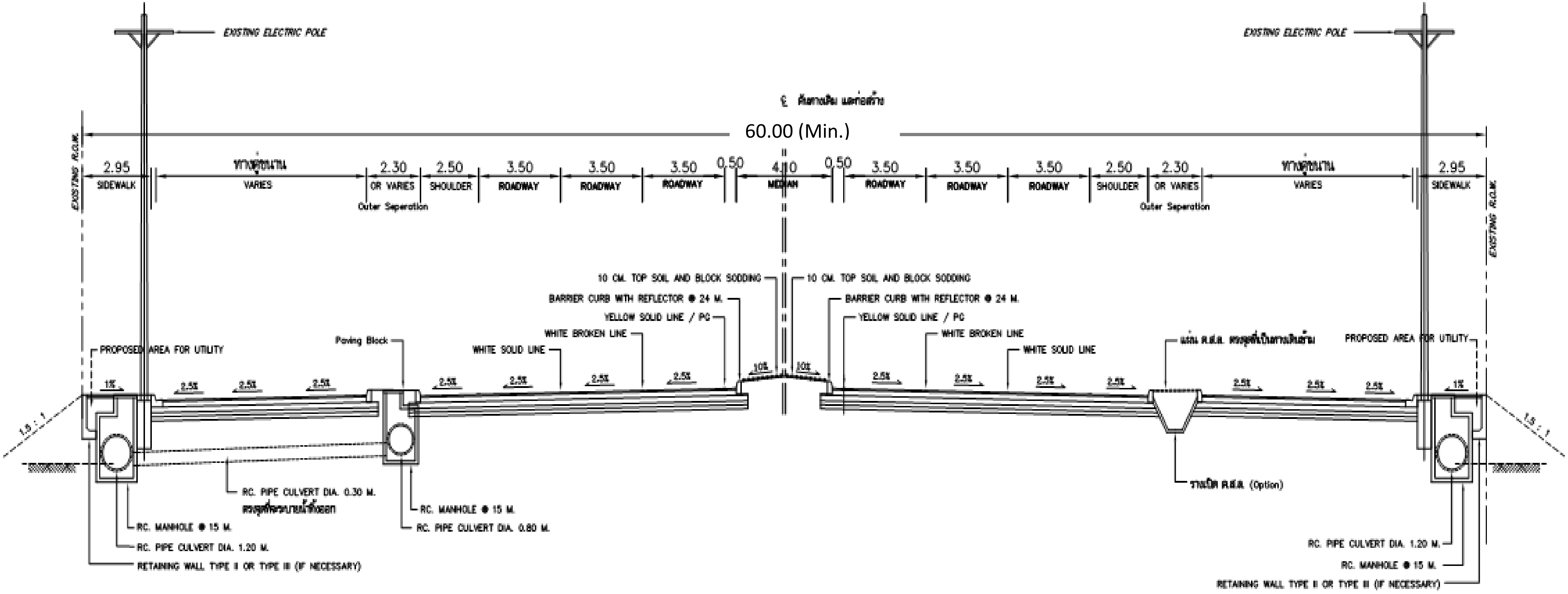



**รูปที่** 2.1-38 (ข) **PLAN OF SIDE OPENING**

3.4) ลักษณะที่เป็นย่านชุมนุมชน ขนาดใหญ่หนาแน่น มีเขตทางกว้างได้มาตรฐาน ควรกำหนดรูปแบบอาคารระบายน้ำเป็นแบบปิด (Closed Type) เช่น ท่อกลม ค.ส.ล. หรือท่อเหลี่ยม ค.ส.ล. พร้อมทางเท้าตามมาตรฐานในลักษณะ Ultimate Design ความกว้างขององค์ประกอบต่างๆจะขึ้นอยู่กับความกว้างของเขตทาง เขตทางที่กว้างตั้งแต่ 60.00 ม. ขึ้นไป ควรจัดให้มีทางคู่ขนาน เพื่อมิให้ช่องจราจรติดกันมากเกินไปและแยกรถท้องถิ่น (Local Traffic) กับรถผ่านตรงในช่องทางหลัก (Through Traffic) ด้วยเกาะแบบ Outer Seperation พร้อมระบบระบายน้ำข้างใต้ หรือเป็นแบบรางเปิดเพื่อประหยัดงบประมาณ ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับการให้บริการการจราจร (Level of Service) และความปลอดภัยของการจราจรบนทางสายหลัก ในลักษณะที่เป็นชุมนุมชนหนาแน่น โดยมากแล้วจะมีการระบายน้ำจากผู้อยู่อาศัยและพื้นที่สองข้างทางลงสู่ท่อระบายน้ำของทางหลวง ซึ่งบางครั้งจะเกินขีดความสามารถของท่อระบายน้ำของทางหลวงตามมาตรฐานที่ออกแบบจะรับได้ ควรจะต้องมีท่อระบายน้ำทิ้งจากผู้อยู่อาศัย และพื้นที่ประชิดด้านข้างทาง แยกโดยเฉพาะที่เรียกว่า ท่อ Sewage Drain เพื่อช่วยระบายน้ำ และแยกน้ำเสียที่ทิ้งจากข้างทางไม่รวมกับท่อระบายน้ำของทางหลวงที่เรียกว่า Storm Drain เช่นเดียวกันกับในต่างประเทศ โดยความร่วมมือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ เช่น เทศบาล สุขาภิบาล ฯลฯ ในเรื่องงบประมาณของการดำเนินการ เพราะมิใช่กิจกรรมของทางหลวง แต่ทางหลวงยินดีที่จะให้ใช้พื้นที่ในเขตทาง




**รูปที่ 2.1-39 ULTIMATE DESIGN สำหรับย่านชุมนุมชนหนาแน่น**




รูปที่ 2.1-40 ULTIMATE DESIGN สำหรับย่านชุมนุมชนหนาแน่น เขตทางกว้าง 60 ม.ขึ้นไป

### 2.1.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา และการใช้พื้นที่ (Land used)

**- ชนิดของชั้นดินชั้นหิน**

โดยปกติชั้นดินที่เกิดจากการผุกร่อนของหิน ให้เกิดเป็นดิน โดยหินแต่ละชนิดเวลาผุจะให้ชนิดและความหนาของดินที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากชั้นหินแต่ละชนิดมีอัตราการผุพังไม่เท่ากัน เช่น หินแกรนิต จะมีอัตราการผุพังสูง แร่องค์ประกอบเมื่อผุพังแล้วจะให้ชั้นดินทรายร่วนหรือดินทรายปนดินเหนียว และให้ชั้นดินหนา

หินดินดาน – หินโคลน เมื่อผุพังจะให้ชั้นดินเป็นดินเหนียวปนทราย และมีความหนาน้อยกว่าหินแกรนิต

จากปัจจัยดังกล่าวพบว่า ดินที่ผุพังมาจากหินต่างชนิดกันจะให้ดินต่างชนิดกัน และความหนาต่างกัน คุณสมบัติของดินในการยึดเกาะระหว่างเม็ดดินและค่าแรงต้านทานการไหลของดินก็จะแตกต่างกันตามชนิดของดินนั้นๆด้วย

**- ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาและ ทิศทางการวางตัวของชั้นหิน**

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น รอยเลื่อน รอยแตก และทิศทางการวางตัวของชั้นหิน จะมีผลต่อการผุพังโดยเฉพาะหินที่มีรอยแตกมาก หินที่อยู่ในเขตรอยเลื่อนโดยเฉพาะรอยเลื่อนมีพลังจะมีการผุพังสูง เนื่องจากมวลหินที่รอยแตกนั้นจะมีช่องว่างให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปทำ ปฏิกิริยาทางเคมีให้หินผุพังได้ง่าย เมื่อมีมวลน้ำที่มีปริมาณมากไหลผ่านและกัดเซาะ อาจทำให้ระบบระบายน้ำที่สร้างไว้บนพื้นที่ดังกล่าวเกิดความเสียหายได้หรืออาจเกิดดินหรือหินถล่มลงมาขวางกั้น ทำให้ระบบระบายน้ำไม่สามารถระบายน้ำได้เต็มที่อันก่อให้เกิดปัญหาอุทกภัยได้

**- ลักษณะพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม**

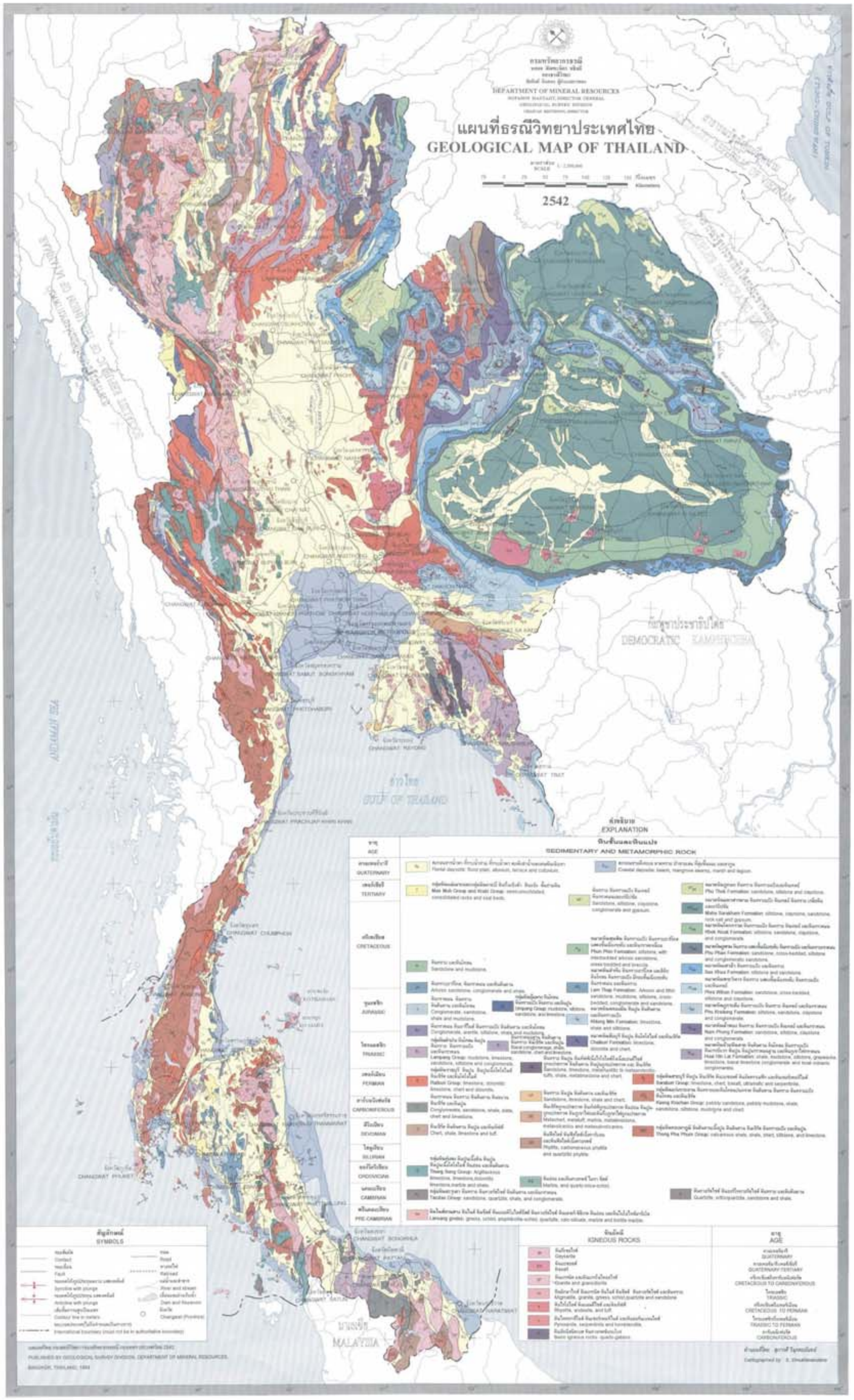
ดินถล่ม คือ ดินถล่มหรือโคลนถล่ม คือ การเคลื่อนที่ของมวลดินและหินลงมาตามลาดเขาด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงโลก และจะมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในการ ทำให้มวลดินและหินเคลื่อนตัวด้วยเสมอ ดินถล่มมักเกิดตามมาหลังจากน้ำป่าไหลหลาก ในขณะที่เกิดพายุฝนตกหนักรุนแรงต่อเนื่องหรือหลังการเกิดแผ่นดินไหว

**ปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่ม**

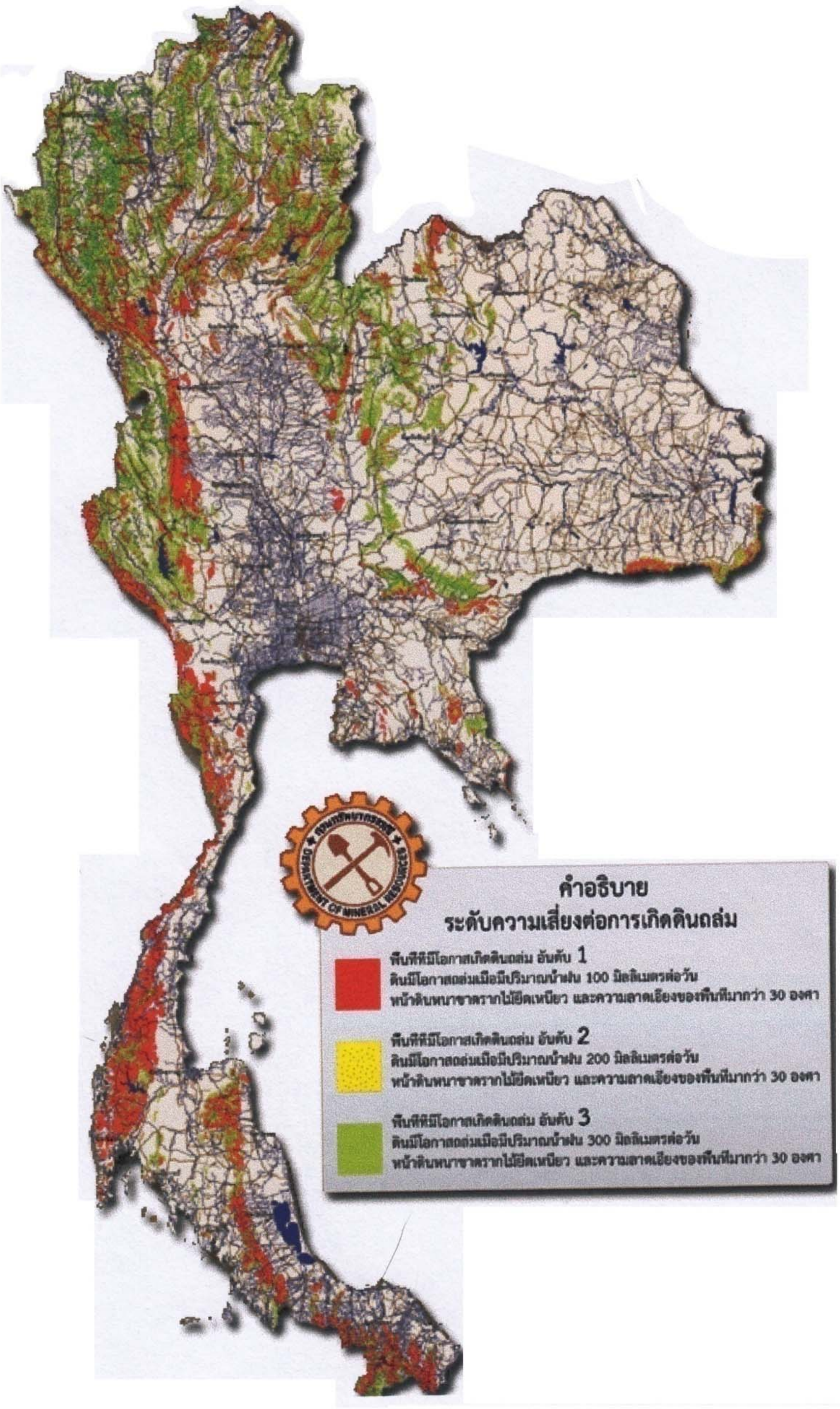
- พื้นที่เป็นหินแข็งเนื้อแน่นแต่ผุง่าย
- มีชั้นดินสะสมตัวหนาบนภูเขา
- ภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงชัน ที่ลาดเชิงเขา หุบเขาและหน้าผา
- ป่าไม้ถูกทำลาย
- มีฝนตกหนักต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน (มากกว่า 100 มิลลิเมตรต่อวัน)
- ภัยธรรมชาติอื่นๆ เช่น พายุ แผ่นดินไหว และไฟป่า

ลักษณะของพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม มักเป็นพื้นที่ที่อยู่ตามลาดเชิงเขา หรือบริเวณที่ลุ่มที่ติดอยู่กับภูเขาสูงที่มีการพังทลายของดินสูง พื้นที่ต้นน้ำที่มีการทำลายป่าไม้สูง นอกจากนั้นในบางพื้นที่อาจเป็นบริเวณภูเขาหรือหน้าผาที่เป็นหินผุพังง่าย ซึ่งมักก่อให้เกิดเป็นชั้นดินหนา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่หินรองรับชั้นดินนั้นมีความเอียงเทสูง และเป็นชั้นหินที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้สะดวก ลักษณะดังกล่าวทั้งหมดพบได้ทั่วไปในประเทศไทย ซึ่งขณะนี้กรมทรัพยากรธรณีกำลังทำการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล สำรวจเก็บข้อมูลทางธรณีวิทยาและสภาพแวดล้อมของพื้นที่เบื้องต้น และรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลอื่น พบว่าใน 51 จังหวัดทั่วประเทศ ซึ่งมีลักษณะพื้นที่เสี่ยงภัยต่อดินถล่ม อยู่บริเวณลาดเชิงเขาและที่ลุ่มใกล้เขา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่บ้านที่ตั้งอยู่ในบริเวณดังกล่าวมีความเสี่ยงภัยต่อดินถล่มมาก เนื่องจากเมื่อมีพายุฝนตกหนักต่อเนื่องจะทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลาก และดินถล่มตามมาได้ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ของประชาชน ดังนั้นประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ดังกล่าวจึงควรให้ความสนใจและระมัดระวังเป็นพิเศษ

แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มจะแสดงถึงพื้นที่ที่แสดงปัญหาเสถียรรูปของดิน หิน รอยเลื่อน ซึ่งมีผลกระทบต่อการสร้างถนนและความปลอดภัยในการใช้ถนน ดินถล่ม สำหรับงานออกแบบจึงควรพิจารณาพื้นที่ที่มีภาวะเสี่ยงภัยดินถล่ม และออกแบบป้องกันดินถล่มในพื้นที่ดังกล่าว




**รูปที่ 2.1-41** แสดงแผนที่ทางธรณีวิทยา



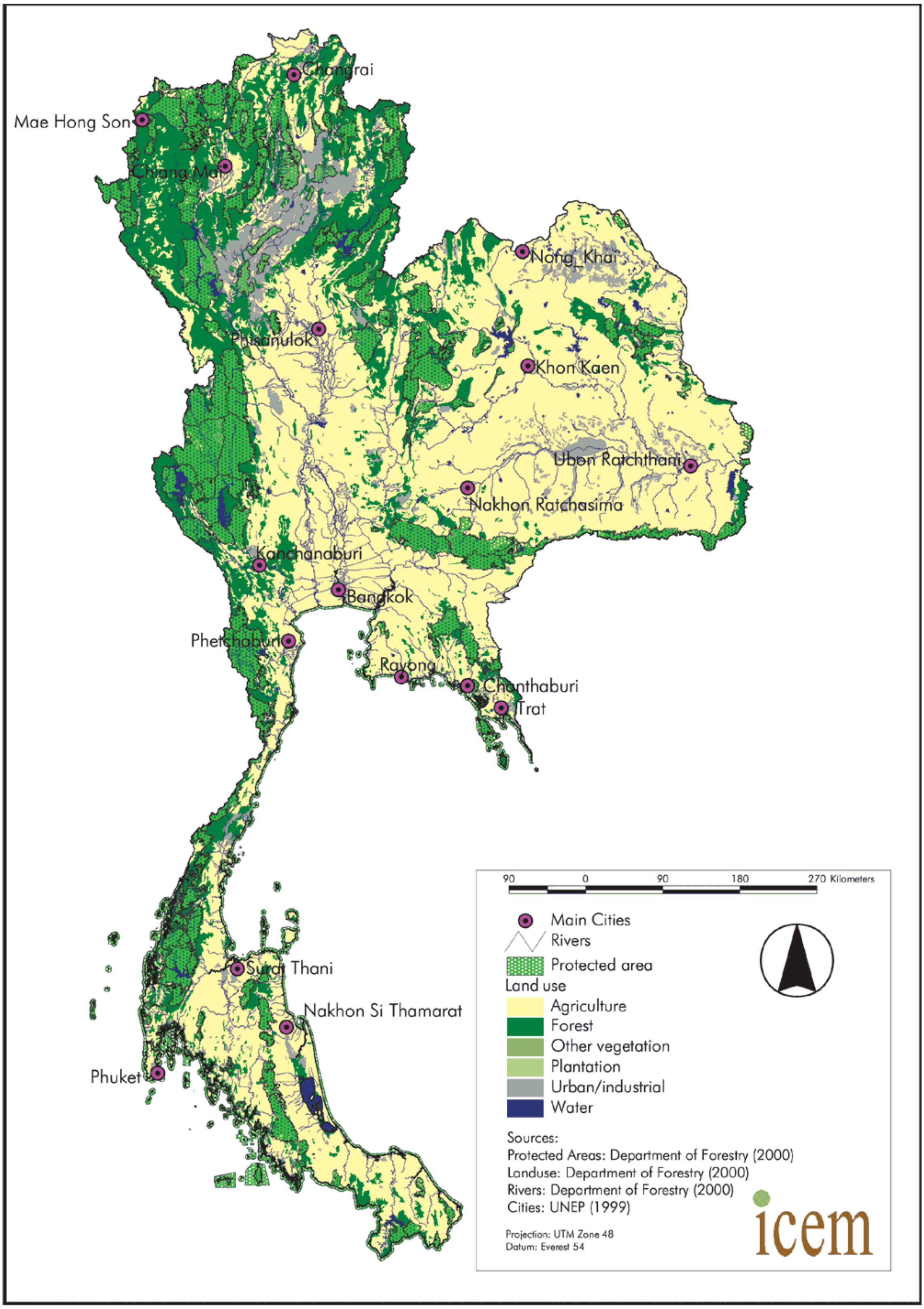

**รูปที่ 2.1-42** แสดงแผนที่ความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม

**การใช้พื้นที่ (Land used)**

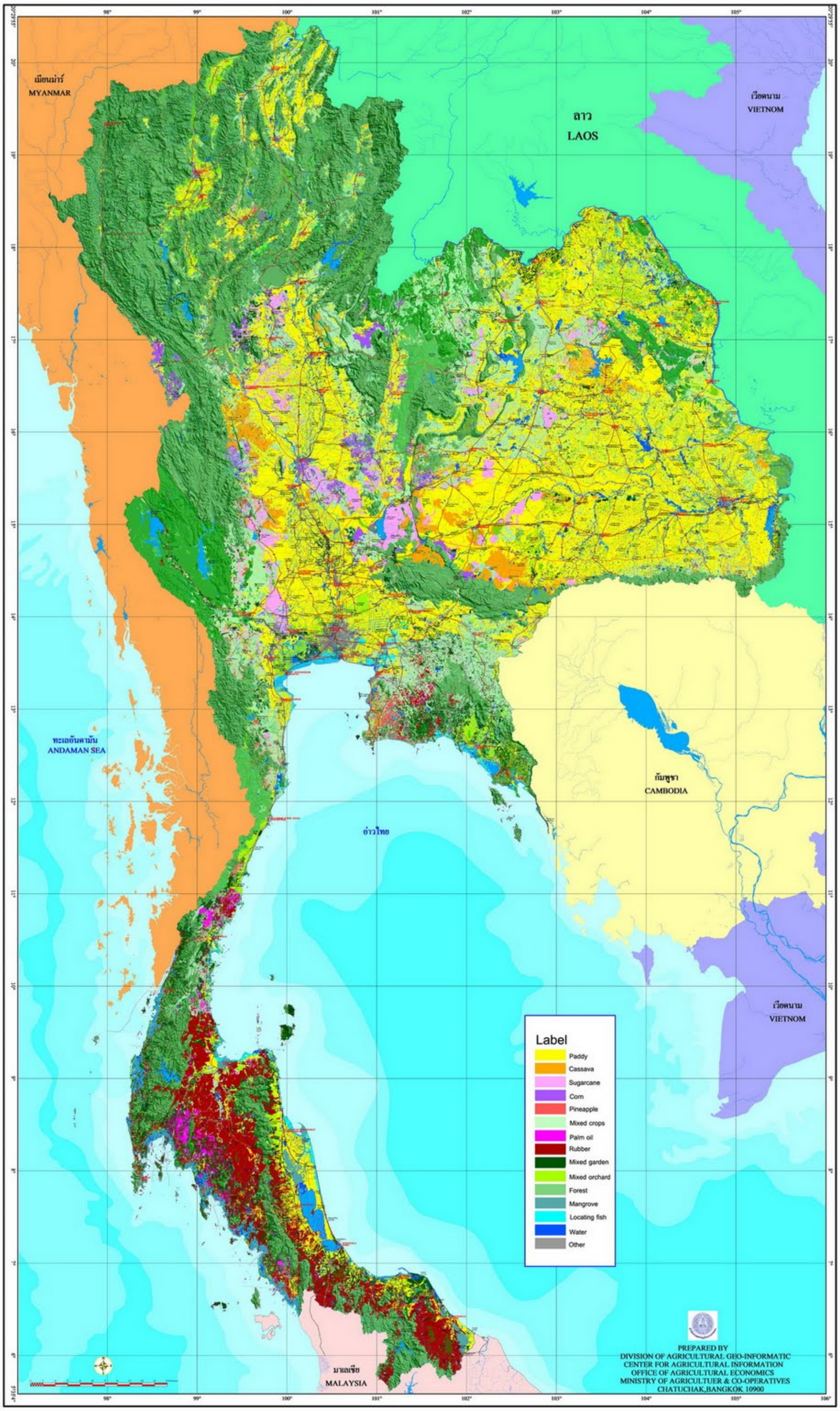
- การสร้างแหล่งชุมชน แหล่งอุตสาหกรรม ฯลฯ ที่ขวางทางน้ำไหลหรือพื้นที่ระบายน้ำตามธรรมชาติ แล้วไม่สร้างอาคารระบายน้ำ เช่น ท่อระบายน้ำ คูหรือคลองระบายน้ำ ที่เหมาะสมเพียงพอกับการระบายน้ำ ดังนั้นในการออกแบบระบบระบายน้ำจึงจำเป็นต้องออกแบบเพื่อทดแทนส่วนที่สูญเสียไปให้เหมาะสมทั้งตำแหน่งที่ตั้ง จำนวนและขนาด
- การตัดไม้ทำลายป่า การตัดไม้ทำลายป่าทำให้ปราศจากพืช ต้นไม้ปกคลุมดิน ที่จะช่วยดูดซับน้ำฝนเอาไว้และช่วยปกคลุมยึดผิวดิน ถ้าปริมาณฝนในพื้นที่รับน้ำมีมาก จนทำให้ปริมาณน้ำผิวดินที่ระบายออกจากพื้นที่มีมาก ด้วยอัตราการไหลที่รุนแรง น้ำก็จะพัดเอาเศษต้นไม้ กิ่งไม้ ตะกอนดิน ทราย และหินลงมาขวางระบบระบายน้ำและมีการกัดเซาะอันก่อให้เกิดความเสียหายแก่ระบบระบายน้ำ ในการออกแบบจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการกัดเซาะของน้ำบริเวณระบบระบายน้ำด้วย

**แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน**

รูปแบบของการใช้ประโยชน์ของพื้นที่จะขึ้นกับสภาพภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน สภาพดิน ความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่และเศรษฐกิจชุมชน แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจะมีประโยชน์สำหรับการวางแผนคัดเลือกเส้นทางที่เหมาะสม สายทางที่มีผลกระทบต่อชุมชนหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังนั้นการออกแบบระบบระบายน้ำต้องพิจารณาข้อมูลสรูปแวดล้อมของพื้นที่จริง เพื่อปรับปรุงรูปแบบการระบายน้ำที่เหมาะสมกับสรูปพื้นที่




**รูปที่ 2.1-43** แสดงแผนที่การใช้พื้นที่




**รูปที่ 2.1-44** แสดงแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

## 2.2 ระบบระบายน้ำผิวดิน

### 2.2.1 ระบบระบายน้ำตามยาว (Longitudinal Drainage)

ในสภาพปัจจุบันจะพบว่า เมื่อฝนตกจะมีปริมาณน้ำฝนที่ไม่สามารถระบายได้ทันทำให้เกิดน้ำท่วมขังบริเวณถนน สร้างความเดือดร้อนให้แก่ประชาชน ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการไม่มีทางระบายน้ำ แต่การจัดให้มีทางระบายน้ำมักไม่ได้รับความสำคัญในการดำเนินการตั้งแต่ต้น คือไม่มีการกำหนดผังการระบายน้ำ หรือไม่ได้วางแผนก่อสร้างทางระบายน้ำควบคู่กับการก่อสร้างถนน ปัญหาเหล่านี้ทำให้ต้องสูญเสียงบประมาณในการซ่อมบำรุงถนนหรือต้องรื้อถนนเพื่อวางทางระบายน้ำขึ้นใหม่ ดังนั้นเพื่อให้มีทางระบายน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรทราบถึงลักษณะทั่วไปของทางระบายน้ำ ดังต่อไปนี้

#### 2.2.1.1 ข้อกำหนดสำหรับระบบระบายน้ำตามยาว

**1) ประเภทของน้ำที่เข้าสู่ระบบระบายน้ำตามยาว**

- **ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่** เมื่อฝนตกปริมาณน้ำฝนที่ไหลเข้าสู่ทางระบายน้ำจะไม่เท่ากับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาทั้งหมด ดังนั้น การคำนวณปริมาณน้ำฝนที่เข้าสู่ทางระบายน้ำ จึงกำหนดเป็นอัตราน้ำฝนที่ไหลนอง ได้แก่ อัตราน้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นดินและไหลนองไปตามพื้นที่ระหว่างที่ฝนกำลังตกและหยุดตก โดยหักส่วนที่ไหลซึมลงพื้นดินหรือไหลเข้าแหล่งพักน้ำต่าง ๆ
- **ปริมาณน้ำทิ้งในพื้นที่** ปริมาณน้ำทิ้ง ได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากการอุปโภคบริโภคของประชาชน จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำประปาที่ใช้ในแต่ละวัน ค่าเฉลี่ยประจำวันของปริมาณน้ำเสียดังกล่าวเรียกว่า Dry Weather Flow (DWF) โดยปกติปริมาณน้ำทิ้ง อยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 60-90 ของน้ำใช้ จึงกำหนดค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำทิ้ง (DWF) อยู่ที่ร้อยละ 80 ของน้ำใช้

**2) ลักษณะของการระบายน้ำ**

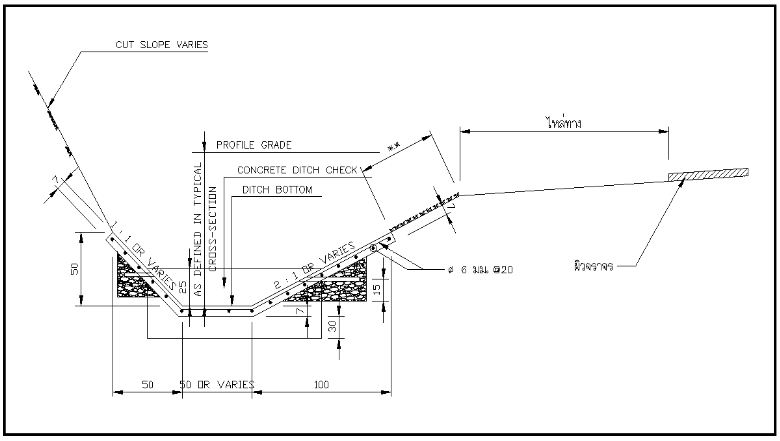
- **การระบายน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง** คือ การไหลของน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำหรือตามความลาดเทของสภาพภูมิประเทศ ซึ่งเป็นลักษณะของการไหลด้วยแรงโน้มถ่วง การระบายน้ำลักษณะนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศลาดชันหรือจุดระบายน้ำ สามารถระบายน้ำได้เองโดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือช่วยในการระบายน้ำ
- **การระบายน้ำด้วยการสูบน้ำ** พื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่แบนราบหรือพื้นที่ลุ่มเป็นแอ่งกระทะ การระบายน้ำด้วยระบบแรงโน้มถ่วงทั้งระบบทำได้ยาก จึงกำหนดให้มีทางระบายน้ำย่อย ระบายน้ำไปจุดรวมน้ำ ซึ่งจะออกแบบเป็นประตูระบายน้ำควบคู่กับสถานีสูบน้ำใน 2 ลักษณะ คือ

ในกรณีที่ระดับน้ำนอกพื้นที่มีระดับต่ำกว่าระดับน้ำในพื้นที่ จะระบายน้ำออกโดยการเปิดประตูระบายน้ำ

ในกรณีที่ระดับน้ำนอกพื้นที่มีระดับสูงกว่าระดับน้ำภายในพื้นที่จะใช้เครื่องสูบน้ำช่วยในการระบายน้ำ

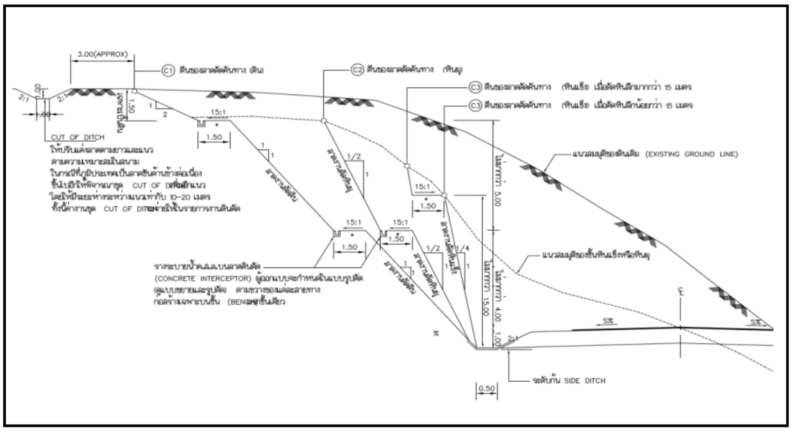
**3) รูปแบบของการระบายน้ำ**

(1) งานระบายน้ำในร่องน้ำเปิดข้างทาง (Side Ditch) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-1 ในกรณีที่เป็นงานตัดหรือคันทางต่ำสำหรับถนนนอกเมืองส่วนใหญ่ จะต้องทำการขุดร่องน้ำเปิดข้างทางเพื่อรับน้ำจากผิวจราจรที่ไหลลงข้างทาง เพื่อกักน้ำจากพื้นที่ประชิดข้างทางที่สูงกว่าถนนและเพื่อป้องกันให้น้ำเอ่อขังอยู่ข้างทางในระดับสูงจนจะทำอันตรายให้กับตัวคันทางและชั้นทางในกรณีที่มีการกัดเซาะเกิดขึ้นในร่องน้ำหรือในกรณีที่ต้องการรักษาสภาพของร่องน้ำให้ใช้งานได้ดีก็จะต้องทำการดาดผิวด้วยคอนกรีต (Lining), หินเรียงยาแนว, หินเรียงยาแนว, พ่นยางแอสฟัลท์ทับหรือฉาบทับหน้าด้วยดินเหนียว และปลูกหญ้า



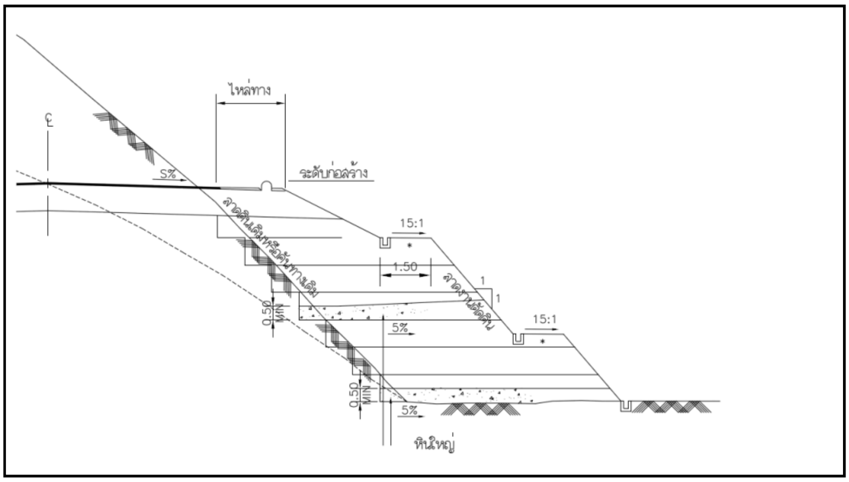

**รูปที่ 2.2-1** งานระบายน้ำในร่องน้ำเปิดข้างทาง (Side Ditch)

(2) งานระบายน้ำในช่วงงานตัดลึก (Deep Cut) ในช่วงทางเข้าที่มีการตัดลึกดังแสดงในรูปที่ 2.2-2 จะต้องมีการระบายน้ำบนยอดของงานตัดและบนลาดของงานตัดด้วยการขุดร่องน้ำเพื่อดักน้ำที่จะไหลลงมาตามลาดตัดเพื่อลดความเร็วและลดปริมาณของน้ำ




**รูปที่ 2.2-2** งานระบายน้ำช่วงงานตัดลึก (Deep Cut)

(3) งานระบายน้ำในช่วงถมสูง (High Fill) ในช่วงที่มีการถมดินคันทางสูงดังแสดงในรูปที่ 2.2-3 น้ำจากผิวจราจรจะก่อปัญหาการกัดเซาะบนลาดถมจึงต้องลดความเร็วของน้ำและปริมาณที่จะไหลลงข้างทางด้วยการก่อสร้างร่องน้ำบนไหล่ทางหรือยกขอบสูงขึ้นเพื่อดักน้ำจากผิวจราจรและก่อสร้างรางระบายน้ำบนชั้น (Bench) ของงานถมและที่ตีนลาดถม




**รูปที่ 2.2-3** งานระบายน้ำในช่วงถมสูง (High Fill)

**4) ปัจจัยสำคัญในการออกแบบระบบระบายน้ำตามยาว**

ในการออกแบบระบบระบายน้ำตามยาว จะต้องพิจารณาปัจจัยสำคัญดังนี้

(1) จุดออก (Outlet) หมายถึง จุดที่ต้องการระบายน้ำออกไปจากพื้นที่ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นแม่น้ำ ลำคลอง หรือบริเวณลุ่มต่ำ และอาจจะเป็นจุดที่ระบายน้ำต่อเนื่องไปยังระบบระบายน้ำของพื้นที่ข้างเคียง จุดออกที่เป็นแม่น้ำ ลำคลอง จะต้องทำการศึกษาระดับน้ำสูงสุดว่ามีผลต่อการระบายน้ำออกอย่างไร ดังนั้นการกำหนดจุดออก จะต้องศึกษาข้อมูลอย่างละเอียด ครบถ้วน หรือปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้การออกแบบก่อสร้างเป็นไปอย่างถูกต้องไม่เกิดปัญหาน้ำท่วมขังในภายหลัง

(2) ความต้องการระบายน้ำ หรือประมาณที่จะต้องระบายออกจาพื้นที่ระบายน้ำทั้งปริมาณและอัตราการระบายน้ำ ทั้งนี้หากพื้นที่ระบายจะมีการพัฒนาในอนาคต ก็ควรคำนึงถึงการสร้างทางระบายน้ำในขั้นตอนการออกแบบถนนไว้ด้วย เพราะการดำเนินการไปพร้อมกับการก่อสร้างถนนจะเป็นการประหยัดงบประมาณการก่อสร้าง และป้องกันปัญหาความเดือดร้อนจากปัญหาน้ำท่วมขังในอนาคตขึ้นได้ แต่หากบริเวณพื้นที่ถนนโดยรอบเป็นทุ่งนาหรือพื้นที่การเกษตร ซึ่งยังไม่จำเป็นต้องสร้างทางระบายน้ำในขณะนั้น ก็ควรจัดทำเป็นแผนเพื่อการพัฒนาในอนาคตไว้ล่วงหน้า

(3) สภาพลักษณะ รูปร่าง และความลาดชันของพื้นที่ ตลอดจนความลาดชันของแนวถนนที่จะก่อสร้างทางระบายน้ำ ทางระบายน้ำที่มีความลาดชันมาก จะทำให้ทางระบายน้ำมีความลึกมากขึ้นตามไปด้วย กรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยการกำหนดให้มีบ่อสูบเป็นระยะๆ เพื่อเป็นการยกระดับน้ำให้สูงขึ้น แล้วปล่อยให้ไหลไปตามทางระบายน้ำแทนการขุดให้ลึกได้

(4) สถานที่และขีดความสามารถของทางระบายน้ำที่มีอยู่ในปัจจุบันและรวมถึงสภาพปัญหาอุปสรรคที่เกิดขึ้น

(5) ทางระบายน้ำของพื้นที่อื่นที่อยู่ข้างเคียง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดออก ปริมาณและอัตราการระบายน้ำที่จุดออก ตลอดจนจุดรับน้ำที่ระบายออกจากพื้นที่

**2.2.1.2 หลักการออกแบบระบบระบายน้ำตามยาว**

ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ในการออกแบบทางระบายน้ำ ทั้งแบบท่อปิดหรือแบบรางเปิด ประกอบด้วยหลักการออกแบบทางระบายน้ำ ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ออกแบบ ด้านอุทกวิทยาด้านชลศาสตร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

**1) ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์การออกแบบด้านอุทกวิทยา**

ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ในการออกแบบด้านอุทกวิทยา จะเกี่ยวข้องกับการคำนวณอัตราการระบายน้ำหรืออัตราน้ำไหลนองสูงสุดที่เกิดจากฝนออกแบบได้ดังนี้

(1) อัตราการไหลนองสูงสุดคำนวนจากปริมาณฝนออกแบบที่ตกในบริเวณพื้นที่ที่จะระบายน้ำ กำหนดปริมาณฝนออกแบบในรอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี

(2) กรณีปริมาณน้ำนองหรืออัตราน้ำไหลนองสูงสุดที่เกิดขึ้นเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะต้องยอมให้เกิดน้ำท่วมขังเพียงชั่วคราวและเร่งระบายน้ำออกไปโดยเร็ว

(3) ปริมาณฝนออกแบบขึ้นอยู่กับรอบปีการเกิดและระยะเวลาที่ฝนตกโดยคำนวณได้จากกราฟความสัมพันธ์ของความเข้ม-ระยะเวลาที่ตก-และความถี่ของฝน (IDF curve) ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่หรือภูมิภาคของประเทศโดยข้อมูลดังกล่าว ดังแสดงในภาคผนวก

(4) ปริมาณน้ำนองทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำ คือ ปริมาณน้ำจากพื้นที่รับน้ำจากผิวจราจร และน้ำจากพื้นที่ประชิดข้างทาง (Runoff) ที่ระยะทางประมาณ 40 เมตร

**- วิธีการคำนวณอัตราน้ำไหลนองสูงสุด (Design Discharge)**

สำหรับระบบระบายน้ำตามยาวซึ่งปกติมีพื้นที่รับน้ำฝนหรือพื้นที่ที่จะระบายน้ำมีขนาดเล็กไม่เกินกว่า 25 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดจึงใช้สูตร Rational Formula ดังรายละเอียดใน หัวข้อ 2.1.1.4

**- เวลาน้ำไหลนอง**

เวลาน้ำไหลนองหรือเวลาของการรวมจุด (Time of Concentration, Tc) หมายถึงเวลาที่น้ำจากทุกส่วนในพื้นที่ระบายน้ำไหลมาถึงจุดทางออก ( Outlet ) ประกอบด้วยเวลาทางเข้า ( Inlet time, $t_0$ ) รวมกับเวลาที่น้ำเดินทางในท่อจากจุดทางเข้าถึงจุดทางออกที่พิจารณา

หาได้จากสูตร ดังนี้

$$t_c = t_o + t_t$$

โดยที่ $t_c$ = เวลาน้ำท่าสูงสุด (นาที)

$t_o$ = Inlet Time หรือระยะเวลาที่น้ำไหลจากจุดที่ไกลที่สุดในพื้นที่ระบายน้ำย่อยถึงท่อรับน้ำ (นาที)

$t_t$ = ระยะเวลาที่น้ำไหลในท่อ/คลองระบายน้ำที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำของจุดที่พิจารณา (นาที)

ระยะเวลาที่น้ำไหลในท่อ/คลองระบายน้ำสามารถหาได้จากข้อมูลที่ได้เคยมีการตรวจวัดไว้ของพื้นที่ระบายน้ำที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันหรือโดยการคำนวณดังนี้

$$t_t = L / (60\ V)$$

โดยที่ L = ความยาวท่อหรือคลองระบาย (เมตร)

V = ความเร็วออกแบบของน้ำในท่อหรือคลองระบาย (เมตร/ วินาที)

- สรุปขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลนองสูงสุดที่ออกแบบ (Design Discharge)

(1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลลักษณะพื้นที่ระบายและลักษณะฝน

(2) กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ

(3) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง

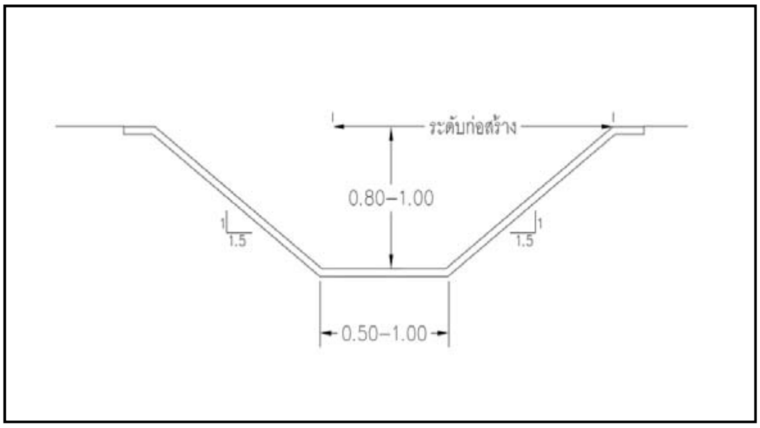
(4) คำนวณหรืออ่านค่าความเข้มฝนจาก ความสัมพันธ์ความเข้ม-ระยะเวลาฝนตก-ความถี่ปริมาณฝน (IDF curve)

(5) คำนวณอัตราการไหลนองสูงสุดด้วยการใช้สูตร Rational Formula

### 2.2.1.3 ระบบระบายน้ำตามยาวในย่านชุมชน

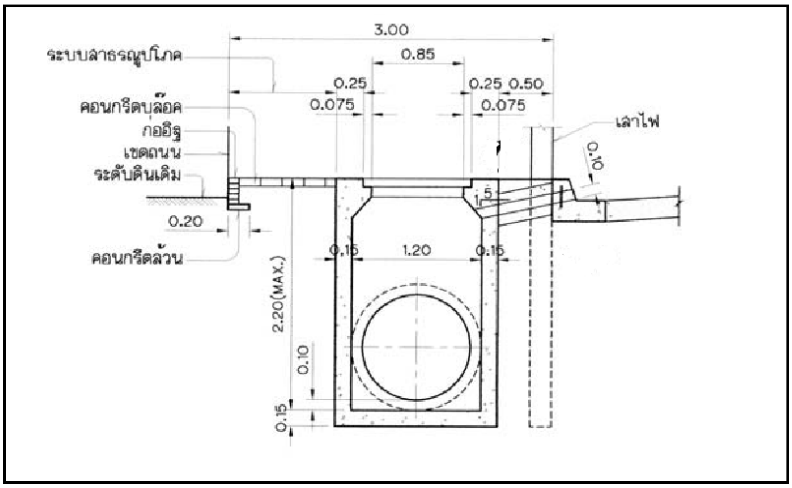
การออกแบบระบบระบายน้ำตามยาวในย่านชุมชน จะขึ้นอยู่กับลักษณะของชุมชน ลักษณะภูมิประเทศ ความกว้างของเขตทางและลักษณะของทางหลวงโดยทั่วไป อาคารระบายน้ำตามยาวที่ออกแบบใช้งานมีดังนี้

(1) รางเปิดคอนกรีต (Concrete Open Ditch) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-4 เหมาะสำหรับย่านชุมชนขนาดเล็ก หรือ สำหรับงานปรับปรุงในขั้นต้น ทั้งนี้ต้องมีเขตทางกว้างพอ ความสามารถระบายน้ำได้ดี ทำความสะอาดได้ง่าย แต่ไม่เหมาะกับพื้นที่ ที่มีรถเข้าออกแสองข้างทางมาก หรือย่านธุรกิจ ควรเป็นพื้นที่ราคาถูกที่สุด



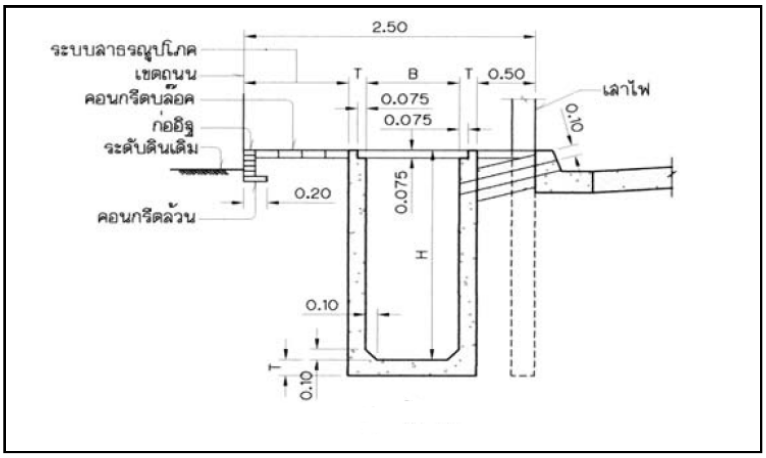

**รูปที่ 2.2-4** รางเปิดคอนกรีต (Concrete Open Ditch)

(2) รางตื้น คสล. พร้อมฝังท่อกลมข้างใต้ เหมาะสำหรับย่านชุมชนที่เขตทางแคบมากต้องใช้เป็นส่วนหนึ่งของผิวจราจร (รถทับได้) มีการเข้าออกสองข้างทางมาก แต่ไม่เหมาะกับถนนที่มีการจราจรมาก หรือทางหลวงชั้นดี เนื่องจากเป็นอันตรายต่อรถจักรยานยนต์ ระบายน้ำไม่ดีเท่าที่ควรและมีปัญหาในการบำรุงรักษา



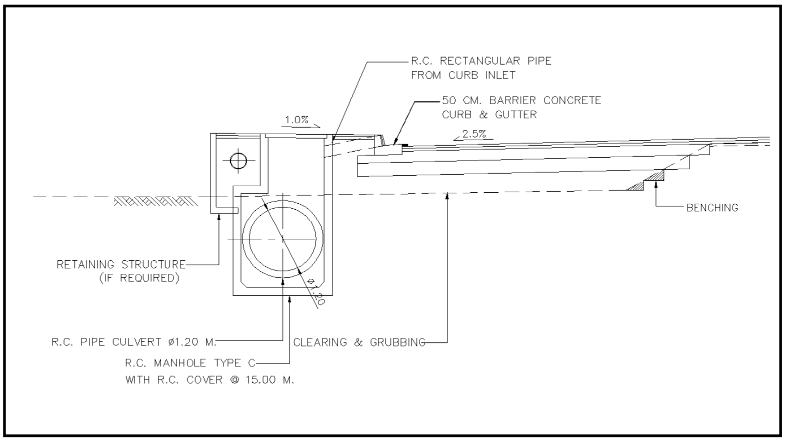

**รูปที่ 2.2-5** รางตื้น คสล. มีฝาปิดทับพร้อมฝังท่อกลม

(3) รางระบายน้ำ คสล. แบบตัว U เหมาะสำหรับย่านชุมชน ขนาดปานกลาง ใช้พื้นที่น้อย ความสามารถในการระบายน้ำได้ไม่มากนัก เนื่องจากขนาดจำกัด แต่สามารถออกแบบเป็นแบบฝาปิดทับได้ ในกรณีที่เขตทางแคบ ต้องการใช้เป็นส่วนหนึ่งของผิวจราจร ซึ่งจะดีกว่าแบบ รางตื้น คสล. แต่ราคาแพงกว่า ในกรณีทั่วไปจะก่อสร้างที่ตีนลาดถม เพื่อดักน้ำที่จะไหลเข้าอาคารที่ประชิดที่ไม่มีรถเข้าออก หรือกำหนดอยู่ในทางเท้า



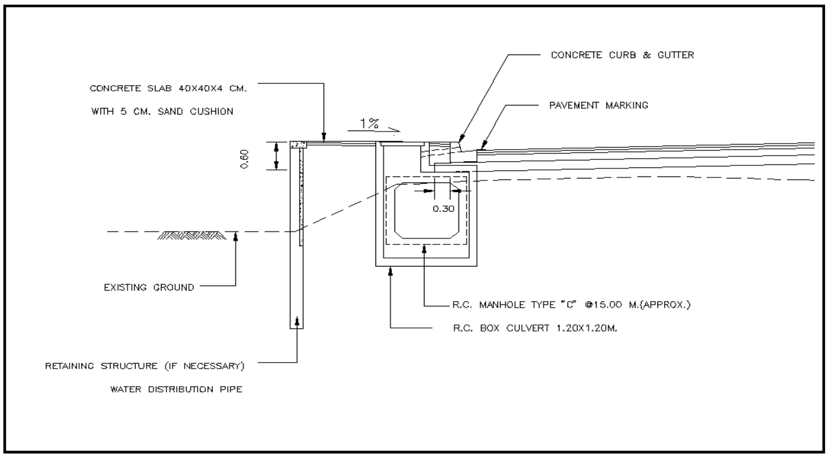

**รูปที่ 2.2-6** รางระบายน้ำ คสล. แบบตัว U (U-Ditch)

(4) ท่อกลมระบายน้ำพร้อมบ่อพักดังแสดงในรูปที่ 2.2-7 เหมาะสำหรับย่านชุมนุมชนขนาดใหญ่ ปริมาณน้ำที่ต้องระบายมีมาก วางท่อใต้ทางเท้าหรือใต้ผิวจราจรโดยน้ำจากผิวจราจรระบายลงบ่อพักแต่จะเสียพื้นที่มากทั้งด้านกว้างและด้านลึกและกำหนดลาดการไหลของน้ำตามยาวได้ไม่มากตลอดจนมีปัญหาการบำรุงรักษาและการทำความสะอาดราคาแพง




**รูปที่ 2.2-7** ท่อกลมระบายน้ำพร้อมบ่อพัก

(5) ท่อเหลี่ยมระบายน้ำพร้อมบ่อพักดังแสดงในรูปที่ 2.2-8 เหมาะสำหรับย่านชุมนุมชนขนาดใหญ่ปริมาณน้ำที่จะระบายมีมากแต่มีข้อดีตรงที่สามารถปรับขนาดได้ตามต้องการทั้งส่วนกว้างและส่วนลึกจึงทำให้ใช้พื้นที่ได้น้อยกว่าและสามารถตั้งลาดการไหลของน้ำตามยาวได้ดีกว่าแต่ราคาจะแพงกว่าและมีปัญหาการบำรุงรักษาทำความสะอาดเช่นเดียวกัน




**รูปที่ 2.2-8** ท่อเหลี่ยมระบายน้ำพร้อมบ่อพัก

**1) องค์ประกอบของระบบระบายน้ำตามยาวในย่านชุมชน**

องค์ประกอบของระบบระบายน้ำตามยาวในย่านชุมชนประกอบด้วย

**- ท่อระบายน้ำ**

ในการออกแบบระบบระบายน้ำตามแนวขนานสำหรับทางหลวง โดยทั่วไปจะเลือกใช้ท่อระบายน้ำ คสล. ซึ่งปกติที่นิยมใช้กันมี 2 ชนิด ได้แก่

**(1) ท่อระบายน้ำ คสล. ชนิดกลม**

ท่อระบายน้ำคสล. ชนิดกลมที่ใช้เป็นท่อตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 128-2528) เป็นชนิดหล่อสำเร็จความยาวท่อนละ 1.00 ม. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในตั้งแต่ 0.60 เมตรถึง 1.20 เมตร

**(2) ท่อระบายน้ำ คสล. ชนิดสี่เหลี่ยม**

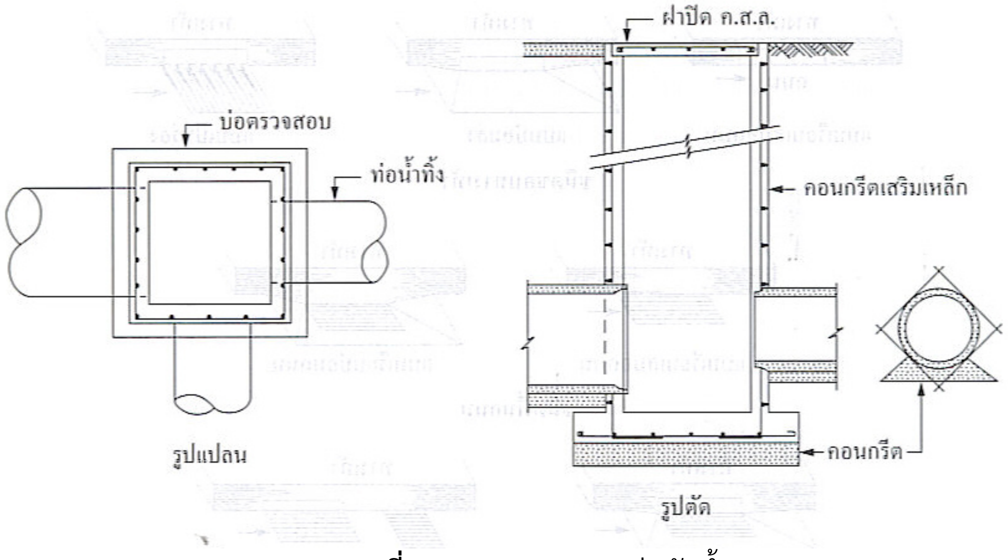
ท่อระบายน้ำ คสล. ชนิดสี่เหลี่ยมที่ใช้มีทั้งชนิดหล่อสำเร็จ และแบบหล่อในที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ตั้งโครงการและลักษณะการใช้งาน

นอกจากท่อระบายน้ำ คสล. ยังมีทางระบายน้ำรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ รางระบายน้ำรูปตัวยู รางระบายน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นต้น

**- บ่อพักน้ำ (Manhole)**

ในระบบระบายน้ำจะมีการก่อสร้างบ่อพักน้ำเป็นระยะๆตลอดแนวท่อระบายน้ำเพื่อใช้ในการทำความสะอาดและบำรุงรักษาท่อระบายน้ำโดยระยะห่างระหว่างบ่อพักน้ำแต่ละบ่อพักน้ำจะต้อง

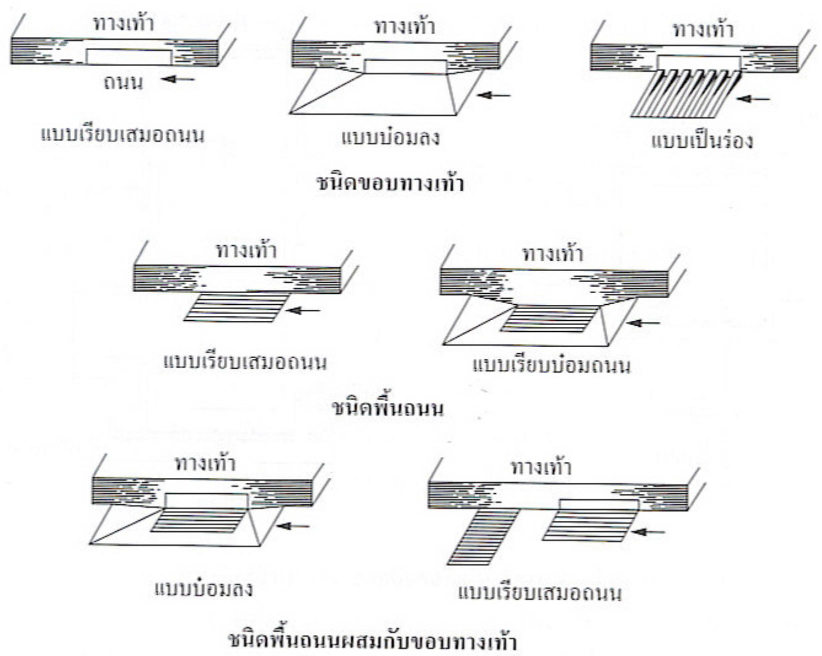
ไม่ห่างกันมากเกินไปจนทำให้ไม่สามารถลงไปทำความสะอาดท่อระบายน้ำได้หรือทำความสะอาดท่อระบายน้ำได้ไม่สะดวก รูปแบบของบ่อพักน้ำโดยทั่วไปแสดงในรูปที่ 2.2-9




**รูปที่ 2.2-9** รูปแบบของบ่อพักน้ำ

**- ทางน้ำเข้าข้างทาง**

ทำหน้าที่รับน้ำจากถนนให้ไหลลงสู่ท่อระบายน้ำฝน ซึ่งพอจะแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ ชนิดขอบทางเท้า ชนิดพื้นที่ถนน และชนิดผสม ดังแสดงในรูปที่ 2.2-10




**รูปที่ 2.2-10** รูปแบบทางน้ำเข้าข้างทาง

**2) ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ในการออกแบบด้านอุทกวิทยา**

ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ในการออกแบบด้านอุทกวิทยาจะเกี่ยวข้องกับการคำนวณอัตราการระบายน้ำหรืออัตราน้ำไหลนองสูงสุดที่เกิดจากฝนออกแบบได้ดังนี้

(1) อัตราน้ำไหลนองสูงสุดคำนวณจากปริมาณฝนออกแบบที่ตกในบริเวณพื้นที่ที่จะระบายน้ำในรอบ 5-10 ปี ขึ้นอยู่กับระดับความสำคัญของปัญหาน้ำท่วม เช่น สำหรับบริเวณชุมชนไม่หนาแน่นและมีปัญหาน้ำท่วมขังเพียงเล็กน้อยใช้รอบปีการเกิดของฝนออกแบบ 5 ปี ในทางตรงกันข้ามหากเป็นบริเวณที่มีชุมชนหนาแน่นย่านพาณิชยกรรมและธุรกิจการค้าซึ่งเมื่อเกิดน้ำท่วมจะมีความเสียหายค่อนข้างมากและเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรให้ใช้รอบปีการเกิดของฝนออกแบบ 10 ปี

(2) ปริมาณฝนออกแบบขึ้นอยู่กับรอบปีการเกิดและระยะเวลาที่ฝนตกโดยคำนวณได้จากกราฟความสัมพันธ์ของความเข้ม-ระยะเวลาที่ตก-และความถี่ของฝนซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่หรือภูมิภาคของประเทศโดยขอข้อมูลดังกล่าวได้จากสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาในจังหวัดนั้นๆหรือพื้นที่ใกล้เคียง

(3) ปริมาณน้ำนองทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำคือปริมาณน้ำจากผิวจราจรน้ำจากพื้นที่ประชิดข้างทางที่ระยะ 50 เมตร และปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดจากการใช้น้ำในพื้นที่

(4) ปริมาณน้ำทิ้งที่ไหลลงทางระบายน้ำจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่ประชากรในพื้นที่ใช้แต่ละวันโดยมีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำที่ประชากรใช้ทั้งหมดสำหรับอัตราการใช้น้ำของประชากรกำหนดให้อยู่ช่วงพิสัย 100-200 ลิตร/คน/วันโดยกำหนดใช้น้ำ 200 ลิตร/คน/วัน

(5) กรณีที่เป็นถนนตัดใหม่ถนนสายหลักต้องเตรียมพื้นที่ข้างทางไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร เพื่อรองรับสาธารณูปโภค ส่วนถนนรองมีไหล่ทางไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร สำหรับการก่อสร้าง Utility Duct รวมทุกประเภท เช่น ไฟฟ้า ประปา โทรศัพท์ และระบายน้ำ

การคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนหรือพื้นที่ที่จะระบายน้ำ มีขนาดเล็กไม่เกินกว่า 25 ตารางกิโลเมตร ใช้สูตร Rational Formula

การคำนวณเวลาน้ำไหลนองหรือเวลาของการรวมจุด (Time of Concentration, $T_c$) หมายถึงเวลาที่น้ำจากทุกส่วนในพื้นที่ระบายน้ำไหลมาถึงจุดทางออก (Outlet) ประกอบด้วยเวลาทางเข้า (Inlet time, $t_0$) รวมกับเวลาที่น้ำเดินทางในท่อจากจุดทางเข้าถึงจุดทางออกที่พิจารณาสูตรเวลาน้ำไหลนอง

$$T_c = t_0 + t_{pipe}$$

สำหรับเวลาทางเข้าหมายถึงเวลาที่น้ำฝนใช้เดินทางหลังจากที่ตกลงมาจนถึงทางเข้าสู่ท่อหรือรางระบายน้ำหรือเป็นเวลาที่น้ำไหลนองบนผิวดินและพื้นผิวอื่นๆจากจุดไกลสุดจนถึงทางเข้าสู่ท่อหรือทางระบายน้ำ

สำหรับเวลาที่น้ำวิ่งในเส้นท่อหรือรางระบายน้ำ ($t_{pipe}$) คำนวณโดยใช้สูตรชลศาสตร์และความเร็วการไหลในท่อเท่ากับ 0.75 เมตร/วินาทีหรือเท่ากับ 45 เมตร/นาทีซึ่งเป็นความเร็วการไหลน้อยที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดการตกตะกอนในท่อ จะต้องตรวจสอบความเร็วที่แท้จริงจากความลาดของการวางท่อด้วย

เวลาน้ำไหลบนพื้นดินหรือพื้นที่ผิวต่างๆ ($t_o$) จนกว่าจะเข้ามายังจุดเข้าท่อหรือรางระบาย (Inlet) นั้นคำนวณหาได้ยากเพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างอาทิเช่นความลาดชันของพื้นที่ผิวลักษณะปกคลุมพื้นที่ผิวนั้นๆระยะทางที่น้ำวิ่งก่อนถึงจุดเข้าท่ออย่างไรก็ดีในการออกแบบอาจเลือกใช้เวลาวิ่งเข้าท่อในช่วง 5 ถึง 30 นาที (นิยมใช้ 5-15 นาที) ในกรณีพื้นที่ที่อยู่ในเขตการพัฒนาและมีสิ่งก่อสร้างหนาแน่นพื้นที่ผิวส่วนใหญ่เป็นชนิดน้ำซึมลงดินได้ยากและมีช่องให้น้ำเข้าระบบระบายจำนวนมากอาจเลือกใช้เวลาเข้าท่อเพียง 5 นาทีสำหรับพื้นที่ที่มีการพัฒนาและภูมิประเทศค่อนข้างราบเรียบกำหนดใช้เวลาเข้าท่อหรือรางระบายนาน 10 ถึง 15 นาทีแต่ในบริเวณชุมชนที่พักอาศัยมีภูมิประเทศราบเรียบกำหนดใช้เวลาในช่วง 20-30 นาทีเป็นเกณฑ์

หากกำหนดให้เวลาน้ำไหลบนพื้นผิว ($t_o$) เท่ากับ 15 นาทีก็จะสามารถคำนวณเวลาน้ำไหลนอง ($T_c$) ได้ดังนี้

$$T_c = 15 + \frac{L}{45}$$

เมื่อ $T_c$ = เวลาน้ำไหลนองหรือเวลาของการรวมจุดมีหน่วยเป็นนาที

$L$ = ความยาวท่อมีหน่วยเป็นเมตร

**3) การศึกษาปริมาณน้ำทิ้งชุมชน**

เนื่องจากน้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการอุปโภคบริโภคในชุมชนดังนั้นปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการใช้น้ำภายในชุมชนซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำเสียชุมชนได้แก่มาตรฐานการครองชีพของแต่ละชุมชน มาตรฐานการผลิตและจ่ายน้ำประปาทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพการรณรงค์และจิตสำนึกของชุมชนในเรื่องของการประหยัดน้ำและประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นเป็นต้น

การสำรวจปริมาณน้ำเสียในปัจจุบันของชุมชนมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากปริมาณของน้ำเสียที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจะถูกนำมาใช้เป็นฐานในการคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียที่จะเกิดขึ้นในอนาคตซึ่งมักจะเป็นการวางแผนรองรับระบบสาธารณูปโภคระยะยาวประมาณ 15-20 ปีและปริมาณน้ำเสียในอนาคตจะใช้สำหรับกำหนดขนาดของระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเมือง ดังนั้นการศึกษาจะต้องดำเนินการอย่างรอบคอบโดยทำการตรวจสอบปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการต่างๆหลายรูปแบบแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน วิธีการสำรวจปริมาณน้ำเสียในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 วิธีได้แก่วิธีการสำรวจข้อมูลอัตราการใช้น้ำของชุมชนจากข้อมูลของการประปา วิธีการวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่ปลายท่อ

ระบายน้ำเสียภายในชุมชนและวิธีการใช้แบบสอบถาม แต่ในการศึกษานี้จะใช้วิธีการสำรวจข้อมูลอัตรการใช้น้ำจากข้อมูลของการประปาในการศึกษา

วิธีนี้เหมาะสำหรับชุมชนที่มีการจ่ายน้ำประปาเข้าอย่างทั่วถึงหรือเกือบครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ วิธีนี้มีข้อดีคือผู้ศึกษาไม่ต้องเสียเวลาเก็บข้อมูลภาคสนาม (primary data) มาก การเก็บข้อมูลส่วนใหญ่จะเป็นรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) แล้วนำมาแปรผลข้อมูลแต่วิธีนี้จะมีข้อจำกัดคือเขตพื้นที่ให้บริการจำหน่ายน้ำของการประปามักจะไม่ใช่เขตเดียวกับพื้นที่ให้บริการบำบัดน้ำเสียของหน่วยการที่รับผิดชอบการบำบัดน้ำเสียได้แก่สำนักงานเทศบาลต่างๆไม่ว่าจะเป็นเทศบาลนครเทศบาลเมืองหรือเทศบาลตำบลก็ตามทำให้การแปรผลข้อมูลมีความยุ่งยากพอสมควร ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงไม่สามารถนำข้อมูลปริมาณน้ำจำหน่ายมาคำนวณปริมาณน้ำเสียได้โดยตรงแต่จะต้องนำมาคำนวณหาอัตราการใช้น้ำต่อประชากรเสียก่อนแล้วจึงนำไปคูณกับจำนวนประชากรทั้งหมดในพื้นที่ให้บริการหรือในพื้นที่ระบายน้ำย่อยจึงจะสามารถนำมาคิดปริมาณน้ำเสียได้โดยวิธีนี้จะต้องรวบรวมข้อมูลต่างๆจากการประปาดังต่อไปนี้

การคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียจากปริมาณน้ำใช้มีสมมติฐานว่าน้ำประปาหรือน้ำใช้ที่ชุมชนใช้ในการอุปโภคบริโภคจะกลายเป็นน้ำเสียประมาณร้อยละ 60-90 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปนิสัยและมาตรฐานการครองชีพของประชาชนในแต่ละชุมชนแต่สำหรับประเภทไทยนิยมใช้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 80 % น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากแต่ละแหล่งกำเนิดเมื่อไหลลงสู่ท่อระบายน้ำจะถูกเจือปนด้วยน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าสู่ท่อระบายน้ำหรือท่อรวบรวมน้ำเสียประมาณ 20 % ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดจึงพบว่าปริมาณน้ำเสียทั้งหมดจะเท่ากับ 0.96 เท่าของปริมาณการใช้น้ำโดยมีรายละเอียดดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| อัตราการทิ้งน้ำเสียรวม | = | (อัตราการทิ้งน้ำเสีย ณ แหล่งกำเนิด x อัตราน้ำทิ้งสูงสุด)+น้ำรั่วซึมเข้าท่อ |
| อัตราการทิ้งน้ำเสีย ณ แหล่งกำเนิด | = | 0.8 x อัตราการใช้น้ำ ณ แหล่งกำเนิด |
| น้ำรั่วซึมเข้าท่อ | = | 0.2 x อัตราการทิ้งน้ำเสีย ณ แหล่งกำเนิด |
| | = | 0.2 x 0.8 x อัตราการใช้น้ำ ณ แหล่งกำเนิด |
| | = | 0.16 x อัตราการใช้น้ำ ณ แหล่งกำเนิด |

ดังนั้นอัตราการทิ้งน้ำเสีย ณ แหล่งกำเนิด = (0.8 + 0.16) x อัตราการใช้น้ำ ณ แหล่งกำเนิด

**อัตราการทิ้งน้ำเสียรวม = 3.32x 0.96 x อัตราการใช้น้ำ ณ แหล่งกำเนิด (ลิตร/หน่วย/วัน)**

การคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียเบื้องต้นมีความจำเป็นอย่างมากโดยทั่วไปจะประเมินจากความสกปรกที่ระบายสู่แหล่งน้ำซึ่งสามารถประเมินได้จากการคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียทีจะเกิดขึ้นโดยอาศัยผลคูณระหว่างจำนวนประชากรกับอัตราการใช้น้ำของประชากรแต่ละคนซึ่งมักจะประเมินเป็นระยะเวลาล่วงหน้า 20 ปีในการศึกษานี้ได้กำหนดปริมาณน้ำเสียต่อคนต่อวันที่ 200 ลิตร ต่อคนต่อวัน

**4) สรุปขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลนองสูงสุดที่ออกแบบ (Design Discharge)**

(1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลลักษณะพื้นที่ระบายและลักษณะฝน

(2) กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ

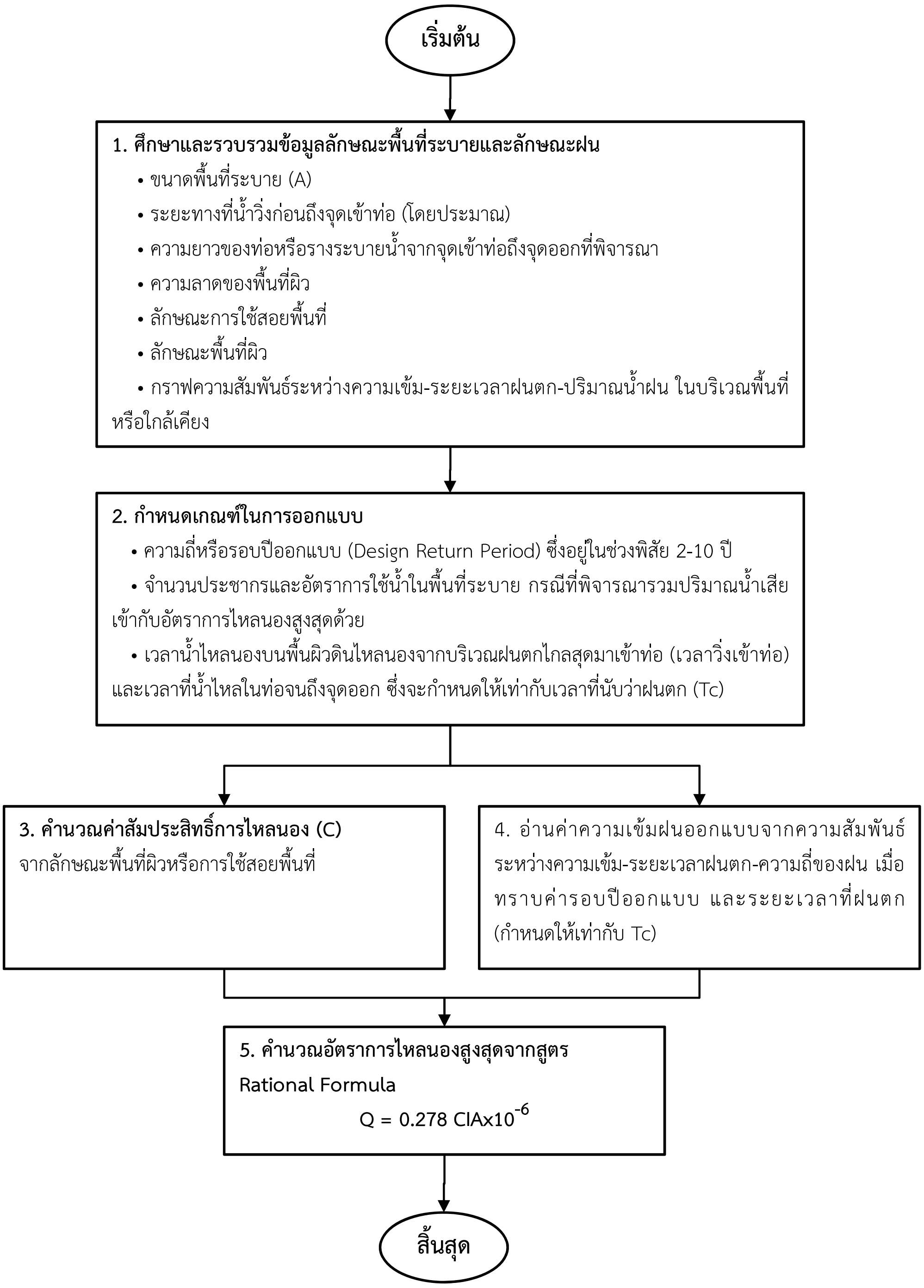
(3) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองและคำนวณระยะเวลาที่ตกของฝน

(4) คำนวณหรืออ่านค่าความเข้มฝนจากความสัมพันธ์ความเข้ม-ระยะเวลาฝนตก-ความถี่ปริมาณน้ำฝน

(5) คำนวณอัตราการไหลนองสูงสุดด้วยการใช้สูตร Rational Formula

(6) คำนวณอัตราการใช้น้ำของชุมชน

โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนไว้ในรูปที่ 2.2-11 สำหรับอัตราการไหลนองสูงสุด ที่คำนวณได้ดังกล่าว จะนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาขนาดของท่อหรือรางระบายน้ำที่เหมาะสมต่อไป




**หมายเหตุ** : อัตราการไหลนองสูงสุด (Q) สิ้นสุด
ที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการ
กำหนดขนาดท่อหรือรางระบายน้ำต่อไป

**รูปที่ 2.2-11** แผนภูมิแสดงขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลนองสูงสุด (Q)

**5) ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ในการออกแบบด้านชลศาสตร์**

(1) การคำนวณขนาดท่อระบายน้ำได้พิจารณาเป็น 2 ลักษณะทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่คือ

• กรณีที่จุดทิ้งน้ำมีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะต่ำกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำจะพิจารณาการไหลในท่อระบายน้ำในเงื่อนไขที่ระดับท้ายน้ำของท่อเป็นแบบอิสระ (Free Flow)

• กรณีที่จุดทิ้งน้ำมีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะสูงกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำจะพิจารณาการไหลในท่อระบายน้ำในเงื่อนไขที่ระดับท้ายน้ำของท่อเป็นแบบน้ำท่วมท้ายท่อ (Submerged Flow)

(2) ชนิดและขนาดท่อระบายน้ำกำหนดให้ใช้ท่อ 2 ชนิดได้แก่

• ท่อกลมคอนกรีตใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.60-1.50 ม.

• ท่อสี่เหลี่ยมคอนกรีตใช้ท่อขนาดตั้งแต่ 1.20x1.20 ม. ขึ้นไป

(3) ท่อระบายน้ำ (Street Drain or Trunk Drain)

• ความเร็วต่ำสุด 0.70 ม./วินาที (ป้องกันการตกตะกอน)

• ความเร็วสูงสุด 4.00 ม./วินาที (ป้องกันการกัดกร่อน)

• ความลาดชันตามยาวตามสภาพภูมิประเทศและใช้เกณฑ์ดังนี้

- ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 ม. มีความลาดชันไม่น้อยกว่า 1:400
- ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 ม. มีความลาดชันไม่น้อยกว่า 1:600
- ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 ม. มีความลาดชันไม่น้อยกว่า 1:1,200

• ขนาดท่อเล็กสุดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร (ป้องกันการอุดตัน)

• ระดับน้ำในท่อไหลเต็มท่อพอดีที่อัตราไหลสูงสุดที่คำนวณได้จาก Rational Method

• ที่จุดเปลี่ยนขนาดท่อระดับสันท่อทั้ง 2 ข้างอยู่ระดับเดียวกัน

• ระดับดินถมหลังท่ออย่างน้อย 0.60 เมตร

• ความลึกในการฝังท่อฝังท่อลึกที่สุดไม่ควรเกิน 6.0 เมตรแต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาค่าลงทุนและความยากของการก่อสร้างด้วย

(4) รางระบายน้ำเปิด (Open Drain)

• ความเร็วต่ำสุด 0.70 ม./วินาที

• ความลาดเอียงตามสภาพภูมิประเทศ

• ขนาดรางเล็กสุดกว้างอย่างน้อย 0.30 ม.

• ระดับน้ำในรางไม่ต่ำกว่า 0.30 ม.

• ที่จุดเปลี่ยนขนาดระดับน้ำในราง 2 ข้างอยู่ระดับเดียวกัน

• ระดับดินก้นรางอยู่ต่ำกว่าระดับดินเดิม

(5) ระยะห่างระหว่างบ่อพักน้ำเพื่อการบำรุงรักษา

• ไม่เกิน 8 ม. สำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1.00 ม.

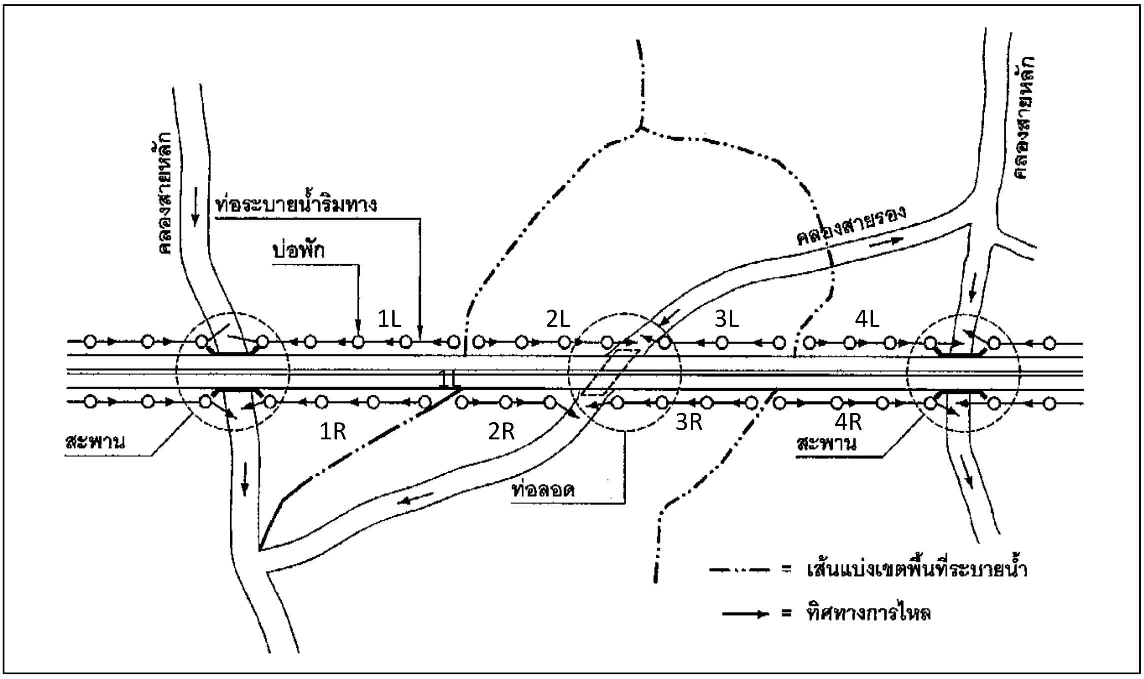
• ไม่เกิน 16 ม. สำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00-1.50 ม.

**ตัวอย่างการคำนวณระบบระบายน้ำตามยาว**

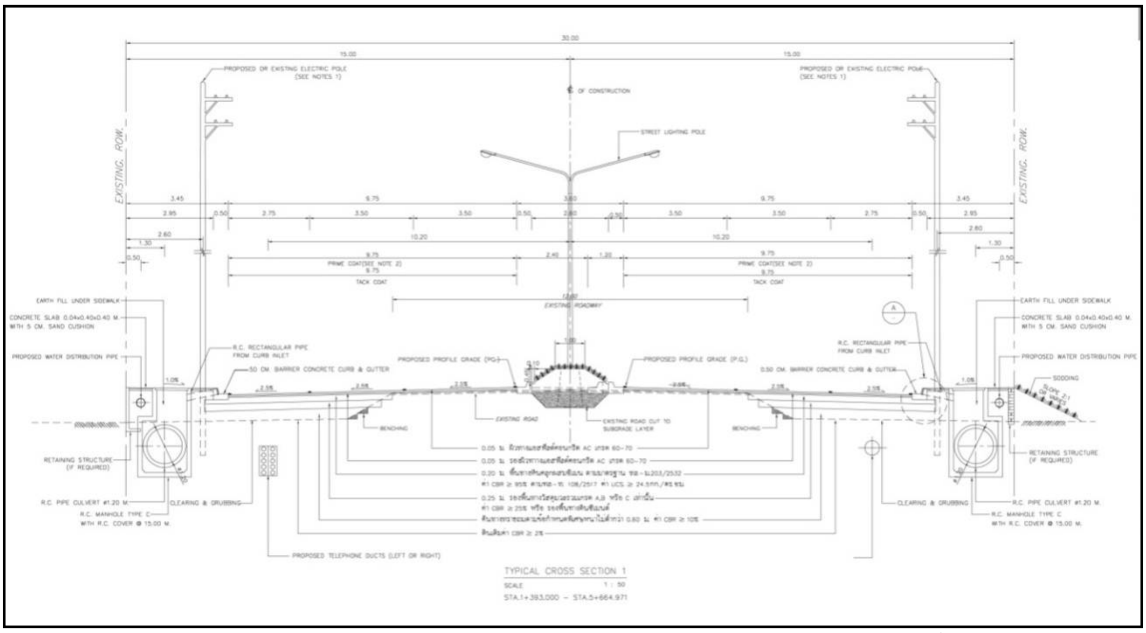
ในตัวอย่างการคำนวณนี้เป็นการออกแบบระบบระบายน้ำตามยาวแบบรวม คือ น้ำฝนและน้ำทิ้งจะระบายอยู่ในท่อเดียวกัน ดังนั้นปริมาณน้ำออกแบบจะประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่าผิวดินในพื้นที่การระบายน้ำและปริมาณน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน และสถานที่ประกอบการต่างๆ

กำหนดให้ทางหลวงตัดผ่านพื้นที่เขตธุรกิจซึ่งได้รับการพัฒนาแล้ว พื้นที่ผิวและระดับค่อนข้างราบเรียบโดยกำหนดรอบปีในการออกแบบ 25 ปี และใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ระยะเวลาที่ฝนตก-ความถี่ปริมาณน้ำฝน คำนวณอัตราการไหลสูงสุด (Q) ในเทอมของพื้นที่ระบาย (A) โดยพิจารณาปริมาณน้ำทิ้งเข้าท่อระบายน้ำ

ตัวอย่างและขั้นตอนและรายละเอียดในการออกแบบและของพื้นที่ที่จะใช้เป็นตัวอย่างพิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 2.2-12 และรูปที่ 2.2-13 สรุปขั้นตอนในการพิจารณาออกแบบได้ดังนี้




**รูปที่ 2.2-12** ตัวอย่างผังสำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำตามยาว




**รูปที่ 2.2-13** รูปตัดตัวอย่างของทางหลวงในการออกแบบระบบระบายน้ำตามยาว

**1) การคำนวณอัตรการระบายน้ำออกแบบ (Q)**

**ขั้นตอนที่ 1** : รวบรวมข้อมูลลักษณะพื้นที่ระบายและลักษณะฝน

- พื้นที่ระบายน้ำ (A)
- ลักษณะใช้สอยเป็นแบบพื้นที่รอบๆ เขตธุรกิจหนาแน่น
- พื้นที่ผิวมีการพัฒนามากและระดับค่อนข้างราบเรียบ
- กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ระยะเวลาฝนตก-ความถี่ปริมาณน้ำฝน

**ขั้นตอนที่ 2 : วางผังระบบระบายน้ำและผังสำหรับการคำนวณเพื่อการออกแบบ**

- วางผังระบบระบายน้ำของพื้นที่โครงการ
- วางผังสำหรับการคำนวณเพื่อการออกแบบ

**ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดเกณฑ์ในการออกแบบ**

- รอบปีการเกิดที่ออกแบบ 25 ปี
- เวลาน้ำไหลนองบนพื้นที่ระบายเข้าท่อ ($t_0$) กำหนดให้
  เท่ากับ 15 นาทีตามลักษณะพื้นที่ผิว
  เวลาน้ำไหลนองถึงจุดออก ($T_c$) = 15+(L/45) นาที
  เมื่อ L คือความยาวท่อ (เมตร)
- ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบระบายน้ำ กำหนดให้อัตราการใช้น้ำของประชากร 200 ลิตรต่อคนต่อวัน
  อัตราการระบายน้ำเสีย สามารถคำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2-4

**ตารางที่ 2.2-4** แสดงการคำนวณปริมาณน้ำทิ้งจากชุมชนที่โครงการทางหลวงตัดผ่าน

| ท่อระบายน้ำ หมายเลข | จำนวนประชากร คน | อัตราการระบายน้ำทิ้ง (ลบ.ม./วินาที) |
|---|---|---|
| **ท่อระบายน้ำสายหลักทางด้านซ้าย** | | |
| 1L | 300 | 0.0022 |
| 2L | 200 | 0.0015 |
| 3L | 150 | 0.0011 |
| 4L | 100 | 0.0007 |
| **ท่อระบายน้ำสายหลักทางด้านขวา** | | |
| 1R | 250 | 0.0018 |
| 2R | 350 | 0.0026 |
| 3R | 180 | 0.0013 |
| 4R | 200 | 0.0015 |

**ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง** (C)

- เนื่องจากลักษณะการใช้สอยพื้นที่เป็นแบบเขตธุรกิจตั้งอยู่รอบๆ
- บริเวณเขตธุรกิจ กำหนดให้ C = 0.60
- พื้นถนนเป็นผิวแอสฟัลท์คอนกรีต กำหนดให้ C=0.85

**ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณความเข้มของฝนออกแบบ**

- รอบปีการเกิดที่ออกแบบความเข้มฝน 25 ปี
- ระยะเวลาฝนตกกำหนดให้เท่ากับเวลาน้ำไหลนองถึงจุดออก ($T_C$)
- อ่านค่าความเข้มฝนจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม – ระยะเวลาฝนตก – รอบปีการเกิดของฝน

**ขั้นตอนที่ 6 : คำนวณอัตราการไหลนองสูงสุด**(Q), **หน่วยลบ.ม./วินาที**

$$Q = 0.278 \times 10^{-6} CIA$$
$$= 0.278 \times 0.60 \times 10^{-6} IA$$
$$= 0.1668 \times 10^{-6} IA$$

เมื่อ A = พื้นที่ระบายน้ำ, ตารางเมตร

I = ความเข้มฝนออกแบบ, มิลลิเมตร/ชั่วโมง

รายละเอียดการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดหรืออัตราการระบายน้ำออกแบบ (Q) แสดงไว้ในตารางที่ 2.2-5 ซึ่งจะใช้ในการออกแบบขนาดทางระบายน้ำต่อไป

**ตารางที่ 2.2-5** การคำนวณอัตราการระบายน้ำออกแบบสำหรับท่อระบายน้ำ

| ท่อระบายน้ำ | ความยาว | พื้นที่เกิดปริมาณน้ำท่าออกแบบ | | | | | | สปส. | พื้นที่รวม | พื้นที่สะสม | เวลา (นาที) | | | I | อัตราการระบายน้ำ | อัตราการระบาย | อัตราการระบายน้ำ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| หมายเลข | ท่อ | พื้นที่ประชิด | | พื้นที่ถนน | | | | เฉลี่ย | (ตร.กม.) | (ตร.กม.) | $t_0$ | $t_{pipe}$ | $T_c$ | มม./ชม. | ออกแบบ | น้ำทิ้ง | รวม |
| | L | ขนาด (A1) | สปส. | กว้าง | ยาว | ขนาด(A2) | สปส. | C | $A_T$ | $A_s$ | | | | | (ลบ.ม./วินาที) | (ลบ.ม./วินาที) | (ลบ.ม./วินาที) |
| | (ม.) | (ตร.ม.) | C1 | (ม.) | (ม.) | (ตร.ม.) | C1 | | | | | | | | | | |
| **ท่อระบายน้ำสายหลักทางด้านซ้าย** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1L | 200 | 8000 | 0.6 | 15 | 200 | 3000 | 0.85 | 0.67 | 11000 | 11000 | 15 | - | 15.00 | 162.96 | 0.33 | 0.0022 | 0.335 |
| 2L | 150 | 6000 | 0.6 | 15 | 150 | 2250 | 0.85 | 0.67 | 8250 | 8250 | 15 | 3.33 | 18.33 | 152.48 | 0.23 | 0.0015 | 0.235 |
| 3L | 140 | 5600 | 0.6 | 15 | 140 | 2100 | 0.85 | 0.67 | 7700 | 7700 | 15 | 3.11 | 18.11 | 153.14 | 0.22 | 0.0011 | 0.220 |
| 4L | 120 | 4800 | 0.6 | 15 | 120 | 1800 | 0.85 | 0.67 | 6600 | 6600 | 15 | 2.67 | 17.67 | 154.47 | 0.19 | 0.0007 | 0.190 |
| **ท่อระบายน้ำสายหลักทางด้านขวา** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1R | 180 | 7200 | 0.6 | 15 | 180 | 2700 | 0.85 | 0.67 | 9900 | 9900 | 15 | - | 15.00 | 162.96 | 0.30 | 0.0018 | 0.302 |
| 2R | 140 | 5600 | 0.6 | 15 | 140 | 2100 | 0.85 | 0.67 | 7700 | 7700 | 15 | 3.11 | 18.11 | 153.14 | 0.22 | 0.0026 | 0.523 |
| 3R | 140 | 5600 | 0.6 | 15 | 140 | 2100 | 0.85 | 0.67 | 7700 | 7700 | 15 | 3.11 | 18.11 | 153.14 | 0.22 | 0.0013 | 0.220 |
| 4R | 120 | 4800 | 0.6 | 15 | 120 | 1800 | 0.85 | 0.67 | 6600 | 6600 | 15 | 2.67 | 17.67 | 154.47 | 0.19 | 0.0015 | 0.191 |

2) การคำนวณความจุของระบบระบายน้ำและความเร็วการไหลด้วยสูตรแมนนิ่ง

การคำนวณความจุของระบบระบายน้ำและความเร็วการไหลด้วยสูตรแมนนิ่งสำหรับกรณีท่อระบายน้ำ (น้ำไหลเต็มท่อและn = 0.018) แสดงไว้ในตารางที่ 2.2-6

**(1) กรณีท่อระบายน้ำ (น้ำไหลเต็มท่อและ n = 0.018)**

**จากสูตร Manning Formula**

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

ถ้า $S = 1{:}1{,}000,\ S^{1/2} = 0.03162$

$N = 0.018$

ฉะนั้น $V = (1/0.018) \times 0.03162\ R^{2/3}$

$= 1.7568\ R^{2/3}$

ใช้ท่อ **∅1.50** ม., $A = 1.766$ ม.$^2$

$R = 0.375$ ม.

$R^{2/3} = 0.520$

$V = 0.914$ ม./วินาที

$Q = 1.614$ ม.$^3$/วินาที

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ใช้ท่อ **∅1.20** ม., | A | = | 1.130 | ม.$^2$ |
| | R | = | 0.30 | ม. |
| | $R^{2/3}$ | = | 0.440 | |
| | V | = | 0.787 | ม./วินาที |
| | Q | = | 0.890 | ม.$^3$/วินาที |
| ใช้ท่อ **∅1.00** ม., | A | = | 0.785 | ม.$^2$ |
| | R | = | 0.25 | ม. |
| | $R^{2/3}$ | = | 0.398 | |
| | V | = | 0.697 | ม./วินาที |
| | Q | = | 0.547 | ม.$^3$/วินาที |
| ใช้ท่อ **∅0.80** ม., | A | = | 0.502 | ม.$^2$ |
| | R | = | 0.20 | ม. |
| | $R^{2/3}$ | = | 0.349 | |
| | V | = | 0.601 | ม./วินาที |
| | Q | = | 0.302 | ม.$^3$/วินาที |
| ใช้ท่อ **∅0.60** ม., | A | = | 0.2826 | ม.$^2$ |
| | R | = | 0.15 | ม. |
| | $R^{2/3}$ | = | 0.285 | |
| | V | = | 0.496 | ม./วินาที |
| | Q | = | 0.140 | ม.$^3$/วินาที |
| ใช้ท่อ **∅0.40** ม., | A | = | 0.1256 | ม.$^2$ |
| | R | = | 0.10 | ม. |
| | $R^{2/3}$ | = | 0.216 | |
| | V | = | 0.378 | ม./วินาที |
| | Q | = | 0.048 | ม.$^3$/วินาที |

**ตารางที่ 2.2-6** การคำนวณความจุของท่อระบายน้ำและความเร็วการไหล (การไหลเต็มท่อและ n=0.018)

| ขนาด (ม.) | อัตราการไหลและความเร็ว กรณีการไหลเต็มท่อ ตามความลาดชันต่างๆ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | SLOPE 1:500 = 0.0020 | | SLOPE 1:700 = 0.0014 | | SLOPE 1:1000 = 0.0010 | |
| | Q ($m^3/s$) | V (m/s) | Q ($m^3/s$) | V (m/s) | Q ($m^3/s$) | V (m/s) |
| 0.40 | 0.067 | 0.535 | 0.057 | 0.452 | 0.048 | 0.378 |
| 0.60 | 0.198 | 0.701 | 0.168 | 0.593 | 0.140 | 0.496 |
| 0.80 | 0.427 | 0.850 | 0.361 | 0.718 | 0.302 | 0.601 |
| 1.00 | 0.774 | 0.986 | 0.654 | 0.833 | 0.548 | 0.697 |
| 1.20 | 1.259 | 1.113 | 1.064 | 0.941 | 0.890 | 0.787 |
| 1.50 | 2.283 | 1.292 | 1.930 | 1.092 | 1.614 | 0.914 |
| 1.75 | 3.444 | 1.432 | 2.911 | 1.210 | 2.435 | 1.012 |
| 2.00 | 4.917 | 1.565 | 4.156 | 1.323 | 3.477 | 1.107 |

3) การเลือกขนาดทางระบายน้ำให้สัมพันธ์กับอัตราการระบายน้ำออกแบบ

จากการกำหนดให้ใช้ทางระบายน้ำเป็นแบบท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก (n = 0.018) สามารถเลือกขนาดท่อที่สามารถระบายน้ำด้วยอัตราการระบายน้ำออกแบบจากตารางที่ 2.2-5 โดยให้มีขนาดสอดคล้องกับความจุของท่อระบายน้ำที่คำนวณไว้ในตารางที่ 2.2-6 และความเร็วการไหลในเส้นท่อโดยประมาณไม่ควรน้อยกว่า 0.60 เมตร/วินาที จากการพิจารณาความลาดชันของท่อระบายน้ำเท่ากับ 1:1,000 จะได้ขนาดท่อระบายน้ำดังแสดงในตารางที่ 2.2-7

**ตารางที่ 2.2-7** การเลือกขนาดท่อระบายน้ำ

| ท่อระบายน้ำ หมายเลข | อัตราการระบายน้ำ ออกแบบ (ลบ.ม./วินาที) | ท่อระบายน้ำที่เลือก-ความจุท่อ-ความเร็วในท่อ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ขนาดท่อ (ม.) ∅ | ความลาดชันท่อ | ความจุท่อ (ลบ.ม./วินาที) | ความเร็วในท่อ (เมตร/วินาที) | F.S. |
| ท่อระบายน้ำสายหลักทางด้านซ้าย | | | | | | |
| 1L | 0.335 | 1.00 | 1:1000 | 0.547 | 0.697 | 1.63 |
| 2L | 0.235 | 0.80 | 1:1000 | 0.302 | 0.601 | 1.28 |
| 3L | 0.220 | 0.80 | 1:1000 | 0.302 | 0.601 | 1.37 |
| 4L | 0.190 | 0.80 | 1:1000 | 0.302 | 0.601 | 1.59 |
| ท่อระบายน้ำสายหลักทางด้านขวา | | | | | | |
| 1R | 0.302 | 1.00 | 1:1000 | 0.547 | 0.697 | 1.81 |
| 2R | 0.523 | 1.20 | 1:1000 | 0.890 | 0.787 | 1.70 |
| 3R | 0.220 | 0.80 | 1:1000 | 0.302 | 0.601 | 1.37 |
| 4R | 0.191 | 0.80 | 1:1000 | 0.302 | 0.601 | 1.58 |

**หมายเหตุ:** การเลือกขนาดท่อระบายน้ำขึ้นอยู่กับความลาดชันของท่อระบายน้ำ ซึ่งในกรณีนี้กำหนดให้เท่ากับ 1: 1000 ซึ่งหากเลือกความลาดชันต่างๆ ได้ก็สามารถเลือกขนาดท่อให้สอดคล้องกับอัตราระบายออกแบบได้ดียิ่งขึ้น

#### 2.2.1.4 Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูง

น้ำฝนนับว่าเป็นตัวการที่สำคัญที่สุดในการทำลายถนนโดยเฉพาะถนนที่ผ่านบริเวณภูเขา ถนนที่มีลักษณะการถมสูง (High fill) และลักษณะการตัดลึก (Deep Cut) หากมิได้มีการออกแบบระบบระบายน้ำผิวดินที่ดีพอ ไม่มีระบบควบคุมน้ำที่มีประสิทธิภาพ เช่น รางระบายน้ำ, ท่อระบายน้ำ, Curb ดักน้ำ รวบรวมน้ำ รวมทั้งจุดปล่อยน้ำและระบบระบายน้ำ (Drain chute) ที่เหมาะสม การก่อสร้างไม่ถูกต้องตามแบบ ผู้ควบคุมงานไม่ให้ความสำคัญของการก่อสร้างระบบระบายน้ำ, ขาดประสบการณ์ ขาดการเอาใจใส่สนใจต่อการป้องกันการกัดเซาะของน้ำ เมื่อใดที่มีฝนตกหนักจะเกิดการกัดเซาะ เริ่มการชะล้างน้อยๆก่อนจนถึงการชะล้างรุนแรง จนท้ายที่สุดความเสียหายกินลึกเข้ามาถึงตัวคันทาง, ผิวจราจร และเกิดพังทลาย

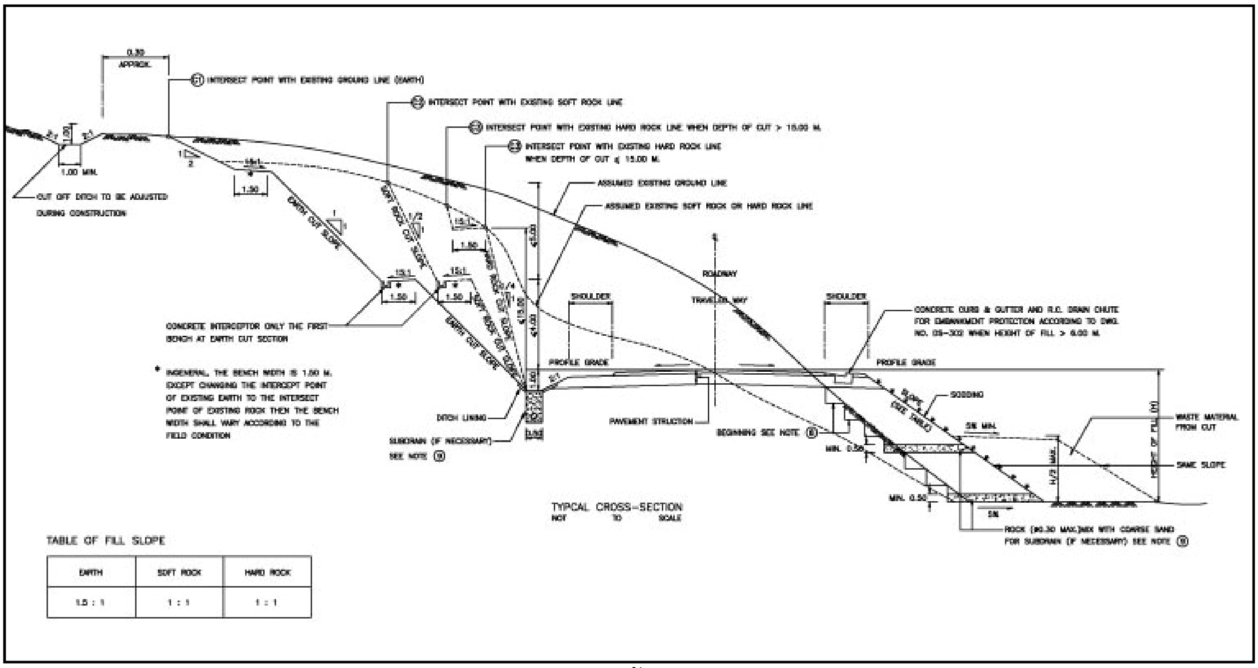
น้ำฝนบนผิวจราจรสำหรับถนนที่อยู่ในช่วงถมสูง หรือถนนที่ก่อสร้างในภูมิประเทศเป็นที่ลาดเชิงเขา นับว่าเป็นน้ำที่มีส่วนสำคัญมากที่จะทำให้เกิดการพังทลายของลาดคันทาง โดยเฉพาะลาดคันทางถมสูง ดังนั้นการจัดการเกี่ยวกับน้ำบนผิวจราจรย่อมเป็นสิ่งสำคัญมาก การออกแบบองค์ประกอบของถนนที่สามารถจัดการกับน้ำบนผิวจราจรได้เป็นอย่างดี ในขณะนี้คือ Curb ดักน้ำ ซึ่ง Curb ดักน้ำ สามารถก่อสร้างได้ด้วยวัสดุไม่กี่ชนิด เช่น Concrete, Asphalt Concrete อีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญที่ผู้ออกแบบต้องตระหนักคือ การรวบรวมน้ำเพื่อระบายออกสู่ผิวจราจรหรือระบายลงสู่ลาดคันทาง และลำรางสาธารณะต่อไป ระบบที่รับน้ำจากผิวจราจร ผู้ออกแบบต้องทำความเข้าใจกับระบบ Drain Chute ด้วยเช่นกัน และจะต้องออกแบบให้ความสำคัญเช่นเดียวกัน หากออกแบบแล้วระบบระบายน้ำส่วนหนึ่งส่วนใดไม่สมบูรณ์ ย่อมส่งผลให้คันทางเกิดความเสียหายได้ในที่สุด

1) งานระบบระบายน้ำในช่วงถมสูง (High Fill)

ในช่วงที่มีการถมดินคันทางสูง น้ำจากผิวจราจรจะก่อเกิดปัญหาการกัดเซาะบนลาดดินถม จึงต้องลดความเร็วของน้ำ และปริมาณที่จะไหลลงข้างทางด้วยการก่อสร้างร่องน้ำบนไหล่ทางหรือยกขอบสูงขึ้น เพื่อดักน้ำจากผิวจราจร และก่อสร้างรางระบายน้ำบนขั้น (Bench) ของงานถม และ Toe Slope

2) หน้าที่ของ Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูง

Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูงทำหน้าที่ดักน้ำ และรวบรวมน้ำบนผิวจราจรปล่อยน้ำระบายลงสู่ระบบระบายน้ำด้านข้าง สู่ Toe Slope อย่างมีระบบต่อไป เช่น ระบบ Drain Chute

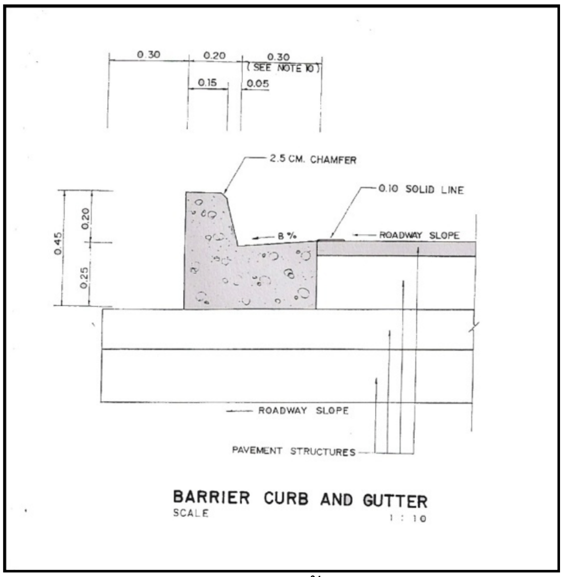



**รูปที่ 2.2-14** แสดงงานระบายน้ำในช่วงตัดลึก-ถมสูง

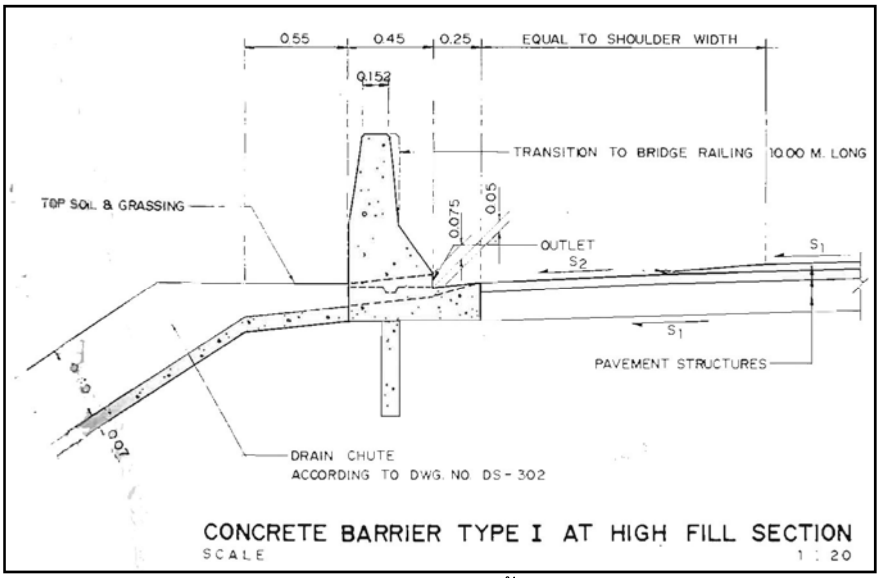
3) ประเภทของ Curb ที่ใช้ดักน้ำ

Curb ดักน้ำที่นิยมใช้มากและพบเห็นในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ

3.1. Curb ดักน้ำที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีต (Concrete) เช่น Concrete Curb & Gutter, Mountable Curb, Concrete Barrier for deep cut and High Fill Section ทั้งสามประเภทมักจะต้องก่อสร้างติดกับรางระบายหรือส่วนนอกของ Curbs คือ Gutter ซึ่งจะช่วยในการระบายน้ำตามยาวได้ดีมากขึ้น

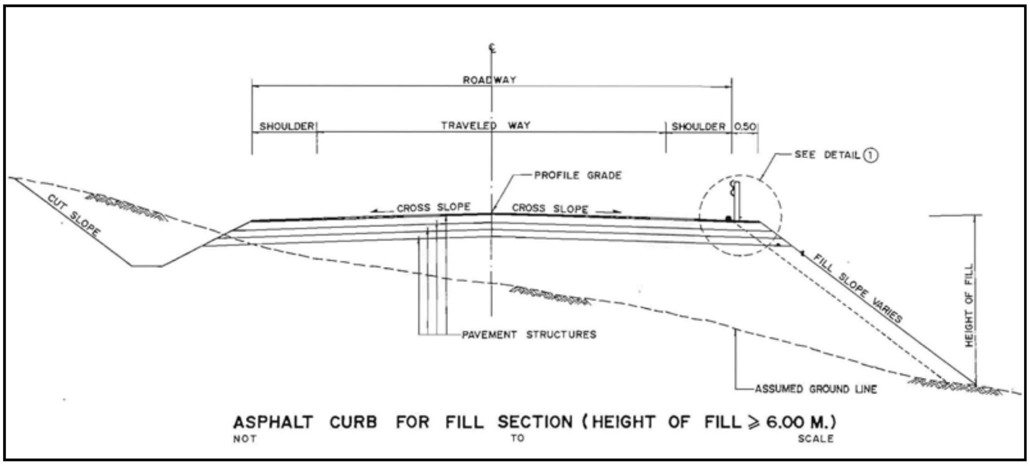



**รูปที่ 2.2-15** แสดง Curb ดักน้ำ ชนิด Concrete Curb & Gutter




**รูปที่ 2.2-16** แสดง Curb ดักน้ำ ชนิด Concrete Barrier

3.2. Curb ดักน้ำ ที่ก่อสร้างด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ซึ่งในปัจจุบันนิยมก่อสร้างน้อยลง เพราะการก่อสร้างเป็นรูปร่างที่เหมาะสมกับการดักน้ำสามารถทำได้ยาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่สามารถก่อสร้างได้สูงมากนัก บางครั้งมีการพังเสียหายเนื่องจากรถทับ และที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือปริมาณน้ำในปัจจุบันมีมากบางช่วงอาจล้น Curb ทำให้เกิดความเสียหายต่อลาดคันทางได้ รวมถึงประสิทธิภาพการระบายน้ำของผิวทาง แบบ Asphaltic Concrete น้อยกว่า Gutter Concrete

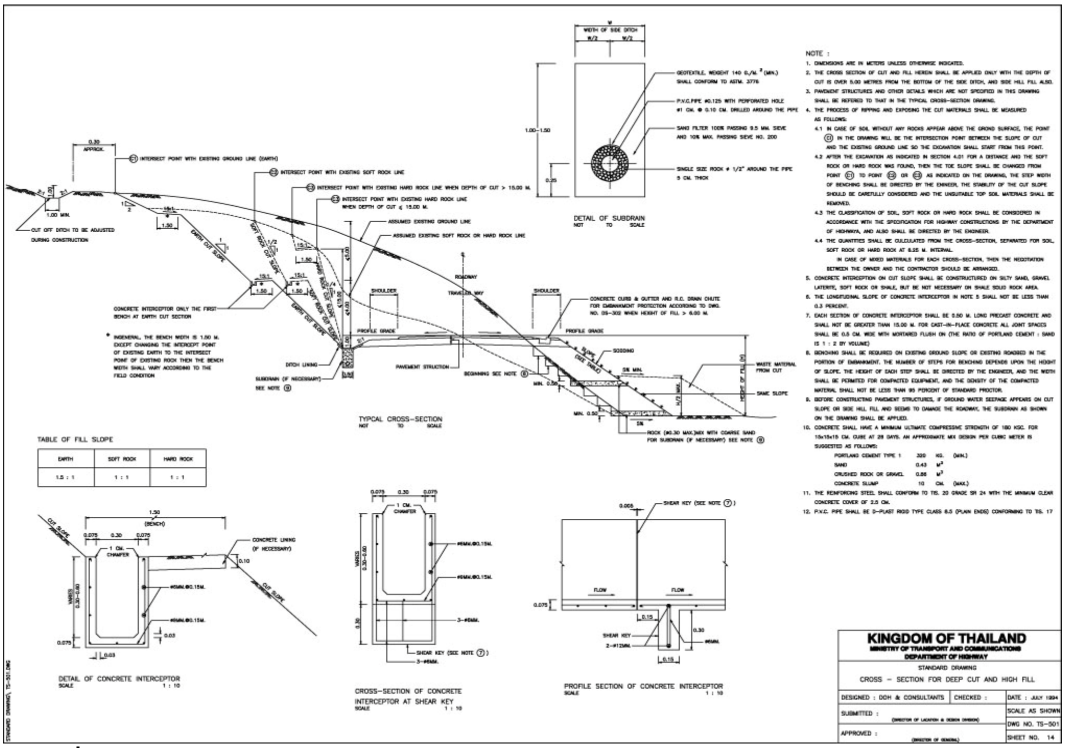



**รูปที่ 2.2-17** แสดง Curb ดักน้ำ ชนิด Curb Asphaltic

4) แบบแนะนำการก่อสร้าง Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูง

ตามแบบแนะนำเดิมมีแนะนำไว้ในมาตรฐาน 2 แบบ คือ

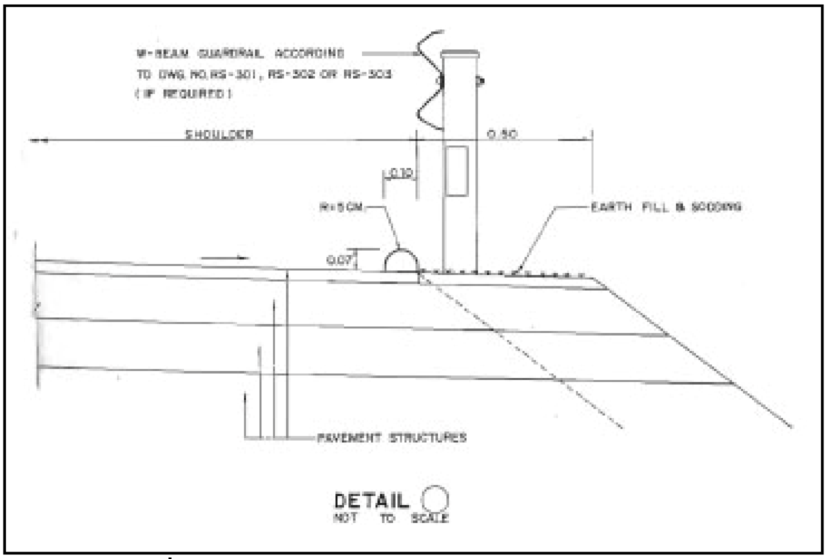
4.1 แบบมาตรฐาน TS-501 Cross section for deep cut and high fill ซึ่งแสดงให้เห็นรูปตัดที่ใช้ Concrete Curb & Gutter เป็นอุปกรณ์ดักน้ำและก่อสร้างบริเวณไหล่ทาง ในแบบระบุให้ใช้เมื่อมีความสูงมากกว่า 6.00 เมตร จากดินเดิม ก่อสร้างพร้อมด้วย R.C. Drain Chute




**รูปที่ 2.2-18** แสดงแบบมาตรฐาน TS-501 : Cross section for deep cut and high fill

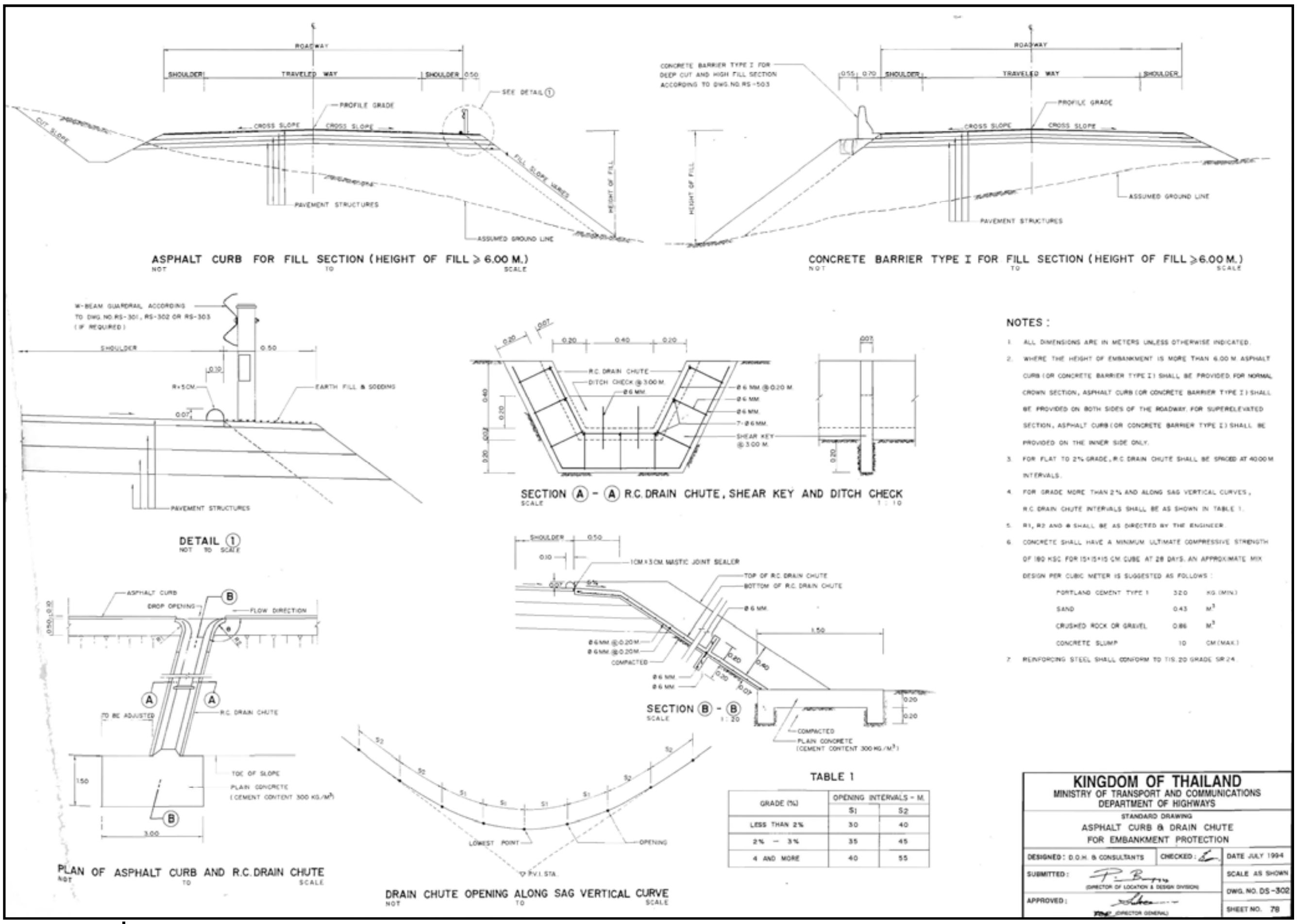
4.2 แบบมาตรฐาน DS-302 Asphalt curb & Drain Chute for Embankment Protection แสดงให้เห็นรูปตัดที่ใช้ Asphalt Curb มีขนาดสูง 7.00 cm. กว้าง 10.00 cm. และปรับเป็นโค้งด้วยรัศมี 5.00 cm. ในแบบแนะนำไว้ 2 รูปแบบ คือ

4.2.1 กรณีก่อสร้าง Asphalt Curb for fill section พร้อมด้วยอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยชนิด Steel Beam Guardrail ที่ความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 6.00 เมตร พร้อมด้วย R.C. Drain Chute ก่อสร้างนอกไหล่ทางเพิ่ม 0.50 เมตร




**รูปที่ 2.2-19** แสดง Asphalt Curb for fill section

4.2.2 กรณีก่อสร้าง Concrete barrier Type I for fill section (Height of fill ≥ 6.00 m.) พร้อมด้วย R.C. Drain Chute ก่อสร้างนอกไหล่ทางรวมระยะทั้งหมด 1.25 เมตร




**รูปที่ 2.2-20** แสดง Asphalt Curb and Concrete barrier Type I for fill section (Height of fill ≥6.00 m.)

5) การระบายน้ำในปัจจุบัน ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในปัจจุบันพบว่าปริมาณน้ำฝนมีมากขึ้น การก่อสร้างระบบระบายน้ำบนถนนช่วงถมสูงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะหากไม่ก่อสร้างให้ระบบต่างๆครบถ้วน หากขาดส่วนหนึ่งส่วนใดจะทำให้ถนนและ Side Slope เกิดความเสียหายได้ง่าย จึงได้ปรับปรุงเสนอหลักเกณฑ์ และการใช้งานเพื่อผู้ออกแบบจะได้เลือกใช้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน

6) หลักเกณฑ์ในการใช้ Curb ดังนี้

Curb ดักน้ำบริเวณไหล่ทางช่วงถมสูง มีหลักเกณฑ์ที่สามารถรวมได้ ตามประเภทดังนี้

**ตารางที่ 2.2-8** หลักเกณฑ์การเลือกชนิดของ Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูง

| **ชนิดของ Curb ดักน้ำ** | **ความสูงคันทางกับดินเดิม (H) (ม.)** | **อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ควบคู่** | **หมายเหตุ** |
|---|---|---|---|
| Asphalt Curb | 1.50≤ H≤2.0 M. | Steel Beam Guardrail | จะต้องตรวจสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสมและความลาดเอียงของ Profile grade ไม่ควรเกิน 6% บางกรณีอาจใช้ U-Ditch ประกอบด้วย |
| Concrete Curb and Gutter | 2.0≤ H≤3.0 M.<br><br>H≥3.0 M. | Steel Beam Guardrail<br><br>Concrete Barrier ดักน้ำแทน | ช่องเปิดจะต้องเปิดให้เหมาะสมปัจจุบันใช้ระยะห่างประมาณ 10-15 ม. และก่อสร้าง U-Ditch รับน้ำประกอบด้วย และระบายสู่ระบบ Drain Chute ต่อไป |
| Concrete Barrier | H≥3.0 M. | | ใช้ในกรณีที่ถมสูง บริเวณหน้าผา, หุบเขา |

7) การเปรียบเทียบ ข้อดี – ข้อเสีย แนวทางแก้ไข

**ตารางที่ 2.2-9** แสดงการเปรียบเทียบ ข้อดี–ข้อเสียของการใช้ Curb บนไหล่ทางช่วงถมสูง

| ข้อดี | ข้อเสีย | แนวทางแก้ไข |
|---|---|---|
| 1. ป้องกันการไหลของน้ำบนลาดเอียงคันทางจากผิวทางกัดเซาะลาดข้างทาง<br>2. ป้องกันให้น้ำไหลไปตามยาวและเปิดให้ไหลลงลาดคันทางเป็นจุด ๆ ตามรางระบายน้ำบนลาดคันทางที่เรียกว่า Drain Chute<br>3. สามารถจัดให้เป็นส่วนหนึ่งของไหล่ทาง และสามารถช่วยไม่ให้รถตกลาดข้างทาง<br>4. กรณีมีปริมาณน้ำมากสามารถ ก่อสร้าง U-Ditch ไว้ด้านหลัง Curb ดักน้ำ ที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาณน้ำและเปิดระบายน้ำลงลาดคันทางเป็นจุดๆ | 1. ก่อสร้างยากบดอัดคันดินลำบาก<br>2. ก่อให้เกิดตกตะกอนค้างปิดช่องระบายน้ำ<br>3. คันดินพังทลายได้ง่าย<br>4. ทำให้ถนนดูแคบลง<br>5. เพิ่มปริมาณงานต้องขยายความกว้างไหล่เพิ่มเติม | 1. บดอัดลาดคันทางและคันดินด้านหลัง Curb ดักน้ำ ในครั้งเดียวกันจะได้ความแข็งเท่ากับโครงสร้างในกรณีก่อสร้างใหม่<br>2. หมั่นทำการตรวจสอบและทำความสะอาด ช่องเปิดจุดระบายน้ำไม่ควรเป็นตะแกรงเหล็ก ควรเปิดช่องเปิดธรรมดา<br>3. ก่อสร้างใหม่แก้ปัญหาตามข้อ 1 กรณีก่อสร้างภายหลังจะต้องควบคุมการบดอัดให้ได้ตามข้อกำหนดแม้จะก่อสร้างยากก็ตาม<br>4. ปรับให้มีไหล่ทางปกติและก่อสร้าง Curb ดักน้ำหลังจากความกว้างไหล่ทางบางพื้นที่ความกว้างไหล่ทางมีน้อยจำเป็นต้องก่อสร้าง Curb ดักน้ำเพราะความเสียหายที่เกิดขึ้นมีมากกว่าการลดไหล่เพียงเล็กน้อย บางแห่งยอมให้ไหล่กว้างได้น้อยสุด 0.50 เมตร |

**8) ตัวอย่างการคำนวณ การไหลบนผิวทาง คำนวณโดยประยุกต์สมการ Manning Formula**

$$Q = \frac{0.376}{n} \times Cr^{1.67} \times S^{0.50} \times T^{2.67}$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของน้ำบนผิวดิน (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

Cr = ความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ความกว้างที่ยอมให้น้ำท่วมขัง (เมตร)

ใช้

| | | |
|---|---|---|
| n | = | 0.018 |
| Cr | = | 2.5% |
| S | = | Vary 1% - 6% |
| T | = | 1 m. ไหล่ทางกว้าง 1.00 m. |
| Q | = | $\frac{0.376}{0.018} \times (0.025)^{1.67} \times (Vary\ 0.01 - 0.06)^{0.50} \times (1)^{2.67}$ |
| Q | = | $0.044 \times (Vary\ 0.01 - 0.06)^{0.50}$ |

**Rational Method**

| | | |
|---|---|---|
| Q | = | $0.278\ CIA \times 10^{-6}$ |
| C | = | 1 |
| I | = | 200 |
| A | = | $\frac{Q}{0.278\ x\ 1\ x\ 200\ x 10^{-6}}$ |
| A | = | $\frac{Q}{0.0000556}$ |

เมื่อ S = 1% ได้ Q = 0.0044 $m^3/s$ : A = 80 $m^2$ ใช้ FS = 3 จะได้ A = 27 $m^2$

เมื่อ S = 2% ได้ Q = 0.0062 $m^3/s$ : A = 112 $m^2$ ใช้ FS = 3 จะได้ A = 38 $m^2$

เมื่อ S = 3% ได้ Q = 0.0076 $m^3/s$ : A = 137 $m^2$ ใช้ FS = 3 จะได้ A = 46 $m^2$

เมื่อ S = 4% ได้ Q = 0.0088 $m^3/s$ : A = 158 $m^2$ ใช้ FS = 3 จะได้ A = 53 $m^2$

เมื่อ S = 5% ได้ Q = 0.0098 $m^3/s$ : A = 176 $m^2$ ใช้ FS = 3 จะได้ A = 59 $m^2$

เมื่อ S = 6% ได้ Q = 0.011 $m^3/s$ : A = 198 $m^2$ ใช้ FS = 3 จะได้ A = 66 $m^2$

**ตารางแสดงระยะของจุดเปิดของ Curb ดักน้ำ**

กรณีไหล่ทางกว้าง 2.50 เมตร

| Grade (%) | Cr (%) | Shoulder (m) | Spacing of Curb Opening (S, m) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 ช่องจราจร (3.5m.) | 2 ช่องจราจร (7.00m.) | 3 ช่องจราจร (10.50m.) |
| 1 | 2.5 | 2.50 | 25 | 16 | 11 |
| 2 | 2.5 | 2.50 | 36 | 23 | 17 |
| 3 | 2.5 | 2.50 | 45 | 28 | 20 |
| 4 | 2.5 | 2.50 | 52 | 33 | 24 |
| 5 | 2.5 | 2.50 | 58 | 37 | 27 |
| 6 | 2.5 | 2.50 | 64 | 40 | 29 |

**ตารางแสดงระยะของจุดเปิดของ Curb ดักน้ำ**

กรณีไหล่ทางกว้าง 1.00 เมตร

| Grade (%) | Cr (%) | Shoulder (m) | Spacing of Curb Opening (S, m) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 ช่องจราจร (3.5m.) | 2 ช่องจราจร (7.00m.) | 3 ช่องจราจร (10.50m.) |
| 1 | 2.5 | 1.00 | 6 | 4 | 2 |
| 2 | 2.5 | 1.00 | 8 | 5 | 3 |
| 3 | 2.5 | 1.00 | 11 | 6 | 4 |
| 4 | 2.5 | 1.00 | 12 | 7 | 5 |
| 5 | 2.5 | 1.00 | 13 | 8 | 6 |
| 6 | 2.5 | 1.00 | 15 | 9 | 7 |

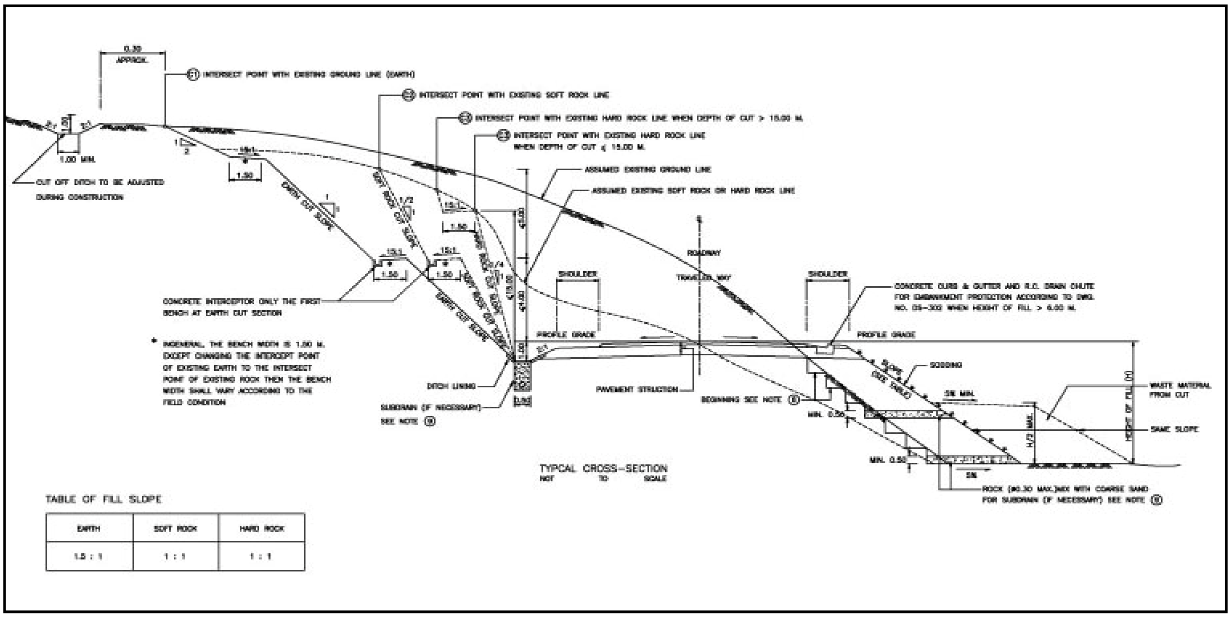
**2.2.1.5 Interceptor บนลาดตัดเขา**

การชะล้าง(Erosion) และการเคลื่อนตัวของเชิงลาดจนเกิดการพังทลาย (Slide) เกิดจากสาเหตุสำคัญ คือ น้ำ ส่วนสภาพของดินเป็นสาเหตุรอง น้ำให้คุณประโยชน์อย่างเอนกอนันต์แก่มนุษย์ แต่ในขณะเดียวกันก็ให้โทษย่างมหันต์หากมนุษย์ไม่รู้จักใช้น้ำไม่ควบคุมน้ำหรือควบคุนน้ำไม่ได้ ปริมาณความเร็วของน้ำเชิงลาด สภาพของดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของเชิงลาด

ถนนของกรมทางหลวงที่ตัดผ่านไปในพื้นที่ที่เป็นภูเขาแต่เดิมเกิดปัญหาเรื่องการชะล้างไม่มากเหมือนกับปัจจุบันนี้ การควบคุมน้ำบริเวณเชิงลาดเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยลดการกัดเซาะบริเวณเชิงลาดนั่นก็คือ Interceptor รางระบายน้ำคอนกรีตแบบท้องเรียบรวบรวมน้ำและระบายสู่ระบบระบายน้ำตามเชิงลาด (Drain chute) สู่ Toe slope ต่อไป

1. งานระบบระบายน้ำช่วงถมสูง หรือ ลาดตัดเขา (Deep Cut & High Fill)

ในช่วงที่มีการถมสูงหรือลาดดินตัดที่มีช่วงชานพัก (Bench) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาดคันทาง หากไม่มีการควบคุมน้ำบริเวณหน้าลาดคันทางจะทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณดังกล่าว หากปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดความรุนแรงมากขึ้นในบริเวณช่วงชานพักจะต้องก่อสร้างทางระบายน้ำ เพื่อทำหน้าที่รวบรวมน้ำในแต่ละช่วงความสูงระบายน้ำลงสู่ระบบระบายน้ำตามลาดคันทางซึ่งระบบระบายน้ำนี้เรียกว่า Interceptor



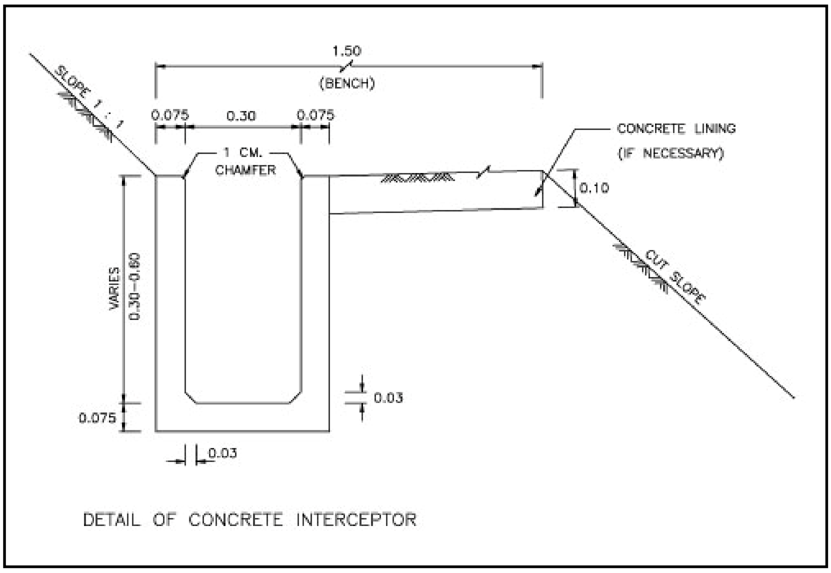

**รูปที่ 2.2-21** แสดง Cross section for deep cut and high fill

2. หน้าที่ของ Interceptor บนลาดตัดเขา

Interceptor มีหน้าที่รับน้ำจากลาดดินตัดหรือลาดดินถม เพื่อรวบรวมน้ำก่อนระบายน้ำลงสู่ระบบระบายน้ำตามลาดคันทางต่อไป

3. ประเภทของ Interceptor

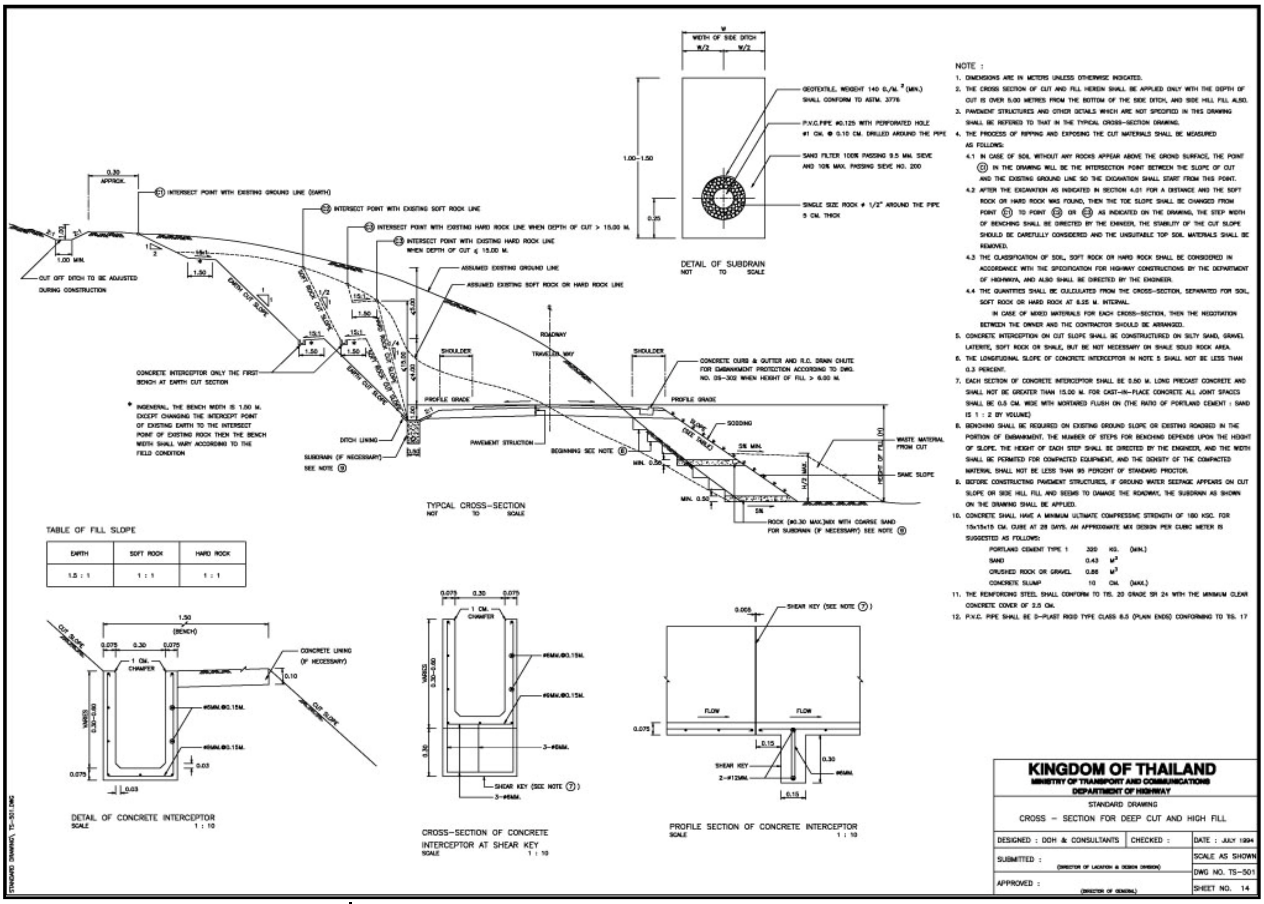
ในปัจจุบันที่นิยมใช้มีเพียงประเภทเดียวคือ Interceptor รูปตัว U




**รูปที่ 2.2-22** แสดง Interceptor รูปตัว U

4. แบบแนะนำการก่อสร้าง Interceptor บนลาดตัดเขา

ตามแบบแนะนำได้กำหนดรูปแบบไว้ในแบบ Cross-Section for deep cut & high fill ซึ่งเป็นรูปตัดที่แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งในแต่ละช่วงงานดินตัด โดยวางชิดกับ Back Slope และมีระยะ Berm ด้านหน้ากว้าง 1.50 เมตร slope เอียงเข้าหา Interceptor 15 : 1 ความสูงในแต่ละ Berm ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุบริเวณ Back Slope ขนาดของ Interceptor ที่แนะนำไว้ คือ กว้าง 30 เซนติเมตร ความหนา 7.50 เซนติเมตร ความลึกมีขนาดระหว่าง 30-60 เซนติเมตร และมี Shear key ขนาด 15 x 30 เซนติเมตร



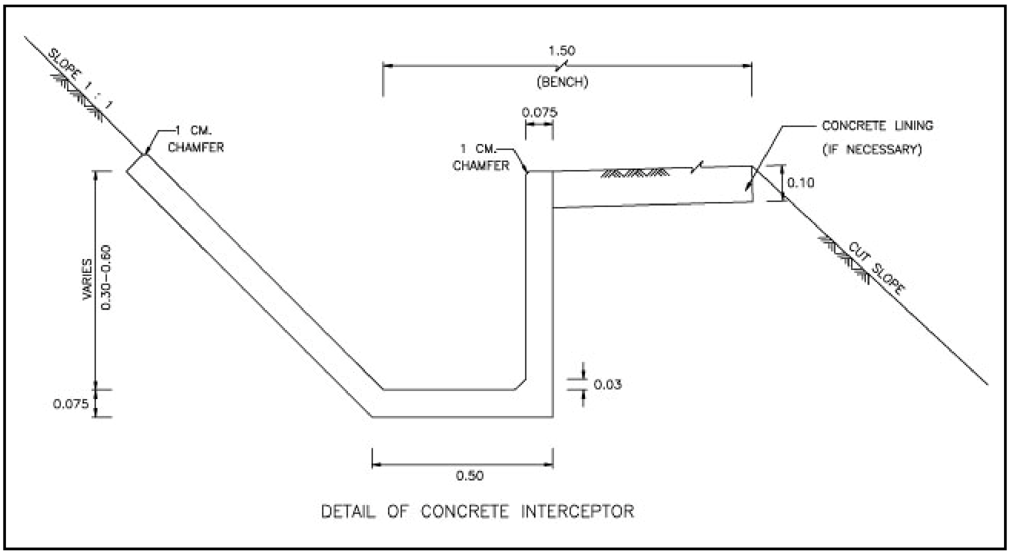

**รูปที่ 2.2-23** แสดงแบบแนะนำการก่อสร้าง Interceptor

สำหรับ Cross-Section for deep cut & high fill

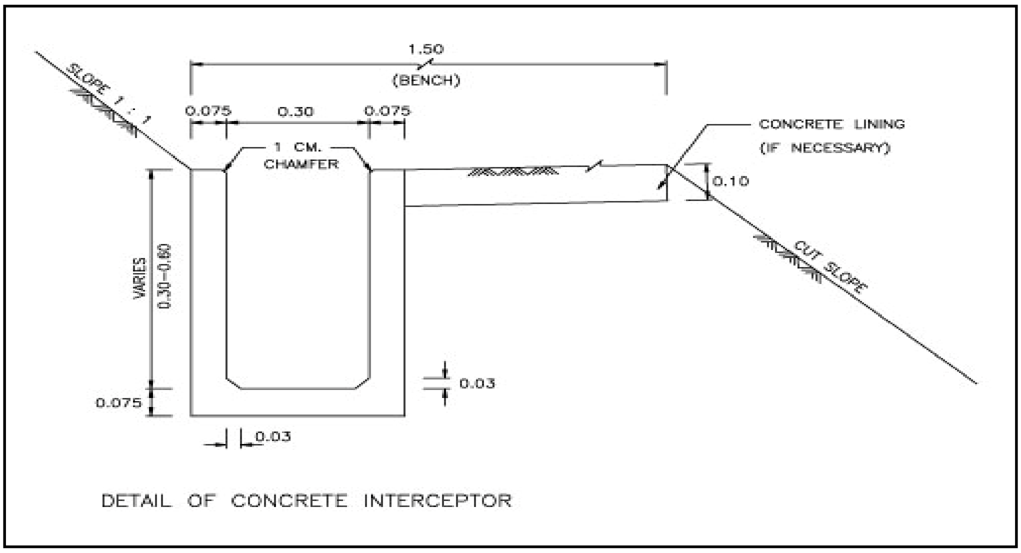
5. การระบายน้ำในปัจจุบันและข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันปริมาณน้ำฝนมีมากขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่องานก่อสร้างถนนเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะถนนที่เป็นช่วงถมสูงหรือบริเวณที่ต้องมีการตัดดินเพื่อให้ได้ Back Slope ตามที่ออกแบบไว้ หากบริเวณใดไม่ได้ก่อสร้างให้ระบบต่างๆครบถ้วน เช่น ระบบระบายน้ำ หากขาดส่วนหนึ่งส่วนใดจะทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย และการก่อสร้างให้กลับสู่สภาพเดิมย่อมใช้งบประมาณเพิ่มมากขึ้น Interceptor ในปัจจุบันพบว่าบางแห่งถูกน้ำกัดเซาะบริเวณใต้ Interceptor และพังเสียหายเป็นจำนวน

มาก จึงได้แนะนำรูปแบบของ Interceptor จากเดิมเป็นรูปตัว U และรูปตัว V โดยปรับเอียงตาม slope




**รูปที่ 2.2-24** แสดงแบบแนะนำ Interceptor รูปตัว V




**รูปที่ 2.2-25** แสดง Interceptor รูปตัว U (แบบเดิม)

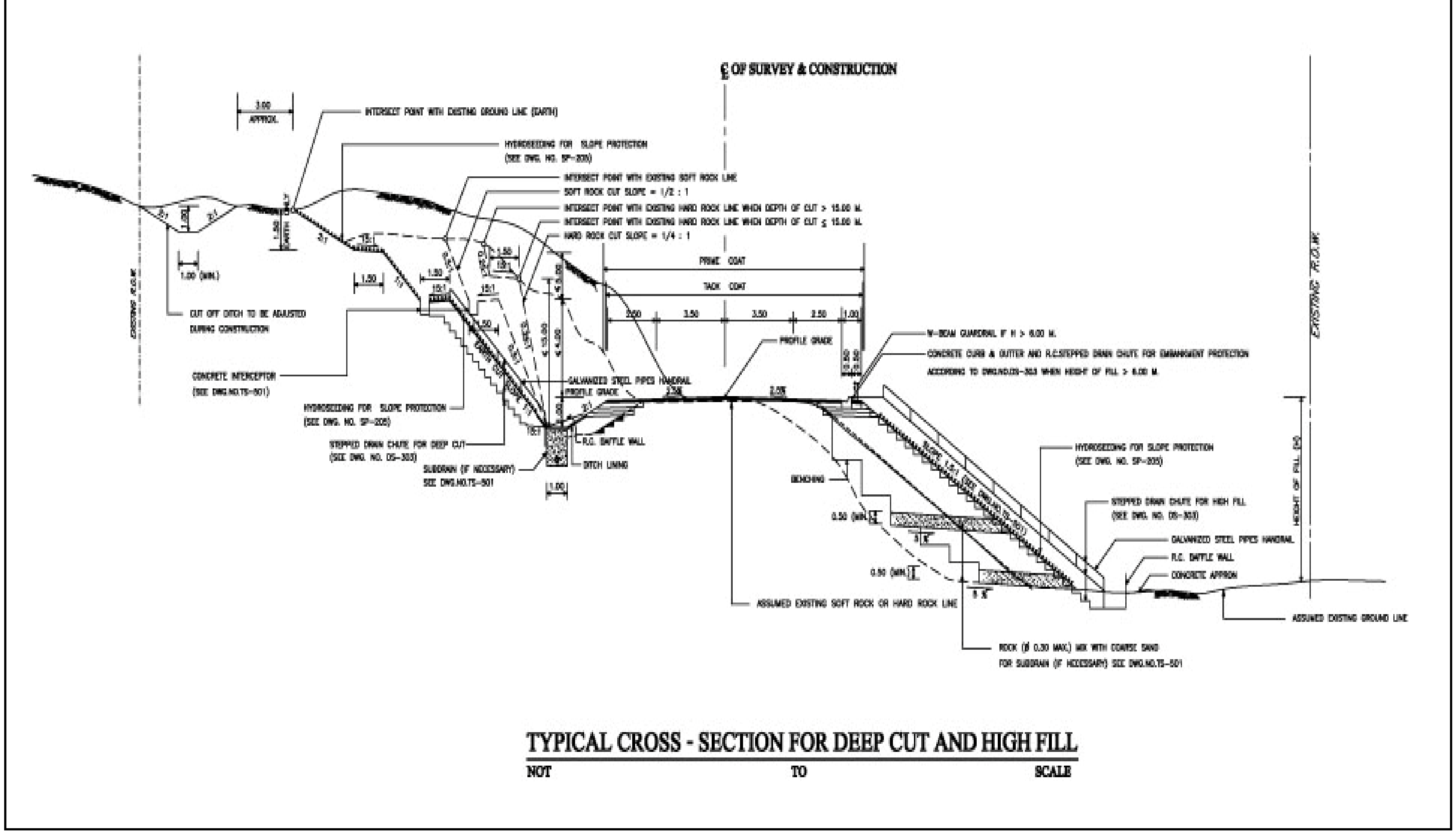
**Interceptor บนลาดตัดเขา**

6. หลักเกณฑ์ในการเลือกชนิดของ Interceptor บนลาดตัดเขาและช่วงถมสูง

Interceptor บนลาดตัดเขาและช่วงถมสูง มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกใช้ดังนี้

**ตารางที่ 2.2-10** หลักเกณฑ์การเลือกชนิดของ Interceptor บนลาดตัดเขาและช่วงถมสูง

| **ลักษณะงาน** | **ความสูงคันทางกับดินเดิมที่ต้องก่อสร้างอย่างน้อย (ม.)** | **ระบบระบายน้ำอื่นที่ใช้ร่วม** | **หมายเหตุ** |
|---|---|---|---|
| ลาดตัดคันทาง<br><br>ลาดดินถม | 9<br><br>≥ 9 | - Cut of Ditch<br>- Stepped Drain Chute | - Cut of Ditch จะต้องตรวจสอบความสูงและสภาพยอดเนิน พร้อมจุดระบายน้ำ หากความสูงสูงกว่าที่แนะนำควรเพิ่มชั้นในการตัด Back Slope<br>- ก่อสร้าง Interceptor ตัวแรกมีความสูงจากระดับก่อสร้าง 5.00 เมตร<br>- Interceptor Ditch หรือ U-Ditch สามารถก่อสร้างบริเวณบนไหล่ทางได้ ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับ Curb ดักน้ำและอุปกรณ์ป้องกันอันตราย เช่น Guardrail หรือ Concrete Barrier ตามสภาพพื้นที่ |

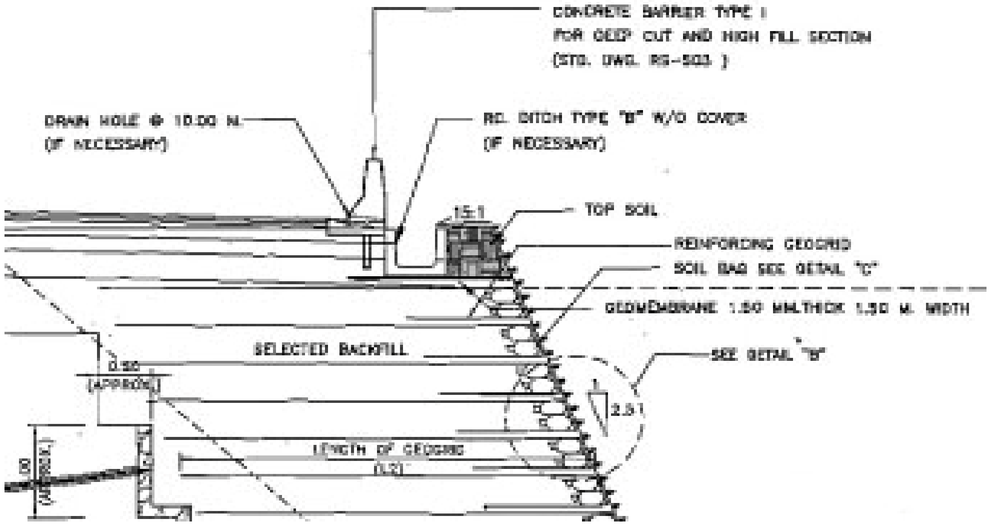



**รูปที่ 2.2-26** แสดงการก่อสร้าง Interceptor บนลาดดินตัดและ Stepped Drain Chute

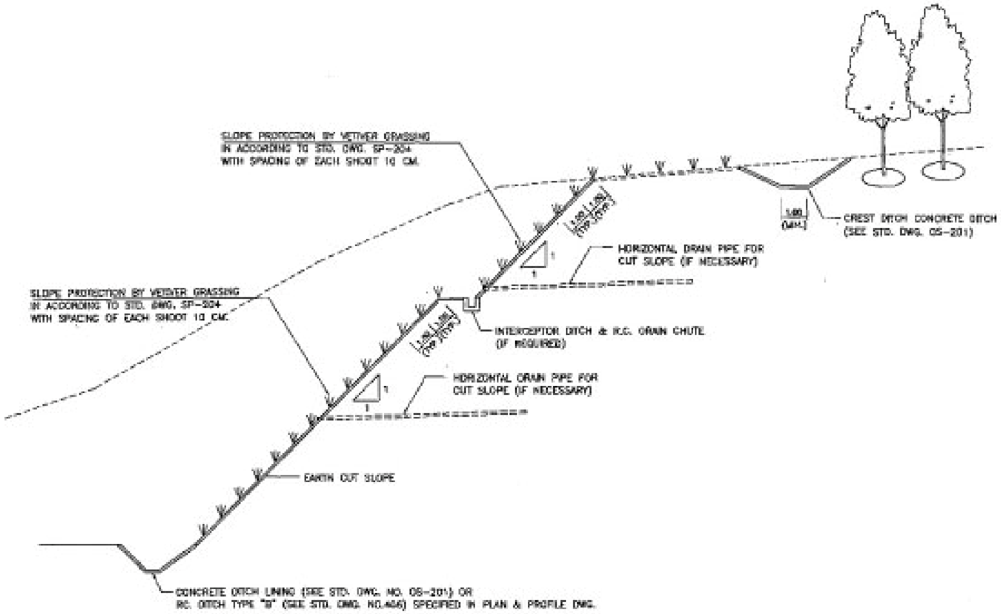
7. การเปรียบเทียบ ข้อดี – ปัญหา แนวทางแก้ไข

ในการก่อสร้าง Interceptor Ditch บนลาดดินตัดหรือดินถม จากการก่อสร้างที่ผ่านมาพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนมากเกิดจาก การกัดเซาะบริเวณกันราง Interceptor ทำให้เกิดความเสียหายและการพังทลายของลาดดินตัดหรือดินถมตามมาในภายหลัง ดังนั้น ผู้ออกแบบและก่อสร้างจะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

**ตารางที่ 2.2-11** แสดงการเปรียบเทียบ ข้อดี–ข้อเสียของการใช้ Interceptor Ditch บนลาดดินตัดหรือดินถม

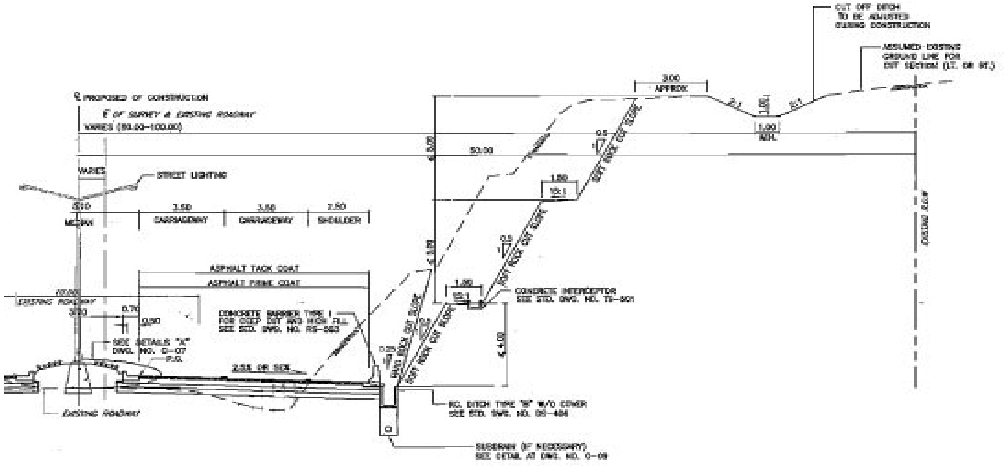
| ข้อดี | ปัญหา | แนวทางแก้ไข |
|---|---|---|
| 1. การก่อสร้าง Interceptor Ditch บนไหล่ทางจะช่วยรับน้ำที่จะไหลตามยาว แล้วเปิดรางระบายน้ำให้ลงสู่ระบบระบายน้ำตามยาวลาดคันทาง (Stepped Drain Cute) เป็นระยะ<br><br> | 1. ทำให้ช่องจราจรแคบลง รถอาจตกรางระบายน้ำได้ เพิ่มปริมาณงานเพราะต้องขยายถนนกว้างขึ้น | 1. ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันรถตก เช่น Concrete Barrier หรือ Steel Beam Guardrail และเตือนด้วย Rumble Strip บริเวณไหล่ทาง ประกอบด้วย โดยเฉพาะเวลากลางคืน |

<table>
<tr><th>ข้อดี</th><th>ปัญหา</th><th>แนวทางแก้ไข</th></tr>
<tr><td>2. ลดความเร็วของน้ำที่ไหลลงมาจากลาดเอียงทำให้เกิดการกัดเซาะน้อยลง ซึ่งเป็นการรวบรวมน้ำและระบายน้ำลงสู่รางระบายน้ำบนลาดคันทาง (Stepped Drain Cute) ช่วยดักตะกอนเสริมความมั่นคงแข็งแรงของลาดดินตัดหรือลาดดินถม



</td><td>2.1 อาจทำให้เกิดการหลุดออกของดินถ้าน้ำซึมทะลุผ่านลงไป เช่น ดินปนทราย<br>2.2 ใช้พื้นที่ (เขตทาง) กว้างมากขึ้น เพื่อให้เสถียรภาพของคันทางมั่นคงมากขึ้น<br>2.3 เพิ่มปริมาณงานดินตัด<br>2.4 ต้องมีการบำรุงรักษาให้มีสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา<br>2.5 ชำรุดเสียหายง่ายหากดินถูกกัดเซาะมาก โดยเฉพาะบริเวณข้างราง ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการตั้งแบบหล่อ Interceptor Ditch และไม่สามารถบดอัดดินให้แน่นได้หลังจากถอดแบบ</td><td>2.1 ปรับรูปแบบ Interceptor Ditch เป็นแบบคางหมู โดยด้านที่ติดกับ Slope ปรับเอียงตาม Slope หากมีการกัดเซาะรุนแรงสามารถใช้ Concrete Protection เพิ่มเติมได้และปลูกพืชคลุมดินช่วย<br>2.2 ผู้ออกแบบหากวิเคราะห์แล้ว จำเป็นต้องใช้เขตทางกว้างขึ้นก็ต้องดำเนินการตามขั้นตอน เพราะหากก่อสร้างระบบระบายน้ำไม่สมบูรณ์ก็จะเกิดปัญหาความเสียหายมากขึ้น<br>2.3 เพื่อเสถียรภาพของลาดคันทางที่มั่นคง แข็งแรง จะต้องให้ความสำคัญ</td></tr>
</table>

| ข้อดี | ปัญหา | แนวทางแก้ไข |
|---|---|---|
| | | 2.4 ควรบำรุงรักษาให้ระบบระบายน้ำบนลาดคันทางให้มีสภาพสมบูรณ์มั่นคงแข็งแรงตลอดเวลา หากปล่อยให้เกิดความเสียหาย ย่อมเสียงบประมาณมากยิ่งขึ้นหลายเท่าตัว<br><br>2.5 ปรับรูปร่างของ Interceptor ให้เหมาะกับ Back Slope หรือใช้ระบบหล่อสำเร็จรูป ที่ไม่ต้องตั้งแบบหล่อแต่ต้องยาแนวรอยต่อให้ดี |

<table>
<tr><th>ข้อดี</th><th>ปัญหา</th><th>แนวทางแก้ไข</th></tr>
<tr><td>3. การขุดร่องน้ำส่วนบนสุดของลาดดินตัด (Cut of Ditch) ช่วยดักน้ำที่ไหลจากยอดเนินลงมายังลาดดินตัด และช่วยลดการกัดเซาะส่วนบนของงานตัด Back Slope<br>
</td><td>3.1 ก่อสร้างยากลำบากในบางพื้นที่และต้องระบายน้ำลงสู่ระบบระบายน้ำของถนนหรือลำรางสาธารณะ<br>3.2 การบำรุงรักษาอาจทำได้ยาก<br>3.3 ใช้พื้นที่เขตทางมากขึ้น</td><td>3.1 ต้องให้ความสำคัญและตระหนักถึงผลกระทบที่เกิดตามมาภายหลังหากไม่ก่อสร้างหรือให้ค่างานที่เหมาะสมมากขึ้น<br>3.2 หากทำได้สมบูรณ์ตั้งแต่ต้นสามารถบำรุงรักษาได้ง่าย<br>3.3 ต้องยอมลงทุนเพื่อให้เกิดความมั่นคงของลาดคันทาง</td></tr>
</table>

**ตัวอย่างการคำนวณ การหาระยะการสร้าง Stepped Drain chute บน Back Slope**

1.หาปริมาณความจุ (Q) ของ Concrete Interceptor

จากสมการของ Manning Formula

Q = $\frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$

n = 0.014 (ผิวคอนกรีตหยาบ)

A = 0.30 x 0.30 = 0.09 $m^2$

(ขนาดของ Interceptor-min 0.30 x 0.30 )

R = $\frac{A}{P}$ = $\frac{0.30 \, x \, 0.30}{(0.30+0.30+0.30)}$ = 0.10

S = Varies 1-6%

Q = $\frac{1}{0.014} x \; 0.09 \; x 0.10^{\frac{2}{3}} x \; S^{\frac{1}{2}}$

2. ระยะห่างของ Stepped Drain chute

จากสมการ Rational Formula

Q = 0.278 CIA x $10^{-6}$

C = 0.90

I = 200

A = $\frac{Q}{0.278 \, x \, 0.90 \, x \, 200 \, x 10^{-6}}$ = $\frac{Q}{5.004^{-5}}$

ระยะช่วงรับน้ำ = 10 ม.

ดังนั้น

S = 1% จะได้ Q = 0.13 $m^3/s$ ได้ A = 2,597 $m^2/s$ ใช้ F.S. =3 จะได้ S = 86 m.

S = 2% จะได้ Q = 0.18 $m^3/s$ ได้ A = 2,997 $m^2/s$ ใช้ F.S. =3 จะได้ S = 100 m.

S = 3% จะได้ Q = 0.22 $m^3/s$ ได้ A = 4,396 $m^2/s$ ใช้ F.S. =3 จะได้ S = 146 m.

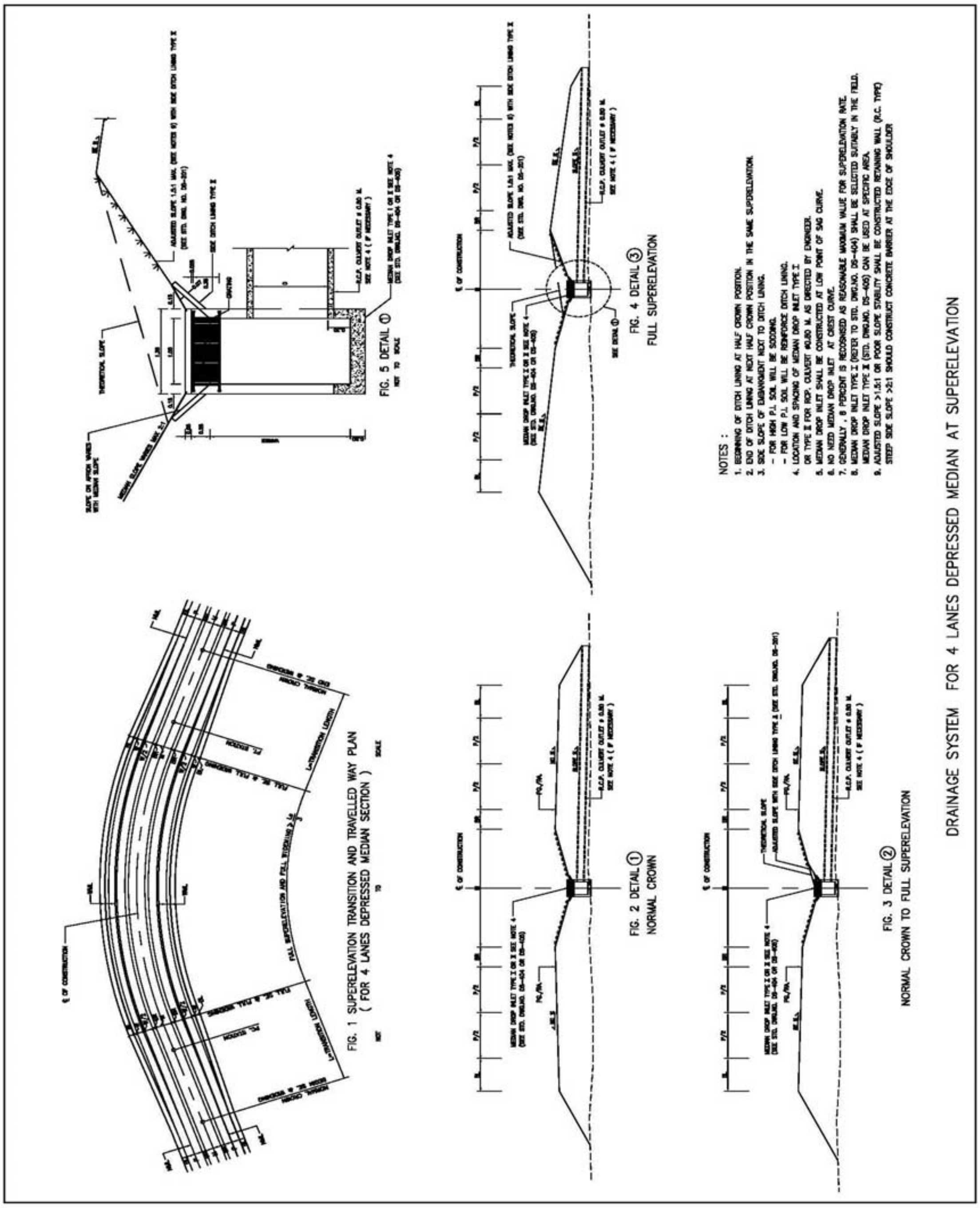
S = 4% จะได้ Q = 0.26 $m^3/s$ ได้ A = 5,195 $m^2/s$ ใช้ F.S. =3 จะได้ S = 173 m.

S = 5% จะได้ Q = 0.29 $m^3/s$ ได้ A = 5,795 $m^2/s$ ใช้ F.S. =3 จะได้ S = 193 m.

S = 6% จะได้ Q = 0.31 $m^3/s$ ได้ A = 6,195 $m^2/s$ ใช้ F.S. =3 จะได้ S = 206 m.

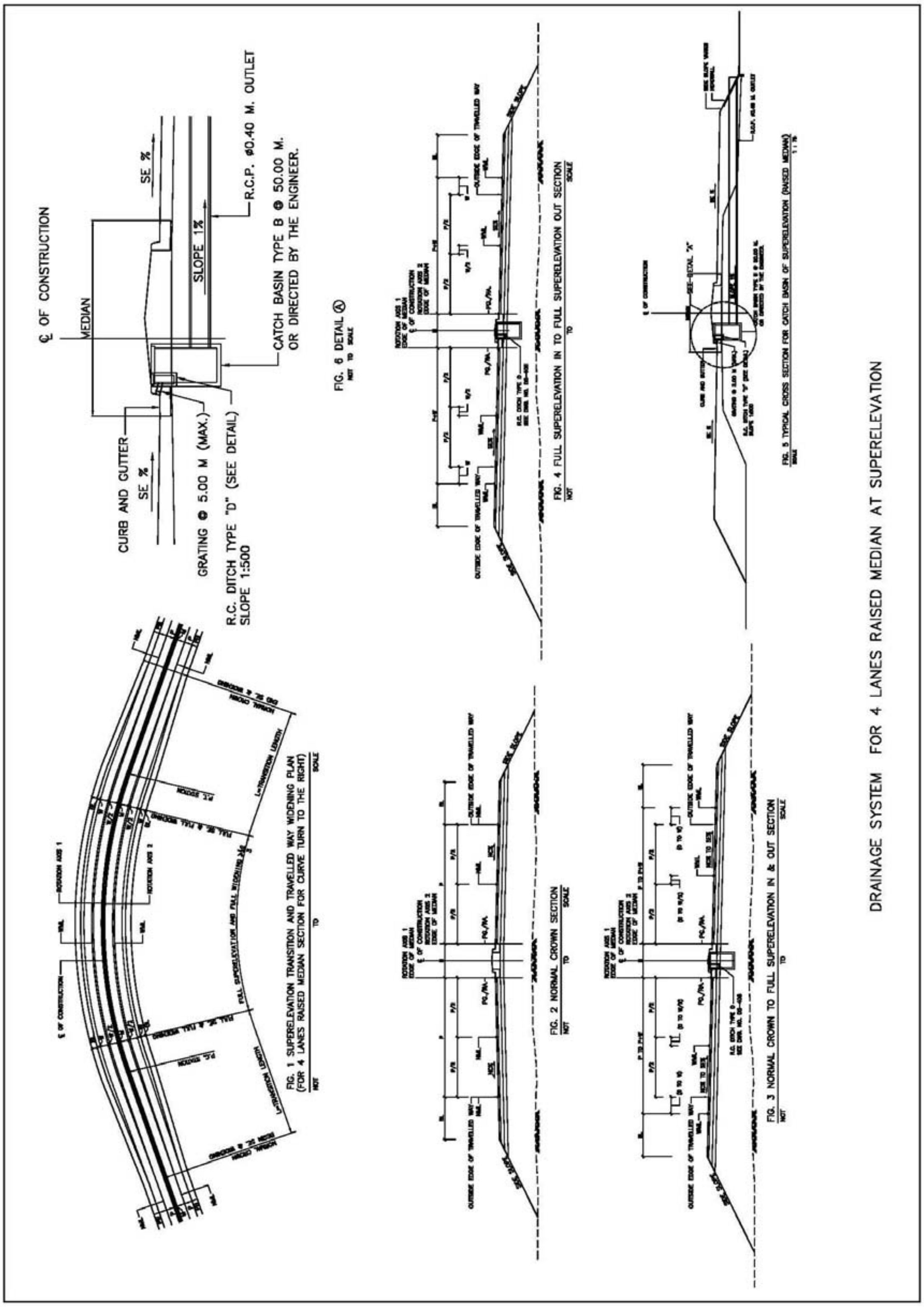
### 2.2.1.6 ระบบระบายน้ำในเกาะกลางลักษณะต่างๆ

ระบบระบายน้ำในเกาะกลางสำหรับทางหลวง 4 ช่องจราจร มีด้วยกัน 3 แบบ คือ 1) ระบบระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด ร่องกดลึก (Depressed Median)

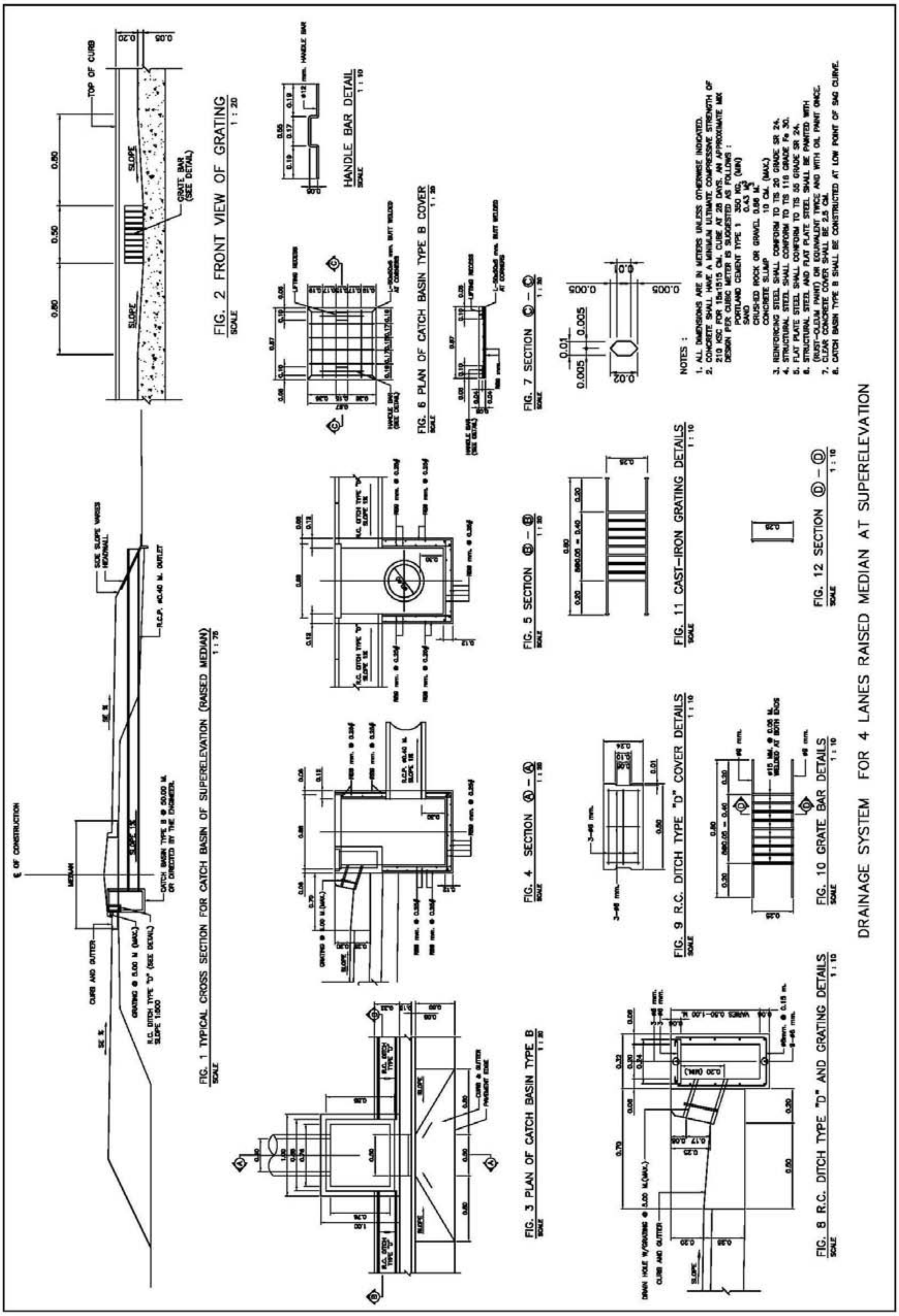


**รูปที่ 2.2-27** แสดงระบบระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด ร่องกดลึก (Depressed Median)

2) ระบบระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด ถมดินยกสูง (Raised Median)

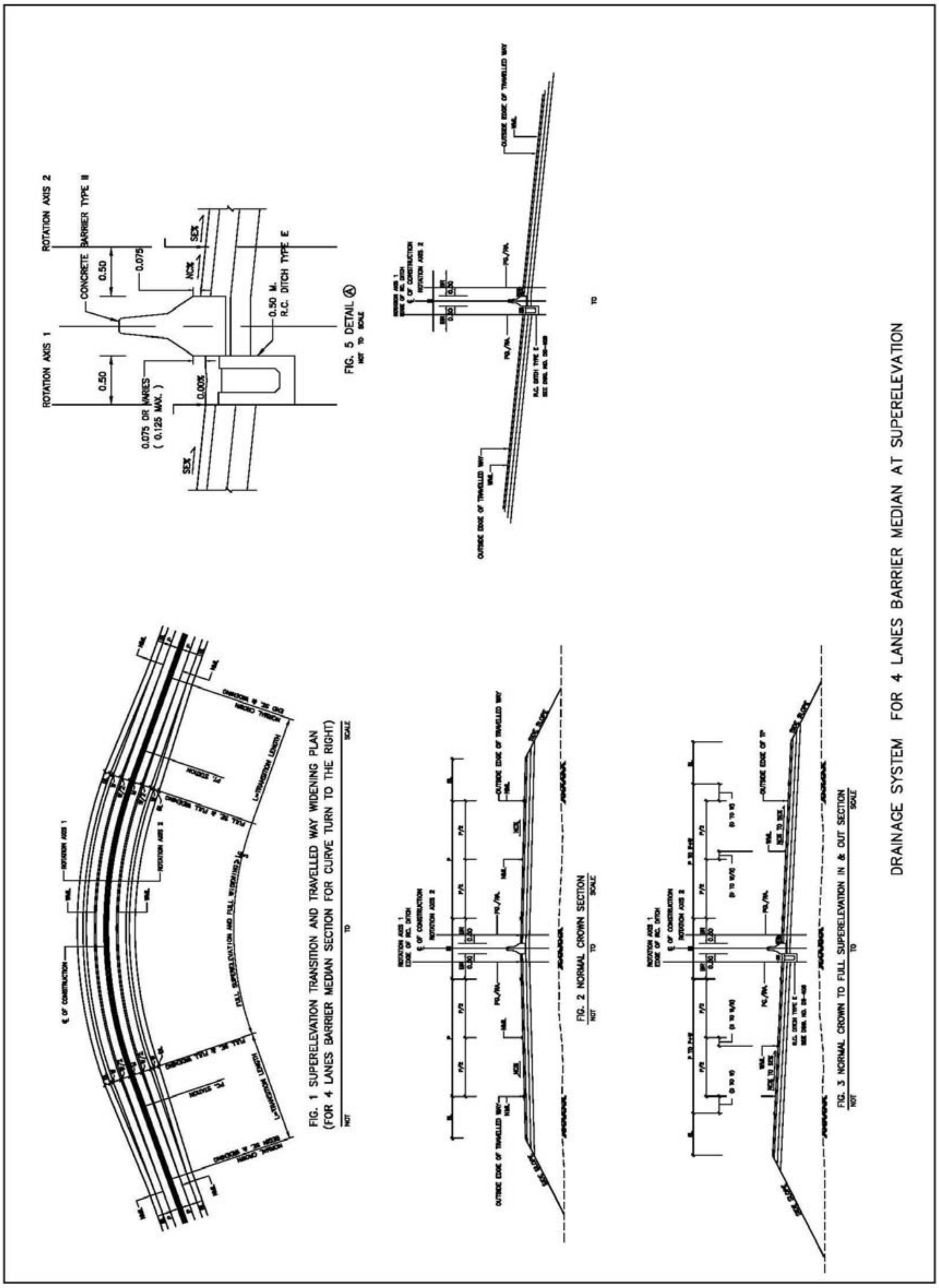



**รูปที่ 2.2-28** แสดงระบบระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด ถมดินยกสูง (Raised Median)

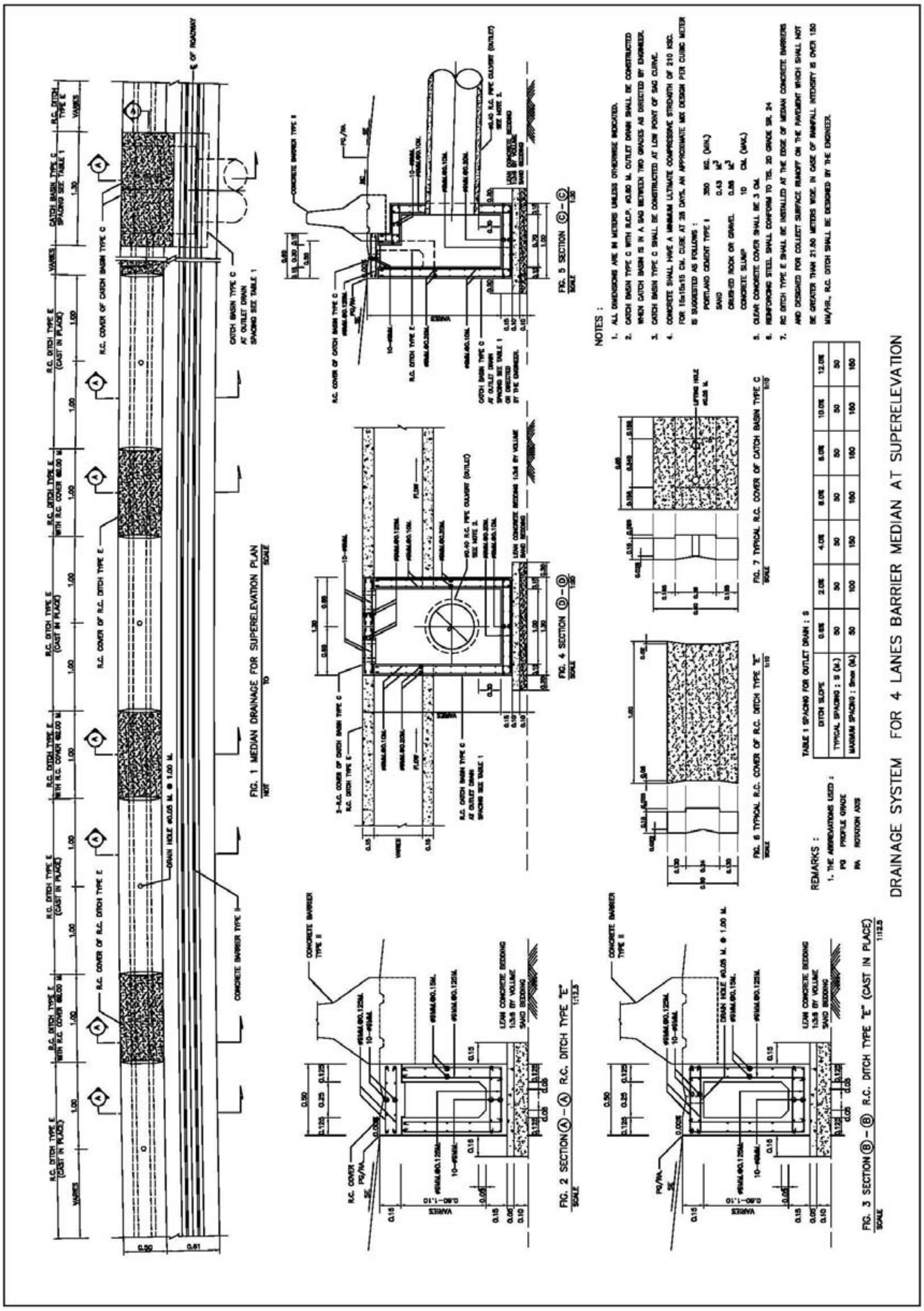



**รูปที่ 2.2-29** แสดงรายละเอียดการระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด ถมดินยกสูง (Raised Median)

3) ระบบระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด กำแพงคอนกรีต ( Median Barrier)




**รูปที่ 2.2-30** แสดงระบบระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด กำแพงคอนกรีต ( Median Barrier)




**รูปที่ 2.2-31** แสดงรายละเอียดการระบายน้ำบริเวณเกาะกลางชนิด กำแพงคอนกรีต (Median Barrier)

## 2.2.2 การออกแบบระบบระบายน้ำตามขวาง (CROSS DRAIN)

ระบบระบายน้ำตามขวางในงานทางออกแบบไว้เพื่อระบายน้ำจากพื้นที่รับน้ำฝนทางด้านเหนือน้ำที่ไหลผ่านแนวทาง เพื่อให้ปริมาณน้ำช่วงนี้สามารถไหลผ่านคันทางไปได้ โดยไม่ทำให้เกิดน้ำเอ่อท่วมคันทางและพื้นที่ด้านเหนือน้ำ โดยที่การไหลผ่านของน้ำดังกล่าวอาจอยู่ในรูปแบบของลำน้ำตามธรรมชาติ เช่น ลำห้วย ลำคลอง และแม่น้ำ หรือการไหลผ่านในลักษณะที่เป็นน้ำหลากทุ่ง นอกจากนั้นยังรวมถึงคลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำของกรมชลประทานและหน่วยงานอื่น ๆ

จึงจำเป็นต้องออกแบบอาคารระบายน้ำให้มีรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้มีช่องเปิดเพียงพอต่อการระบายน้ำดังกล่าวโดยไม่กระทบต่อฟังก์ชันการใช้งานของลำน้ำ

**หน้าที่ของอาคารระบายน้ำ**

1. ส่วนบน - ต้องรับการจราจรได้
2. ส่วนล่าง - ต้องระบายน้ำได้ดี พอเพียง ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อคันทาง และพื้นที่เหนือน้ำและท้ายน้ำ
   - ต้องไม่กีดขวางการจราจรทางน้ำและการใช้งานของลำน้ำ
   - ไม่กระทบกระเทือนการใช้น้ำของประชาชน

### 2.2.2.1 ทฤษฎีและข้อกำหนดสำหรับระบบระบายน้ำตามขวาง

**1.) การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ**

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำที่ไหลผ่านคันทางในรอบปีที่กำหนด มีวิธีการคำนวณหลายวิธีดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.1.1.4 การที่จะเลือกใช้วิธีใด ผู้ใช้ต้องมีวิจารณญาณและความเข้าใจทางด้านอุทกวิทยา และข้อมูลจำเพาะของพื้นที่รับน้ำ มีความสำคัญต่อ การเลือกวิธีคำนวณที่เหมาะสม เกณฑ์ทั่วไปในการเลือกวิธีคำนวณอัตราการไหลสูงสุดตามขนาดพื้นที่รับน้ำ กำหนดดังนี้

**ตารางที่ 2.2-12** เกณฑ์ในการเลือกวิธีคำนวณอัตราการไหลสูงสุดตามขนาดพื้นที่รับน้ำ

| ขนาดพื้นที่รับน้ำฝนA (กม.) | วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด |
|---|---|
| A ≤ 25 | Rational Formula |
| 25< A < 1,000 | - กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)<br>- Snyder (Synthetic Unit Hydrograph)<br>- ผลการศึกษาความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย (Regional Flood Frequeney studies of River Basin in Thailand) |
| A> 1,000 | ผลการศึกษาความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย |

ผลการคำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากวิธีการคำนวณดังกล่าวข้างต้น จะต้องนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสำรวจระดับน้ำสูงสุด , อัตราการไหลสูงสุดจากเครื่องวัดที่อยู่ใกล้เคียง หรือข้อมูลประวัติน้ำท่วมอื่นๆที่เกิดขึ้น เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ก่อนพิจารณาเลือกใช้ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่จะใช้ในการออกแบบช่องเปิดของอาคารระบายน้ำต่อไป

นอกจากนั้นกรณีพื้นที่รับน้ำฝนอยู่ในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีการพัฒนา การกำหนดขอบเขตของพื้นที่รับน้ำฝนทำได้ยาก จำเป็นต้องสำรวจข้อมูล การใช้พื้นที่และระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิม เพื่อวางแผนการระบายน้ำผ่านทางหลวงและออกแบบอาคารระบายน้ำที่เหมาะสมต่อไป

**2.) เกณฑ์กำหนดรอบการเกิดซ้ำของฝน (Return Period)**

การกำหนดรอบการเกิดซ้ำของฝนที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำในงานทางโดยทั่วไปพิจารณาจาก ระดับความสำคัญของชั้นทาง, ปริมาณการจราจร ความเสี่ยงต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ได้แก่ การเสียชีวิต ความเสียหายต่อทรัพย์สิน อุปสรรคต่อการจราจร นอกจากนั้นจะต้องพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์ การลงทุนและบำรุงรักษาอาคารระบายน้ำควบคู่กันไป การกำหนดรอบการเกิดซ้ำของฝนที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ ในงานทางในต่างประเทศ เช่น อเมริกา และออสเตรเลีย ก็พิจารณาจากหลักเกณฑ์ดังกล่าวเช่นกัน

**ตารางที่ 2.2-13** เกณฑ์ในการกำหนดคาบการเกิดซ้ำของฝน

| FACILITY | FREQUENCY |
|---|---|
| Mainline Interstate | 50 years |
| High Use or Essential :<br>Projected 20 year ADT > 1500 , or required for<br>Emergency access or evacuation | 50 years |
| Other:<br>Projected 20 year ADT < 1500 , and not<br>Required for<br>Emergency access or evacuation | 25 years |
| Temporary Detours : Interstate and High<br>Use/Essential | 10 years |
| Temporary Detours : Other | 5 years |
| Roadside Ditch Culverts | 10 years |

**ที่มา** Design Manual, Department of Transportation, USA

สำหรับงานของกรมทางหลวงซึ่งระดับความสำคัญของสายทางถือว่าอยู่ในระดับสูงหรืออยู่ในชั้นทางที่เป็น Highway ขึ้นไปเกือบทั้งหมด มีปริมาณการจราจรสูง และเป็นเส้นทางหลักที่ต้องใช้ได้ตลอดปี ทุกฤดูกาล ความเสียหายจากการตัดขาดของการจราจรเนื่องจากน้ำท่วม อยู่ในระดับสูง ดังนั้นจึงกำหนดรอบการเกิดซ้ำของฝนที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทางดังนี้

- ระบบระบายน้ำตามขวาง 50 ปี สำหรับทางหลวงทั่วไป
  75 ปี สำหรับ Motorway
- ระบบระบายน้ำตามยาวหรือ Roadside Drain 10 ปี

ทั้งนี้การกำหนดรอบการเกิดซ้ำของฝนที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทางผู้ออกแบบควรพิจารณารอบการเกิดซ้ำของฝนให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศและข้อมูล ต่างๆ เช่น การออกแบบท่อกลม สำหรับระบายน้ำตามขวาง ในบริเวณพื้นที่ราบ ไม่มีประวัติน้ำท่วม ผู้ออกแบบอาจเลือกรอบการเกิดซ้ำของฝนที่น้อยกว่าที่กำหนด 50 ปี คือใช้ที่ 25 ปี มาใช้ในการคำนวณเพื่อความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ เป็นต้น

**3.) ช่องเปิด (Opening Area)**

ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ ขั้นตอนหลังจากได้ค่าอัตราการไหลสูงสุด จากการคำนวณตามวิธีการที่กล่าวแล้ว คือการออกแบบช่องเปิดให้เพียงพอต่อการระบายน้ำในอัตราการไหลสูงสุด โดยไม่ทำให้เกิดน้ำท่วม และกรณีที่เป็นสะพานจำเป็นต้องมีช่องลอดที่เหมาะสม ตามเงื่อนไขการใช้ประโยชน์ของลำน้ำ ช่องเปิดที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$A_D = F.S. \times Q_p/V$$

เมื่อ $A_D$ = พื้นที่ช่องเปิดที่ใช้ในการออกแบบ (Design Opening Area)

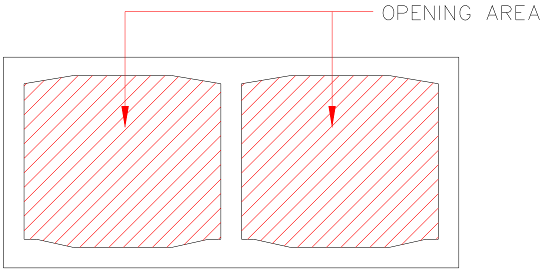
$Q_p$ = อัตราการไหลสุงสุดของน้ำที่ต้องการระบาย (คำนวณตามวิธีในหัวข้อ 2.1.1.4)

$V$ = ความเร็วของน้ำที่ใช้ในการออกแบบ (คำนวณตามวิธีในหัวข้อ 2.1.1.5)

F.S. = สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย (Factor of Satety) ในกรณีที่เป็นเส้นทางสายใหม่ ควรมี F.S. ไม่ต่ำกว่า 1.5

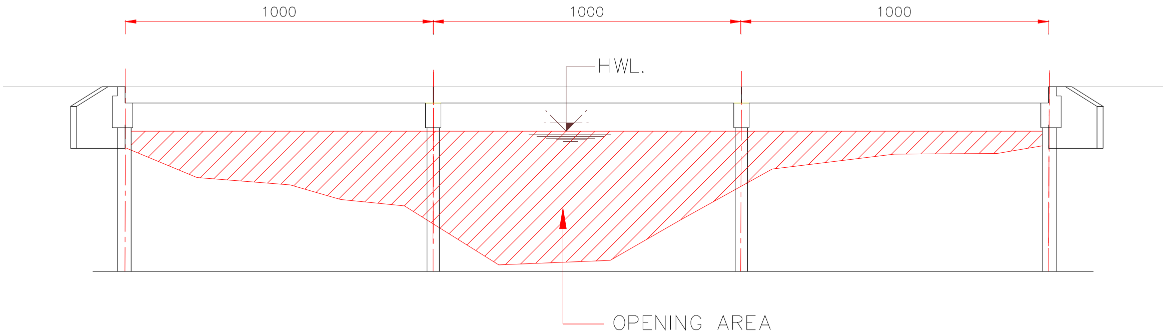
**ช่องเปิดสำหรับท่อกลมและท่อเหลี่ยม** คือ พื้นที่หน้าตัดภายในท่อกลมหรือท่อเหลี่ยมนั้น เนื่องจากระดับหลังท่อต่ำกว่าระดับโครงสร้างชั้นทาง ดังนั้นการออกแบบท่อกลมและท่อเหลี่ยมจึงกำหนดให้น้ำไหลเต็มท่อ โดยระดับน้ำอาจสูงกว่าระดับหลังท่อได้ มิติของท่อกลมและท่อเหลี่ยม ต้องเลือกให้เหมาะสมกับรูปแบบของลำน้ำ และดินถมคันทาง เช่นกรณีลำน้ำตื้นแต่กว้าง และดินถมคันทางต่ำ กรณีใช้ท่อกลมควรเลือกขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ใหญ่มาก แต่มีจำนวนหลายแถว แทนการ

เลือกใช้ท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่แถวเดียว แต่อย่างไรก็ตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกลมก็ไม่ควรเล็กมากนักเพราะจะมีปัญหาหญ้าและสวะอุดตันปากท่อ สำหรับกรณีใช้ท่อเหลี่ยมก็ควรเลือกท่อเหลี่ยมที่มีขนาดรูปตัดด้านกว้างมากกว่าด้านลึก ตามความเหมาะสมของลำน้ำ หรือเพิ่มจำนวนแถวมากขึ้นแทนการใช้ท่อเหลี่ยมขนาดใหญ่ เป็นต้น




**รูปที่ 2.2-32** แสดงช่องเปิดสำหรับท่อกลมและท่อเหลี่ยม

**ช่องเปิดสำหรับสะพาน** คือพื้นที่หน้าตัดใต้สะพานที่ล้อมรอบด้วยเส้นขอบเปียก (wet perimeter) ภายใต้สะพานที่ไม่รวมพื้นที่หน้าตัดใต้สะพานที่อยู่เหนือระดับน้ำสูงสุดถึงระดับหลังทาง




**รูปที่ 2.2-33** แสดงช่องเปิดสำหรับสะพาน

ทั้งนี้เนื่องจากสะพานเป็นอาคารระบายน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งระดับหลังสะพานอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับหลังทางที่เชิงลาดคอสะพาน การยอมให้น้ำสูงถึงระดับใต้ท้องสะพานจะสร้างความเสียหาย ต่อโครงสร้างชั้นทางบริเวณเชิงลาดคอสะพานทำให้คอสะพานขาด นอกจากนั้นพื้นที่ใต้ท้องสะพานเหนือระดับน้ำสูงสุดเป็นพื้นที่ที่เตรียมไว้เพื่อเป็นช่องลอดของวัสดุลอยน้ำ เช่น สวะ แพซุง และการสัญจรทางน้ำ เป็นต้น

**4.) ช่องลอด (Clearance)**

ช่องลอดใต้สะพาน คือพื้นที่ช่องเปิดใต้สะพานที่อยู่เหนือระดับน้ำสูงสุด ล้อมรอบด้วยขอบตอม่อและท้องสะพาน (Clearance area) การกำหนดช่องลอดกำหนด ทั้งช่องลอดแนวดิ่งและช่องลอดแนวราบ

**4.1) ช่องลอดแนวดิ่ง (Vertical Clearance)** หมายถึงระยะวัดในแนวดิ่งจากระดับน้ำสูงสุดถึงใต้ท้องพื้นสะพานที่ต่ำสุดของสะพานช่องกลางน้ำ หรือช่วงสะพานที่คร่อมร่องน้ำหลัก ที่ควบคุมช่องลอดแนวดิ่ง การกำหนดช่องลอดแนวดิ่งขึ้นกับขนาดความสูงของวัสดุลอยน้ำ ในกรณีไม่มีการสัญจรทางน้ำและข้อกำหนดของหน่วยงานที่ดูแลลำน้ำ การกำหนดช่องลอดในแนวดิ่งขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของสวะและแพซุง โดยกำหนดสอดคล้องกับความยาวช่องของสะพานดังนี้

- 0.50 เมตร สำหรับสะพานความยาวช่องไม่เกิน 10 เมตร ลำน้ำขนาดเล็ก วัสดุลอยน้ำมีขนาดไม่ใหญ่มาก และไม่หนาแน่น ไม่มีแพซุง และการขนส่งทางน้ำ
- 1.00 เมตร สำหรับสะพานความยาวช่วงระหว่าง 10-20 เมตร
- 2.0 เมตร สำหรับสะพานข้าม คลองขนาดใหญ่ หรือ แม่น้ำ

ในกรณีสะพานตั้งอยู่ในตำแหน่งซึ่งพื้นที่ด้านเหนือน้ำเป็นภูเขา และป่าซึ่งมีโอกาสเกิดดินถล่ม ควรกำหนดความยาวช่วงสะพานให้ยาวมากกว่า 10 เมตร โดยมีช่องลอดแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร ตามขนาดและสภาพของลำน้ำ

**4.2) ช่องลอดในแนวราบ (Horizontal Clearance)** หมายถึงระยะวัดตามแนวราบที่สั้นที่สุดระหว่างขอบผิว ตอม่อ ของสะพานช่วงกลางลำน้ำ หรือ ช่วงสะพานที่คร่อมช่องน้ำ หลักที่ควบคุมช่องลอดแนวราบ ในกรณีทั่วไปที่ไม่มีการสัญจรทางน้ำ และข้อกำหนดเรื่องช่องลอดของหน่วยงานที่ดูแลลำน้ำ การกำหนดความยาวช่วงสะพานขึ้นกับขนาดลำน้ำและวัสดุลอยน้ำดังกล่าวแล้ว

สำหรับลำน้ำที่มีการสัญจรทางน้ำ และข้อกำหนดเกี่ยวกับช่องลอดการออกแบบความยาวช่วงสะพานต้องสอดคล้องตามข้อกำหนดดังกล่าว ลำน้ำที่มีข้อกำหนดเรื่องช่องลอดสะพานข้ามแม่น้ำและสะพานข้ามคลองของกรมเจ้าท่า ดังแสดงในตารางที่

สำหรับคลองชลประทานการกำหนดช่องลอดของคลองแต่ละรูปแบบและแต่ละขนาดมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ต้องสอบถามข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่นั้น ๆ เช่น ชลประทานจังหวัด เป็นต้น หรือตรวจสอบจากสะพานข้างเคียง สำหรับคลองกรมชลประทานซึ่งมีเรือขุดผ่านกำหนดช่องลอดไว้ไม่น้อยกว่า 3.80 เมตร

**ตารางที่ 2.2-14** หลักเกณฑ์ข้อกำหนดขนาดช่องลอดสะพานข้ามแม่น้ำและสะพานข้ามคลอง ตามข้อกำหนดของกรมเจ้าท่า

| แม่น้ำ | ช่วงของแม่น้ำ | ข้อกำหนด |
|---|---|---|
| 1. เจ้าพระยา | 1.1 จากปากแม่น้ำเจ้าพระยา ถึง ท่าเรือกรุงเทพ | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 250 ม. สูงไม่น้อยกว่า 54 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบหรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 1.2 จากท่าเรือกรุงเทพถึงสะพานพระราม 9 | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 250 ม. สูงไม่น้อยกว่า 45 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบหรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 1.3 จากสะพานพระราม 9 ถึง สะพานสาทร | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 250 ม. สูงไม่น้อยกว่า 41 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 1.4 จากสะพานสาทร ถึงจังหวัดนครสวรรค์ | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 50 ม. สูงไม่น้อยกว่า 5.60 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| 2. น่าน | 2.1 เขตจังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดพิจิตร | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 30 ม. สูงไม่น้อยกว่า 5.60 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 2.2 เขตจังหวัด อื่นๆ | ขนาดช่องลอดต้องสูงและกว้างไม่น้อยกว่าสะพานข้างเคียงที่มีอยู่เดิม<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำธรรมชาติ |
| 3. ป่าสัก | 3.1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 25 ม. สูงไม่น้อยกว่า 5 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 3.2 เขตจังหวัด อื่นๆ | ขนาดช่องลอดต้องสูงและกว้างไม่น้อยกว่าสะพานข้างเคียงที่มีอยู่เดิม<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำธรรมชาติ |
| 4. ท่าจีน | 4.1 ภายในเขตจังหวัดสมุทรสาคร | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 26.8 ม. สูงไม่น้อยกว่า 6.5 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 4.2 ภายในเขตจังหวัดนครปฐม | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 25.5 ม. สูงไม่น้อยกว่า 6.0 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำธรรมชาติ |

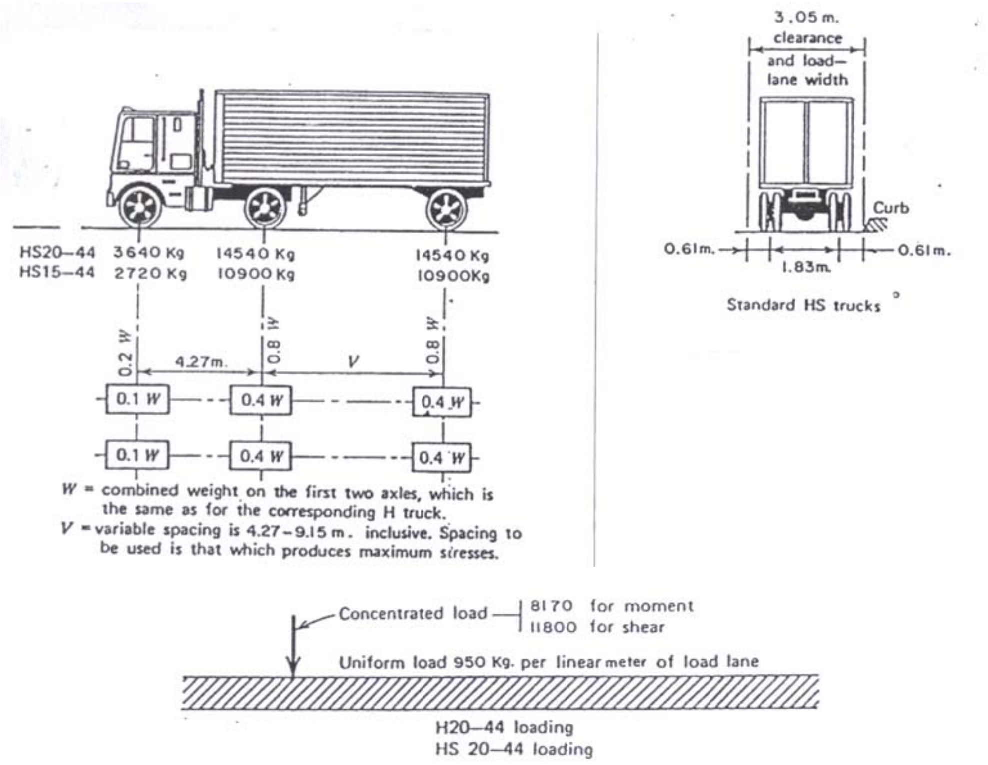
| แม่น้ำ | ช่วงของแม่น้ำ | ข้อกำหนด |
|---|---|---|
| | 4.3 ภายในเขตจังหวัด สุพรรณบุรี | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 25.5 ม. สูงไม่น้อยกว่า 5.6 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำธรรมชาติ |
| 5. แม่กลอง | 5.1 ภายในเขตจังหวัด สมุทรสาคร | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 26.8 ม. สูงไม่น้อยกว่า 6.5 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 5.2 ภายในเขตจังหวัด ราชบุรี | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 26.8 ม. สูงไม่น้อยกว่า 6.5 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำธรรมชาติ |
| | 5.3 ภายในเขตจังหวัด กาญจนบุรี | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 25.5 ม. สูงไม่น้อยกว่า 6.0 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำธรรมชาติ |
| | **ข้อกำหนด** | |
| 6. ยม | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 18.0 ม. สูงไม่น้อยกว่า 4.50 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ | |
| 7. ปิง | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 35.0 ม. สูงไม่น้อยกว่า 4.50 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ | |
| 8. นครนายก | ช่องลอดสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 9.00 ม. สูงไม่น้อยกว่า 4.50 ม. จากระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ย<br>เสาตอม่ออยู่นอกร่องน้ำออกแบบ หรือร่องน้ำธรรมชาติ | |

แม่น้ำหรือคลอง นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ มีข้อพิจารณา ดังนี้

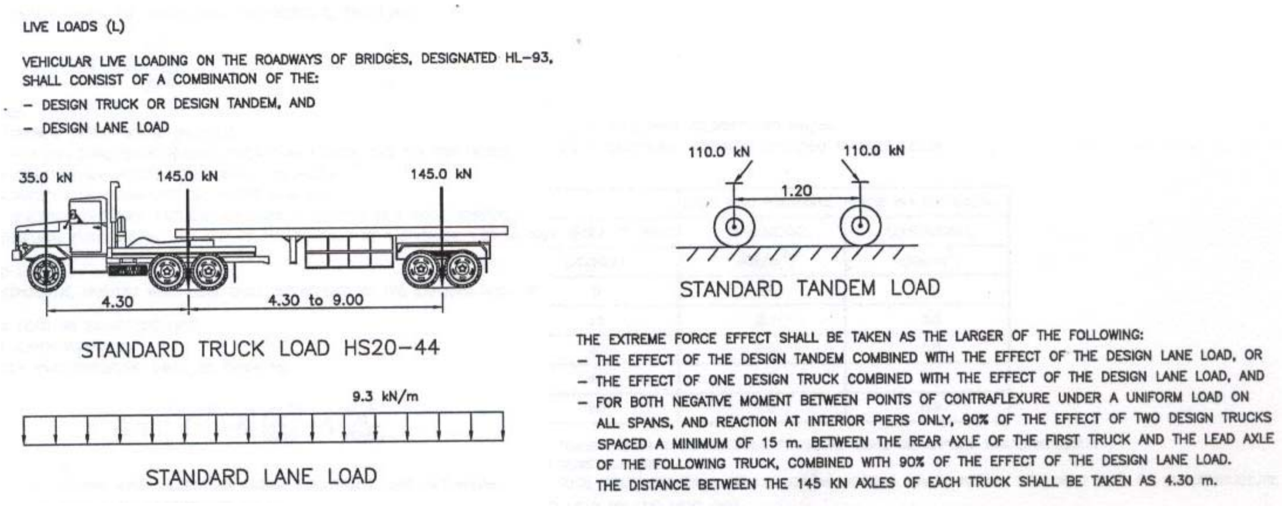
1) แม่น้ำหรือคลอง ที่กรมเจ้าท่าออกแบบร่องน้ำไว้แล้ว
   - เสาตอม่อสะพานต้องอยู่นอกร่องน้ำออกแบบ
   - ขนาดช่องลอดต้องสูงและกว้างไม่น้อยกว่าสะพานข้างเคียงที่มีอยู่เดิม
2) แม่น้ำหรือคลอง ที่กรมเจ้าท่า ไม่ได้ออกแบบร่องน้ำไว้
   - เสาตอม่อสะพานต้องอยู่นอกร่องน้ำธรรมชาติ
   - ขนาดช่องลอดต้องสูงและกว้างไม่น้อยกว่าสะพานข้างเคียงที่มีอยู่เดิม
   - ความเป็นไปได้ในการพัฒนาเพื่อการเดินเรือในอนาคต

#### 5). น้ำหนักบรรทุก (Load)

อาคารระบายน้ำในงานทางนอกจากจะต้องมีช่องเปิดเพียงพอต่อการระบายน้ำแล้ว ยังต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรได้อย่างปลอดภัย น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวงที่ผ่านมาเป็นไปตาม AASHTO Standard แต่ปัจจุบัน (พ.ศ.2555) เปลี่ยนไปใช้น้ำหนักบรรทุกตาม AASHTO LRFD ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

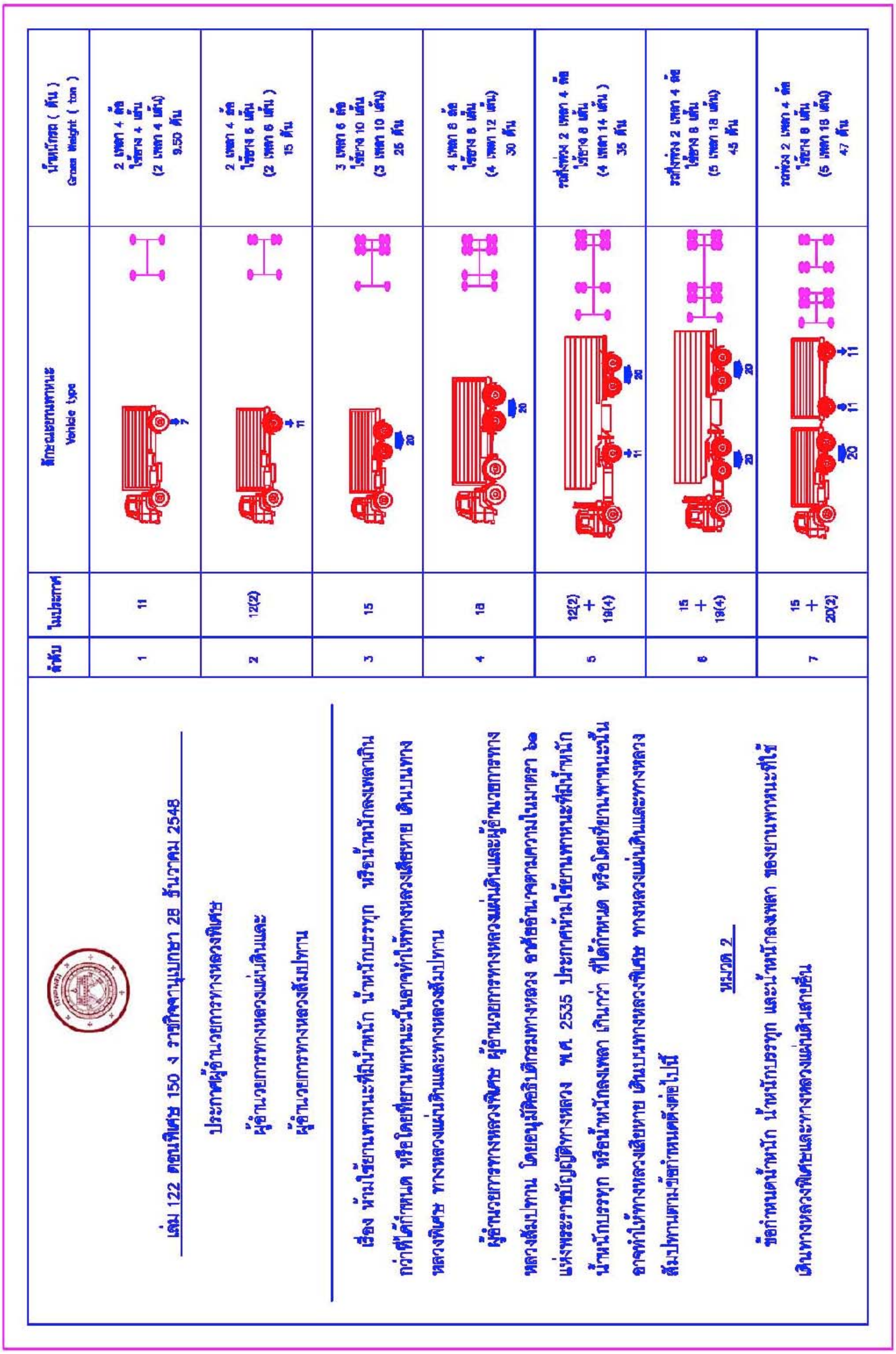



**รูปที่ 2.2-34** น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO Standard




**รูปที่ 2.2-35** น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO LRFD

การพิจารณาน้ำหนักบรรทุก  ควรครอบคลุมถึงรถบรรทุกที่มีในประเทศไทย ตามประกาศผู้อำนวยการทางหลวง ฯ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



เล่ม 122 ตอนพิเศษ 150 ง ราชกิจจานุเบกษา 28 ธันวาคม 2548

ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ

ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและ

ผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน

เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก หรือน้ำหนักลงเพลาเกินกว่าที่ได้กำหนด หรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหาย เดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน

ผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน โดยอนุมัติอธิบดีกรมทางหลวง อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖๑ แห่งพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535 ประกาศห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก หรือน้ำหนักลงเพลา เกินกว่า ที่ได้กำหนด หรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหาย เดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทานตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

หมวด 2

ข้อกำหนดน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักลงเพลา ของยานพาหนะที่ใช้เดินทางหลวงพิเศษและทางหลวงแผ่นดินสายอื่น

| ลำดับ | ในประกาศ | ลักษณะยานพาหนะ Vehicle type | น้ำหนักรถ ( ตัน ) Gross Weight ( ton ) |
|---|---|---|---|
| 1 | 11 | 7 | 2 เพลา 4 ล้อ ใช้ยาง 4 เส้น (2 เพลา 4 เส้น) 9.50 ตัน |
| 2 | 12(2) | 11 | 2 เพลา 4 ล้อ ใช้ยาง 6 เส้น (2 เพลา 6 เส้น ) 15 ตัน |
| 3 | 15 | 20 | 3 เพลา 6 ล้อ ใช้ยาง 10 เส้น (3 เพลา 10 เส้น) 25 ตัน |
| 4 | 18 | 20 | 4 เพลา 8 ล้อ ใช้ยาง 8 เส้น (4 เพลา 12 เส้น) 30 ตัน |
| 5 | 12(2) + 19(4) | 11 20 | รถกึ่งพ่วง 2 เพลา 4 ล้อ ใช้ยาง 8 เส้น (4 เพลา 14 เส้น ) 35 ตัน |
| 6 | 15 + 19(4) | 20 20 | รถกึ่งพ่วง 2 เพลา 4 ล้อ ใช้ยาง 8 เส้น (5 เพลา 18 เส้น) 45 ตัน |
| 7 | 15 + 20(2) | 20 11 11 | รถพ่วง 2 เพลา 4 ล้อ ใช้ยาง 8 เส้น (5 เพลา 18 เส้น) 47 ตัน |

เล่ม 126 ตอนพิเศษ 92 ง ราชกิจจานุเบกษา 30 มิถุนายน 2552

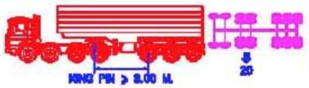
ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ
ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน

เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก หรือน้ำหนักลงเพลาเกินกว่าที่ได้กำหนด หรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหาย เดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2552

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 61 แห่งพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติทางหลวง (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2549 ผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน โดยอนุมัติอธิบดีกรมทางหลวง เห็นสมควรให้แก้ไขเพิ่มเติม ประกาศผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน เรื่อง ห้ามใช้ยานพาหนะที่มีน้ำหนัก น้ำหนักบรรทุก หรือน้ำหนักลงเพลาเกินกว่าที่ได้กำหนด หรือโดยที่ยานพาหนะนั้นอาจทำให้ทางหลวงเสียหาย เดินบนทางหลวงพิเศษ ทางหลวงแผ่นดินและทางหลวงสัมปทาน ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนพิเศษ 150 ง หน้า 19 วันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2548 ดังนี้

ประกาศ ณ วันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2552
สุพจน์ ทรัพย์ล้อม
อธิบดีกรมทางหลวง
ในฐานะผู้อำนวยการทางหลวงพิเศษ
ผู้อำนวยการทางหลวงแผ่นดินและผู้อำนวยการทางหลวงสัมปทาน

| ลำดับ | ในประกาศ | ลักษณะยานพาหนะ Vehicle type | | น้ำหนักรถ ( ตัน ) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 49 | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 53 | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 56 | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 58 |
| 1 | 19/2 | | รถกึ่งพ่วง 6 เพลา 22 ล้อ | 50.5 | 50.5 | – | – |

| ลำดับ | ในประกาศ | ลักษณะยานพาหนะ Vehicle type | | น้ำหนักรถ ( ตัน ) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 49 | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 53 | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 56 | เริ่มบังคับใช้ 1 ม.ค. 58 |
| 2 | 19/3(1) | จดทะเบียนก่อน 1 มกราคม 2553 | รถกึ่งพ่วง 6 เพลา 22 ล้อ | 50.5 (ต่อนมีค.) | 50.5 | – | 49 |
| 3 | 19/3(2) | จดทะเบียนก่อน 1 มกราคม 2553 | รถกึ่งพ่วง 6 เพลา 22 ล้อ | 50.5 (ต่อนมีค.) | 50.5 | – | 47 |
| 4 | 19/3(3) | จดทะเบียนก่อน 1 มกราคม 2553 | รถกึ่งพ่วง 6 เพลา 22 ล้อ | 50.5 (ต่อนมีค.) | 50.5 | – | 45 |
| 5 | 19/4 |   | รถกึ่งพ่วง 7 เพลา 24 ล้อ | 55.5 | 50.5 | – | – |
| 6 | 20/1 | | รถพ่วง 6 เพลา 22 ล้อ | 53 (ต่อนมีค.) | 53 (1 ก.ค. 52) | 50.5 | – |
| 7 | 20/2 | หมายเหตุ : ยานพาหนะที่ 20/2 น้ำหนักรถบรรทุก 30 ตัน ตัวรถพ่วงบรรทุกได้ 23 ตัน เท่านั้น | รถพ่วง 7 เพลา 24 ล้อ | – | 53 (1 ก.ค. 52) | 50.5 | – |
| 8 | จากประกาศ (ฉบับที่ 1) 18+20(2) | | รถพ่วง 6 เพลา 20 ล้อ | 52 | 52 | 50.5 | – |
| 9 | 20/3 | ยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถพ่วง (FULL TRAILER) ยกเว้นรถประเภทที่ต้องขออนุญาตจากผู้อำนวยการทางหลวง<br>– ยานพาหนะที่บรรทุกสิ่งของจำนวนหนึ่งหน่วยเดี่ยว ซึ่งโดยสภาพของสิ่งนั้นไม่อาจแยกจากกันได้โดยเป็นการถาวรและต้องขนส่งทางถนน<br>– ยานพาหนะที่ติดตั้ง เครื่องจักร เครื่องกล<br>– ยานพาหนะที่โดยสภาพมีลักษณะเป็น เครื่องจักร เครื่องกล | | – | 53 (1 ก.ค. 52) | 50.5 | – |
| หมายเหตุ | | – ยานพาหนะชนิดรถลากจูงและรถพ่วงหรือรถกึ่งพ่วง ต้องมีน้ำหนักลงเพลา กลุ่มเพลา หรือน้ำหนักรวม ไม่เกินประกาศผู้อำนวยการทางหลวง | | | | | |

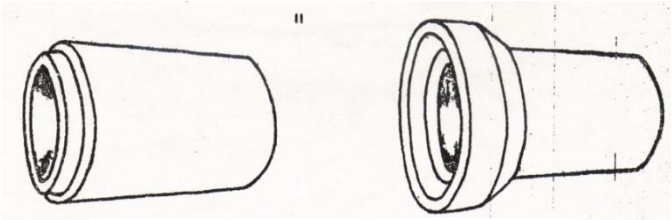
สำนักงานควบคุมน้ำหนักยานพาหนะ กรมทางหลวง www.doh.go.th โทร : 02–345–6668–76 ต่อ 4070

**2.2.2.2. ประเภทและรูปแบบทั่วไปของอาคารระบายน้ำตามขวาง**

อาคารระบายน้ำที่กรมทางหลวงใช้อยู่ปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

**1.) ท่อกลม**

ตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงมีท่อกลม 2 ชนิด คือ ชนิดปากรางลิ้น และ ชนิดปากระฆัง ดังรูปที่ 2.2-36 ซึ่งการใช้งานปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้แบบปากรางลิ้น เนื่องจากสะดวกในการขนส่งและเคลื่อนย้าย ซึ่งท่อกลมที่กรมทางหลวงใช้เป็นท่อกลมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม (มอก.128) ซึ่งตาม มอก.128 แบ่งท่อเป็น 4 ชั้น คือ ชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2, ชั้นที่ 3, ชั้นที่ 4 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ 30 -150 ซม.



**รูปที่ 2.2-36** ท่อกลมตามมาตรฐานกรม

การใช้งานของกรมทางหลวง
เฉพาะท่อ ค.ส.ล. ชั้นที่ 2 และ ชั้นที่ 3 โดยใช้ในกรณีดังนี้

- ท่อ ค.ส.ล. ชั้นที่ 2 ใช้กับงานใต้ผิวจราจร
- ท่อ ค.ส.ล. ชั้นที่ 3 ใช้กับงานใต้ผิวทางเท้า

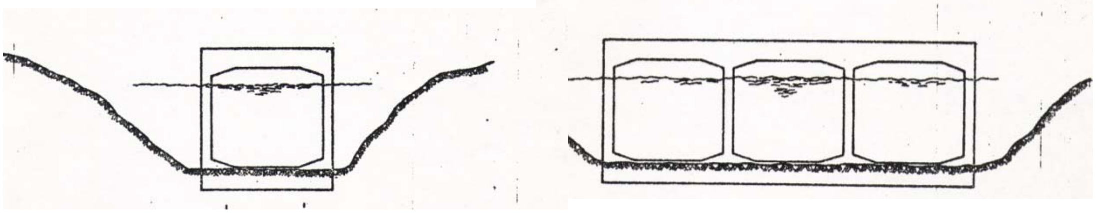
**2.) ท่อเหลี่ยม ค.ส.ล. (R.C. Box Culvert)**

ท่อเหลี่ยม ค.ส.ล. ตามมาตรฐานกรมทางหลวงออกแบบตามมาตรฐาน AASHTO และแบบหล่อสำเร็จ

- ท่อเหลี่ยมหล่อสำเร็จมีขนาด 1.20 x 1.20 ม. จนถึงขนาด 2.40 x 2.40 ม.
- ท่อเหลี่ยม หล่อในที่มีขนาดตั้งแต่ 0.60 x 0.60 ม. ถึง 3.60 x 3.60 ม.

แบ่งตามชนิดของโครงสร้างได้เป็น 2 ชนิด คือ

- โครงสร้างแบบ Simple Span ขนาด (0.60x0.60) ม. ถึง (1.80x1.80) ม.
- โครงสร้างแบบ Rigid Frame ขนาด (2.10x2.10) ม. ถึง (3.60x3.60) ม.



**รูปที่ 2.2-37** ท่อเหลี่ยมตามมาตรฐาน

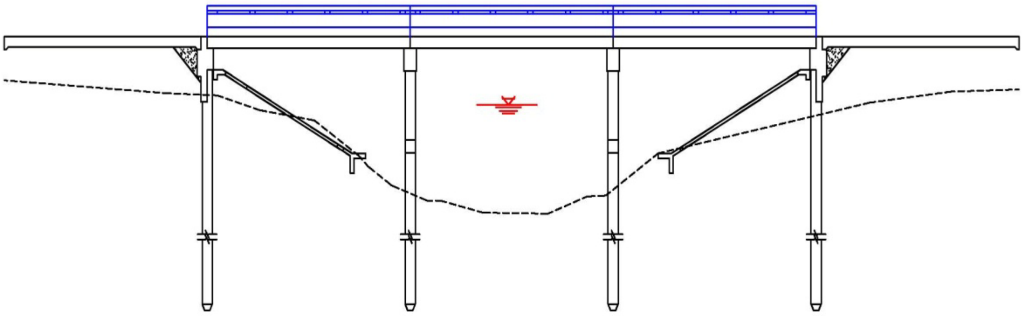
**3.) สะพาน**

สะพานมีหลายแบบแล้วแต่จะแบ่งโดยใช้อะไรเป็นเกณฑ์ ถ้าแบ่งตามวัสดุก่อสร้าง ก็จะมีสะพานไม้ สะพานเหล็ก และสะพานคอนกรีต ถ้าแบ่งตามชนิดโครงสร้าง ได้แก่ Slab Type , Girder Type , Box Girder Bridge , Suspension Bridge Cable-sta Bridge เป็นต้น

โดยทั่วไปกรมทางหลวงจะออกแบบเป็นสะพานคอนกรีต เนื่องจากสะพานคอนกรีตมีความคงทน อายุการใช้งานยาวนาน ค่าบำรุงรักษาต่ำ ซึ่งอาจเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา หรือคอนกรีตอัดแรง

สะพานข้ามลำน้ำตามแบบมาตรฐาน มีดังนี้

- สะพาน Slab Type ช่วง 5.00-10.00 เมตร
  โครงสร้างพื้นสะพานเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก
- สะพาน Plank Girder ช่วง 5.00-10.00 เมตร
  โครงสร้างพื้นสะพานเป็นคานคอนกรีตอัดแรง แบบวางชิดติดกัน (Adjacent Beam)
- สะพาน Multi-Beam ช่วง 6, 8, 10 เมตร และ ช่วง 12.00-24.00 เมตร
- สะพาน T-Bean ช่วง 15.00 เมตร
  โครงสร้างพื้นสะพานเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก รูปตัวที
- สะพาน Box Beam ช่วง 20.00 เมตร
  โครงสร้างพื้นสะพานเป็นคานคอนกรีตอัดแรง แบบวางชิดติดกัน (Adjacent Beam)
- สะพาน I-Girder ช่วง 30.00 เมตร
  โครงสร้างพื้นสะพานเป็นคานคอนกรีตอัดแรง รูปตัวไอ



**รูปที่ 2.2-38** สะพานตามมาตรฐานกรมทาง

#### 2.2.2.3 แนวทางและข้อแนะนำในการเลือกใช้รูปแบบและประเภทอาคารระบายน้ำ

**1.) การออกแบบใช้ท่อกลม**

ท่อกลมเหมาะสำหรับใช้เป็นอาคารระบายน้ำในกรณีต่อไปนี้

- ช่องน้ำขนาดเล็ก หรือ ไม่มีร่องน้ำที่ชัดเจน ฤดูแล้งน้ำแห้ง
- ความกว้างร่องน้ำโดยประมาณไม่เกิน 5.00 เมตร
- ความลึกของน้ำโดยประมาณไม่เกิน 1.50 เมตร
- ไม่มีสิ่งลอยน้ำหรือวัสดุแขวนลอยขนาดใหญ่
- ไม่มีการสัญจรทางน้ำ
- ใช้เป็นท่อ Side Drain

ข้อดีของท่อกลม คือ ราคาไม่แพง ก่อสร้างได้รวดเร็ว

**2.) การออกแบบใช้ท่อเหลี่ยม**

ลักษณะการใช้งานคล้ายท่อกลม แต่เนื่องจากมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดมากกว่า ทำให้สามารถใช้ได้กับช่องน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เกินกว่าที่จะใช้ท่อกลมเหมาะสำหรับใช้เป็นอาคารระบายน้ำในกรณีต่อไปนี้

- ต้องไม่มีสิ่งลอยน้ำหนาแน่น หรือขนาดใหญ่ เกินกว่าที่จะไหลลอดผ่านท่อเหลี่ยมได้
- ไม่มีการสัญจรทางน้ำ หรือ แพซุง
- ความกว้างของลำน้ำทั่วไปไม่เกิน 10.00 เมตร
- ความลึกของระดับน้ำอยู่ระหว่าง 1.50-3.50 เมตร
- มีช่วงเวลาที่น้ำแห้ง

การออกแบบท่อกลมและท่อเหลี่ยมมีหลักเกณฑ์ทั่วไปที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

(1) ตำแหน่งในการวางท่อ ให้กำหนดไว้ในตำแหน่งที่เห็นว่าระบายน้ำได้ดีที่สุด กรณีมีร่องน้ำให้กำหนดตำแหน่งศูนย์กลางของท่อให้ตรงตำแหน่งร่องน้ำลึก ในกรณีไม่มีสภาพร่องน้ำให้วางตำแหน่งท่อในตำแหน่งที่ระดับพื้นดินต่ำสุดเมื่อเทียบกับพื้นที่รอบบริเวณที่จะวางท่อ เช่น ในช่วงกลางของโค้งหงาย (Sag Curve) จุดต่ำสุดของโตรกเขา เป็นต้น

(2) ระดับท่อ กำหนดระดับธรณีปากท่อไว้ที่ระดับต่ำสุดของดินท้องคลอง

(3) ขนาดและจำนวนท่อ ออกแบบให้ท่อมี Opening Area เพียงพอต่อการระบายน้ำที่มีอัตราการไหลสูงสุด (Qp) ในรอบปีที่ใช้ออกแบบ สำหรับท่อเหลี่ยมที่ก่อสร้างในพื้นที่ที่มีวัสดุลอยน้ำพอสมควร ให้เลือกขนาดท่อเหลี่ยมให้ใหญ่พอที่จะมีช่องลอดให้วัสดุลอยน้ำผ่านได้

การออกแบบท่อลอด จะต้องอาศัยวิธีการสมมุติค่า และทดสอบ (Trial and error) คือเลือกขนาดท่อขนาดหนึ่ง แล้วตรวจสอบดูว่าน้ำจะสามารถไหลผ่านได้ ตามอัตราที่กำหนดไว้หรือไม่ ปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีการเช่นนี้ คือ ในขั้นแรกเราไม่ทราบว่าลักษณะการไหลจะเป็นแบบ Inlet Control หรือ Outlet Control โดยทั่วไปถ้าความลาดเอียงของท่อเท่ากับหรือมากกว่า 1% การไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้าน้อยกว่า 0.5% จะเป็นแบบ Outlet Control แต่เพื่อความแน่นอนจะต้องทดสอบลักษณะการไหลเสมอ

วิธีการออกแบบมีขั้นตอน ดังนี้

1) อาศัยวิธีการทางอุทกวิทยา (Hydrology) ประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำที่คาดว่าจะเกิดในลำธารที่จะวางท่อลอด

2) เตรียมข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวน ได้แก่

   ก. อัตราการไหลของน้ำ (ลบ.ม. ต่อวินาที)
   ข. ความยาวท่อ (ม.)
   ค. ความลาดของท่อ (ม./ม.)
   ง. ความสูงของระดับน้ำด้านปากท่อที่ยอมให้ (Allowable Headwater Depth)
   จ. ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดของการแสน้ำ(ถ้ามีข้อมูล)
   ฉ. ชนิดของท่อ หน้าตัดท่อ ความลาดของท่อ ลักษณะปากท่อ ฯลฯ

3) เลือกขนาดท่อ โดยพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศว่าปลายท่อควรจะอยู่ในลักษณะจม (Submerged) หรือโผล่พ้นน้ำ (Unsubmerged) โดยทั่วไปมักจะเลือกให้โผล่พ้นผิวน้ำ โดยมีแนวทางในการเลือกขนาดท่อ ดังนี้

   ก. สุ่มเลือก
   ข. ใช้สมการ Q/10 = A (Q = อัตราการไหล , A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ)
   ค. ใช้ Inlet Control Nomographs รูปที่ 2.1-21 (สำหรับท่อกลม) หรือรูปที่ 2.1-22 (สำหรับท่อเหลี่ยม) โดยกำหนดค่า HW/D เท่ากับ 1.5 และค่า Q เท่ากับอัตราการไหลด้วยวิธีการทางอุทกวิทยาจากข้อ 1) แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดทั้งสองไปยังแกน Diameter of Culvert(D) หรือHeight of Box(D) ก็จะได้ขนาดท่อ หากขนาดท่อมีขนาดใหญ่เกินไปหรือมีข้อจำกัดด้านกายภาพ ให้พิจารณาเพิ่มจำนวนท่อโดยสมมุติว่าอัตราการไหลในท่อแต่ละตัวมีปริมาณเท่ากัน

4) ในกรณีที่ปลายท่อโผล่พ้นผิวน้ำ ระดับน้ำในท่อตรงปลายทางออกไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำในลำธารเกินกว่า 15 ซม. ถึง 30 ซม. เพราะถ้าสูงเกินกว่านี้ ผิวน้ำจะโค้งลงมาก (Draw down) ทำให้น้ำไหลเร็วขึ้น อาจเซาะกร่อนพื้นลำธารได้ โดยทั่วไปความเร็วของน้ำที่ปาก

ทางออกในกรณีนี้จะประมาณ 1.3 เท่าของความเร็วเฉลี่ยในท่อ ($V_{outlet}$ = $1.3_{Vaverage}$) จากข้อกำหนดนี้ ความสูงหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อไม่ควรมากกว่าความลึกของน้ำในลำธารเกินกว่า 15 ถึง 30 ซม.

5) จากค่าอัตราการไหลผ่านท่อในข้อ (1) เส้นผ่าศูนย์กลางหรือความสูงของท่อจากข้อ (4) สามารถคำนวณหาความสูงของระดับน้ำปากท่อ (HW) ได้จากรูปที่ 2.1-21 หรือ รูปที่ 2.1-22 ซึ่งใช้สำหรับกรณีที่การไหลเป็น Inlet Control

6) จากค่าอัตราไหล และขนาดของท่อที่เลือกคำนวณหาค่า H ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อ กับระดับน้ำปลายท่อได้จากรูปที่ 2.1-24 หรือรูปที่ 2.1-25 ซึ่งใช้สำหรับการไหลแบบ Outlet Control โดยลากเส้นตรงระหว่างค่าเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความยาวท่อตัดผ่าน Turning Line จากนั้นลากเส้นตรงตัดจุดที่ Turning Line นี้และตัดแกน Q ที่ค่าอัตราการไหลที่เลือกต่อเลยมาอ่าน ค่า H

7) จากรูปที่ 2.1-26 หรือรูปที่ 2.1-27 สามารถคำนวณหาค่าความลึกวิกฤติ $d_o$ (Critical Depth) ได้

8) เปรียบเทียบค่าระหว่าง ความลึกของน้ำในลำธารตรงปลายท่อกับค่า $\frac{d_C + D}{2}$ (D คือเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความสูงของท่อ) ค่าที่มากกว่าจะเป็นค่า $h_o$

9) เมื่อทราบค่า $h_o$ แล้ว คำนวณหาระดับน้ำที่ปากท่อในกรณีที่เป็น Outlet Control ได้จากสมการ

$$HW = H + h_o - LS_o$$

โดยที่ HW = ความสูงของน้ำที่ปากท่อวัดจากพื้นของปากท่อ

L = ความยาวของท่อ

$S_o$ = ความลาดเอียงของท่อ

เปรียบเทียบค่า HW จากข้อ 5 กับข้อ 9 ถ้า HW จากข้อ 5 มากกว่า การไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้า HW จากข้อ 9 มากกว่าการไหลจะเป็นแบบ Outlet Control เมื่อทราบลักษณะการไหลแล้วก็ตรวจสภาพอื่น ๆ เช่น ค่า HW ระยะFree Board ความเร็วของน้ำ ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น ค่าHW ที่คำนวนได้มากกว่าความสูงของระดับน้ำปากท่อที่ยอมให้ ระยะ Free Board ไม่เพียงพอ ก็กลับไปเลือกขนาดท่อใหม่

**ตารางที่ 2.2-15** : ความจุในการระบายน้ำของท่อกลม (ลบ.ม./วินาที)

| ขนาดท่อ (ม.) | H = ความสูงระดับน้ำจากหลังท่อ (ม.) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.00 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 |
| 0.30 | 0.06 | 0.09 | 0.11 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 |
| 0.40 | 0.12 | 0.17 | 0.20 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.31 | 0.33 |
| 0.50 | 0.19 | 0.27 | 0.33 | 0.38 | 0.43 | 0.47 | 0.51 | 0.54 |
| 0.60 | 0.29 | 0.40 | 0.50 | 0.57 | 0.64 | 0.70 | 0.76 | 0.81 |
| 0.80 | 0.52 | 0.74 | 0.91 | 1.05 | 1.17 | 1.29 | 1.39 | 1.48 |
| 1.00 | 0.84 | 1.19 | 1.45 | 1.68 | 1.88 | 2.05 | 2.22 | 2.37 |

หมายเหตุ :

(1) ความจุตามแสดงในตาราง ใช้ได้กับความยาวท่อประมาณ 8-12 ม. และความลาดเอียงตามแนวท่อเท่ากับ 1 % (คำนวนจากการสมมุติให้น้ำไหลเต็มท่อและการไหลเป็นแบบ Outlet Control)

(2) หากความลาดเอียงท่อเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.5 % ความจุในการระบายน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากระดับน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลง 0.05 ม.

**ตารางที่ 2.2-16** : ความจุในการระบายน้ำของท่อเหลี่ยม (ลบ.ม./วินาที)

| ขนาดท่อ (ม.) | H = ความสูงระดับน้ำจากหลังท่อ (ม.) | | |
|---|---|---|---|
| | - 0.30 | 0 | + 0.30 |
| 0.9 x 0.9 | 0.72 | 1.27 | 1.87 |
| 1.2 x 1.2 | 1.65 | 2.55 | 3.21 |
| 1.5 x 1.5 | 3.20 | 4.45 | 5.28 |
| 1.8 x 1.8 | 5.36 | 7.03 | 8.04 |
| 2.1 x 2.1 | 8.42 | 10.4 | 11.4 |
| 2.4 x 2.4 | 11.9 | 14.3 | 15.2 |
| 2.7 x 2.7 | 16.7 | 19.4 | 20.5 |
| 3.0 x 3.0 | 21.7 | 25.0 | 26.1 |
| 3.3 x 3.3 | 28.2 | 32.2 | 32.8 |
| 3.6 x 3.6 | 35.5 | 39.5 | 40.2 |

หมายเหตุ :

(1) ข้อมูลในตารางได้จากการสมมุติให้การไหลเป็นแบบ Inlet Control และสมมุติให้มีกำแพงหูช้างทำมุม 30°-75° กับแนวท่อ หากไม่มีกำแพงหูช้างให้ลดความจุในตารางลงประมาณ 10 %

(2) ความลาดชันและความยาวของแนวท่อจะไม่มีผลต่อความจุ

(3) ดาดพื้นหน้าท่อด้านท้ายน้ำในทุก ๆ กรณี

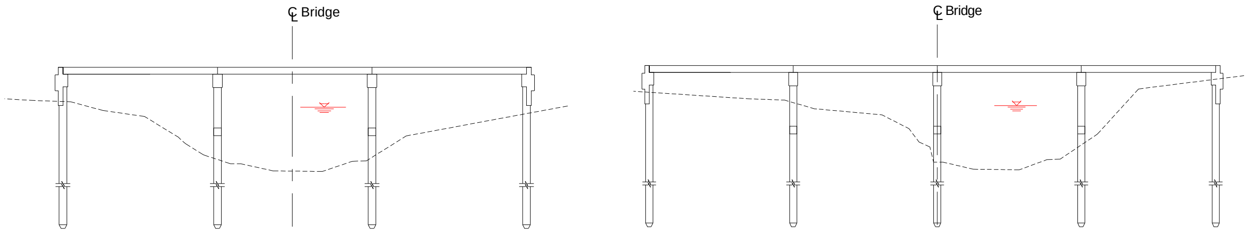
**3.) การออกแบบใช้สะพาน**

เหมาะสำหรับใช้เป็นอาคารระบายน้ำในกรณีที่ช่องน้ำมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะใช้ท่อกลมและท่อเหลี่ยม

- มีความกว้างลำน้ำมากกว่า 10.00 เมตร
- มีความลึกของระดับน้ำสูงสุดมากกว่า 3.50 เมตร
- มีน้ำไหลในลำน้ำตลอดปี
- มีการสัญจรทางน้ำ
- มีแพ ซุง ขอนไม้ หรือสิ่งลอยน้ำหนาแน่น

## หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบสะพาน

1. ตำแหน่งก่อสร้างสะพาน โดยทั่วไปใช้ศูนย์กลางของร่องน้ำลึกเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของสะพานยกเว้นบางกรณีที่ร่องน้ำลึกไม่ได้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางลำน้ำ เช่น กรณีสะพานอยู่ในช่วงโค้งของลำน้ำ ร่องน้ำลึกจะชิดไปทางริมตลิ่งด้านนอกของโค้ง ดังรูป




รูปตัดขวางลำน้ำกรณีทั่วไป

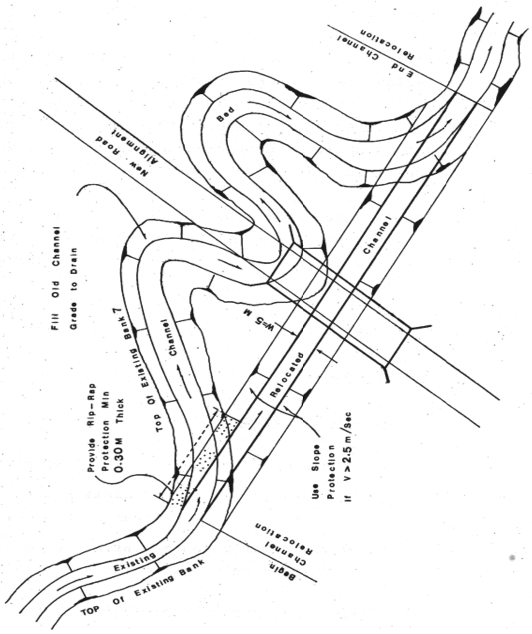
รูปตัดขวางลำน้ำที่ร่องน้ำลึกชิดไปทางตลิ่งด้านใดด้านหนึ่ง

**รูปที่ 2.2-39** รูปตัดขวางลำน้ำกรณีทั่วไปและกรณีที่ร่องน้ำชิดไปทางด้านใดด้านหนึ่ง

ซึ่งในกรณีนี้ตำแหน่งศูนย์กลางขงสะพานอาจไม่ใช่ตำแหน่งกึ่งกลางของร่องน้ำลึก แต่ช่วงสะพานหลัก (Main span) จะต้องคร่อมร่องน้ำลึก

ในกรณีที่เป็นทางแนวใหม่ที่ตัดผ่านลำน้ำขนาดใหญ่หากเป็นไปได้ ก็จะหลีกเลี่ยง แนวที่ตัดผ่านลำน้ำบริเวณช่วงคุ้งน้ำ เพราะจะมีปัญหาเรื่องการกัดเซาะตลิ่ง และการเปลี่ยนทางน้ำ และหลีกเลี่ยงแนวที่ตัดผ่านลำน้ำเป็นมุมเฉียงมากเกินไปเพราะจะทำให้สะพานยาวมากขึ้นตามความเฉียงของสะพานที่เพิ่มขึ้น

ในกรณีที่ตำแหน่งก่อสร้างอยู่ในช่วงที่ลำน้ำต้นเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำคดเคี้ยวมาก อาจจำเป็นต้องปรับแนวร่องน้ำใหม่เพื่อป้องกันการกัดเซาะตลิ่งและการเปลี่ยนทางน้ำ และเพื่อป้องกันปัญหาการก่อสร้าง และการขยายสะพานเพิ่มเติม ในกรณีเพิ่มมาตรฐานทางเป็น 4 ช่องจราจรหรือมากกว่า



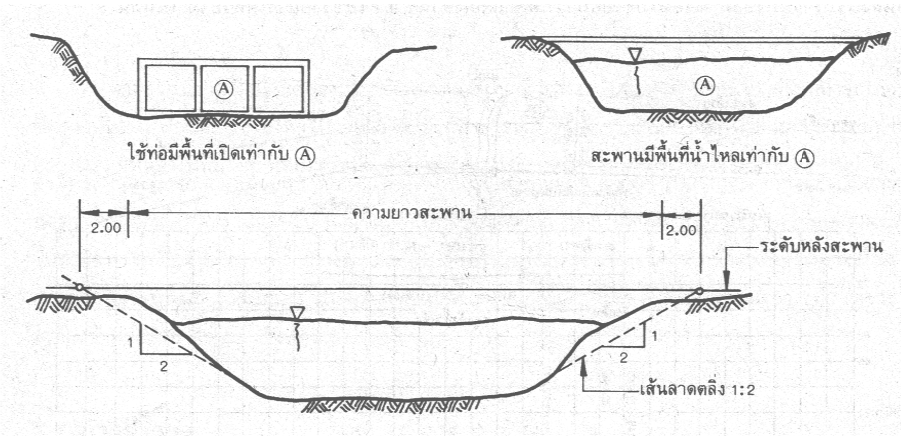
**รูปที่ 2.2-40** การปรับเปลี่ยนทางน้ำ

2. ระดับหลังสะพาน การกำหนดระดับหลังสะพานโดยทั่วไปกำหนดตามระดับหลังทางในช่วงก่น-หลังสะพานนั้น แต่ในกรณีที่มีข้อกำหนดในเรื่องช่องลอด และการใช้ประโยชน์ของลำน้ำใต้สะพานต้องกำหนดระดับหลังสะพานให้สอดคล้องกับข้อกำหนดเหล่านั้น ตามรายละเอียดในหัวข้อกำหนดเรื่องช่องลอด

3. การเปิดช่องน้ำ และการกำหนดความยาวรวมของสะพาน ข้อพิจารณาในการเปิดช่องน้ำใต้สะพานคือจะต้องมีพื้นที่ช่องเปิด (Opening Area) เพียงพอต่อการระบายน้ำที่อัตราการไหลสูงสุดในรอบปีที่พิจารณา ซึ่งปกติทำได้ 2 วิธี

ก) โดยใช้ข้อมูลสำรวจรูปตัดขวางลำน้ำ ระดับน้ำสูงสุด และความเร็วของน้ำ โดยดำเนินการดังนี้

ก.1) เขียนข้อมูลสำรวจรูปตัดขวางลำน้ำ และระดับน้ำสูงสุดตามมาตราส่วนที่เหมาะสม




**รูปที่ 2.2-41** การกำหนดความยาวรวมของสะพาน

ก.2) เขียนระดับ Profile ของหลังทางในช่วงที่ตัดผ่านลำน้ำตามรูปตัดขวางในข้อ ก.1)

ก.3) ลากเส้นลาดตลิ่ง 2 : 1 จากก้นคลองขึ้นไปตัดกับเส้น Profile ของหลังทาง ทั้ง 2 ข้างของลาดตลิ่ง

ก.4) ความยาวรวมโดยประมาณของสะพานหาได้ โดยการวัดจากจุดตัด ทั้งสองฝั่งเข้าไปในลำน้ำ เป็นระยะเท่ากับความหนาของโครงสร้างพื้นสะพานบวกความลึกของ Cross Beam ตอม่อริมฝั่ง คูณด้วย 2 (มาจากลาดตลิ่ง 2 : 1) เช่น สำหรับสะพาน Slab Type ความหนาพื้นสะพานรวม ความลึกของ Cap Beam ประมาณ 1 เมตร ดังนั้น ระยะวัดจากจุดตัดทั้งสองฝั่งเข้าไปในลำน้ำข้างละ 2.0 เมตร ซึ่งจะเป็นตำแหน่งโดยประมาณของตอม่อริมฝั่งทั้ง 2 ข้างของสะพาน ความยาวรวมโดยประมาณของสะพาน คือ ระยะระหว่างตอม่อ ริมฝั่งทั้ง 2

ข.) โดยใช้วิธีคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุด (Qp) ของน้ำจากฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำฝนและไหลมาสู่ตำแหน่งที่ออกแบบสะพาน ซึ่งการคำนวณหาค่า Qp สามารถทำได้หลายวิธีตามรายละเอียดในหัวข้อ 2.1.1.4 เมื่อได้ค่า Qp แล้วดำเนินการดังนี้

ข.1) หาพื้นที่ช่องเปิดของหน้าตัดลำน้ำที่รองรับอัตราการไหลสูงสุด Qp โดยใช้สมการ Manning

$$Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$$

เมื่อ Q = Qp เทอมทางขวามือจะติดค่าตัวแปรตัวเดียว คือ ค่าความลึกของน้ำ หรือค่าระดับน้ำสูง โดยการสมมุติ ค่าระดับน้ำที่ทำให้สมการเป็นจริง ก็จะได้พื้นที่ช่องเปิดที่สามารถรองรับ Qp ได้ การสมมุติค่าระดับน้ำ อาจเริ่มต้นด้วยการสมมุติค่าความเร็วของการไหลของน้ำ (v) จากนั้นคำนวณพื้นที่ช่องเปิด (A) จากสูตร

$$A = Q/V$$

เมื่อได้พื้นที่ช่องเปิดที่ต้องการ นำไปตรวจสอบค่าระดับน้ำจากรูปตัดขวางของลำน้ำ นำค่าระดับน้ำที่ได้ไปคำนวณตัวแปรที่เหลือ คือ R = A/P แทนค่าต่างๆ ลงมาในสมการ Manning เพื่อตรวจสอบค่า Q ว่าเท่ากับ Qp หรือไม่ ถ้าค่า Q ที่ได้น้อยกว่าค่า Qp ก็ให้เพิ่มค่าระดับน้ำ ถ้าค่า Q ที่ได้มากกว่า Qp ก็ให้ลดค่าระดับน้ำลง จนกว่า Q จะเท่ากับ Qp การสมมุติค่าความเร็วการไหลของน้ำปกติใช้ค่า V= 1.70-2.0 เมตร/วินาที

ข.2) นำค่าระดับน้ำที่ได้จากข้อ ข.1 เขียนลงในรูปตัดขวางลำน้ำด้วยมาตราส่วนที่เหมาะสม

ข.3) กำหนดความยาวรวมของสะพานที่มีพื้นที่ช่องเปิดตามที่คำนวณได้ ซึ่งอาจใช้วิธีการเดียวกันกับวิธีการในข้อ ก.)

ในทางปฏิบัติวิศวกรควรคำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดของน้ำจากพื้นที่รับน้ำฝนตามวิธีการทางด้านอุทกวิทยาดังกล่าวในข้อ 2.1.1.4 เปรียบเทียบกับอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากข้อมูลสำรวจ (รูปตัดขวางลำน้ำ ระดับน้ำสูงสุด และความเร็วของน้ำ) หากผลการคำนวณใกล้เคียงกัน ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ได้ก็จะมีความน่าเชื่อถือสูง การผลการคำนวณมีความแตกต่างกันมากจะต้องทำการทบทวนตรวจสอบหาสาเหตุ ว่าวิธีการใดมีความผิดพลาด เพื่อจะได้สรุปค่า Q ที่ใช้ในการคำนวณช่องเปิดที่ใช้ในการออกแบบต่อไป

ความยาวรวมของสะพานที่ได้จากการดำเนินการตามขั้นตอนที่กล่าวข้างต้นเป็นความยาวสะพานขั้นต่ำโดยประมาณ เพื่อรองรับอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ ความยาวที่แท้จริงของสะพานอาจยาวกว่านี้ซึ่งจะมีผลมาจากเหตุผลอื่นๆ เช่น การจัดช่วงสะพาน (Span Arangement) ดินถมคอสะพานถ้าสูงเกินไป อาจต้องต่อเพิ่มความยาวออกไป เพื่อไม่ให้ดินถมคอสะพานสูงกว่าค่าที่ยอมให้ซึ่งขึ้นกับชนิดของโครงสร้าง Abutment และชั้นดินฐานรากบริเวณคอสะพาน นอกจากนั้นอาจเพิ่มความยาวสะพานเพื่อรองรับถนนกลับรถ (U-turn ใต้สะพาน) แต่ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ตอม่อสุดสะพานจะต้องอยู่นอกตลิ่งของลำน้ำทั้ง 2 ข้าง

4. การกำหนดความยาวช่วงสะพาน (Span Length) และตำแหน่งตอม่อ

หลักการโดยทั่วไปในการกำหนดความยาวช่วงสะพานต้องพยายามให้มีจำนวนตอม่อที่อยู่ในลำนำให้น้อยที่สุด ในอุดมคติ ถ้าไม่มีตอม่อในลำน้ำเลยดีที่สุดแต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำเช่นนั้นได้เพราะโดยทั่วไปความยาวช่วงยาวมาก โครงสร้างตัวสะพานก็จะมีขนาดใหญ่มาก ความหนาของโครงสร้างก็จะมากตามไปด้วย ต้องยกระดับสะพานสูงขึ้นเพื่อควบคุมช่องลอดสะพานก็จะต้องยาวขึ้น ที่สำคัญคือราคาค่าก่อสร้างก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่ขณะเดียวกันถึงแม้สะพานช่วงสั้นจะราคาถูกแต่การมีจำนวนตอม่อออยู่ในลำน้ำจำนวนมากจะเป็นอุปสรรคต่การไหลของน้ำ นอกจากจะลดพื้นที่ช่องน้ำแล้วจะเป็นตัวกีดขวางวัสดุลอยน้ำ เช่น แพซุง สวะ และขอนไม้ เป็นต้น ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้และเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางน้ำ ดังนั้นจึงควรเลือกขนาดความยาวช่วงสะพานให้เหมาะสมกับลำน้ำ โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆไปพร้อมๆกันทั้งปัจจัยด้านกายภาพของลำน้ำ เช่น ความกว้าง ความลึกของน้ำ การระบายน้ำ วัสดุลอยน้ำ การใช้ประโยชน์ของลำน้ำ เช่น ขนาดของเรือ เรือขุดลอก เป็นต้น และราคาค่าก่อสร้าง

แนวทางเบื้องต้นในการกำหนดความยาวช่วงสะพานหลักตามความกว้างของลำน้ำกำหนดดังนี้

- ลำน้ำกว้าง 10 – 70 เมตร ใช้ความยาวช่วงสะพาน 5.00 – 10.00 เมตร
- ลำน้ำกว้าง 70 – 150 เมตร ใช้ความยาวช่วงสะพาน 15.00 – 20.00 เมตร
- ลำน้ำกว้าง 150 เมตร ใช้ความยาวช่วงสะพาน 30.00 เมตร

โดยความยาวช่วงของแต่ละสะพานไม่จำเป็นต้องเท่ากันตลอดความยาวสะพาน เช่น อาจใช้สะพานช่วง 30.00 เมตรเฉพาะช่วงที่คร่อมลำน้ำหลัก แต่เมื่อใกล้ถึงตลิ่งอาจลดความยาวช่วงเหลือ 10.00เมตร ก็ได้ ซึ่งจะทำให้ค่าก่สร้างลดลง และเป็นประโยชน์ในการควบคุมช่องลอดในแนวดิ่ง กรณีที่ต้องการทำถนนกลับรถใต้สะพาน

แนวทางกำหนดความยาวช่วงสะพานเบื้องต้นดังกล่าว ต้องพิจารณาความคู่ไปกับปัจจัยอื่นๆ ดังกล่าวแล้ว เช่น กรณี ลำน้ำไม่กว้างมากนัก แต่ร่องน้ำและระดับน้ำลึกมาก การใช้สะพานช่วงสั้นที่มีตอม่อแบบ Pile Bent อาจไม่เหมาะสม ควรกำหนดเป็นสะพานช่วงยาวปานกลาง เช่น 20.00 เมตร เป็นช่วงสะพานหลัก เป็นต้น นอกจากนั้นกรณีที่สะพานอยู่ในพื้นที่ภูเขา หรือ ลำน้ำที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม หรือมีโอกาสที่จะมีวัสดุลอยน้ำที่เป็นขอนไม้ และสวะขนาดใหญ่จำนวนมาก การกำหนดความยาวช่วงสะพานในกรณีดังกล่าว ควรหลีกเลี่ยงการมีตอม่อกลางน้ำสำหรับลำน้ำที่กว้างไม่เกิน 20 เมตร ส่วนลำน้ำที่กว้างกว่า 20 เมตร ก็ให้กำหนดความยาวช่วงสะพานหลักที่คร่อมลำน้ำ ไม่น้อยกว่า 20.00 เมตร ส่วนช่องลอดในแนวดิ่ง ควรกำหนดไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร

ในทุกกรณีตำแหน่งตอม่อจะต้องไม่อยู่บริเวณกึ่งกลางของร่องน้ำหลัก

5. การกำหนดความกว้างสะพาน กำหนดให้ออกแบบสะพานให้มีความกว้างเต็มคันทาง (ผิวจราจร + ไหล่ทางทั้ง 2 ข้าง) ในกรณีที่เป็นถนน 2 ช่องจราจร แบบรถวิ่งสวนทาง ถ้าความกว้างของคันทางน้อยกว่า 11.00 เมตร ให้อกแบบสะพานกว้างไม่น้อยกว่า 11.00 เมตร เพื่อรองรับ การขยายเพิ่มเติมมาตรฐานความกว้างถนนในอนาคต

6. มุมเฉียงของสะพาน ต้องออกแบบสะพานให้ตอม่อสะพานมีมุมทแยงตาม มุมเฉียงแนวลำน้ำ ตัดกับแนวทาง เพื่อลดการกีดขวางการไหลของน้ำและป้องกันสวะ และวัสดุลอยน้ำ ลอยมาปะทะและติดอยู่กับตอม่อของสะพาน การพิจารณามุมเฉียงของลำน้ำต้องพิจารณาแนวโดยรวมของลำน้ำ จนสุดเขตทางทั้ง 2 ข้าง กรณีที่ลำน้ำมีการคดเคี้ยวในเขตทางอาจจำเป็นต้องปรับแนวลำน้ำภายในเขตทางจนสุดเขตทางโดยอาศัยจุดที่น้ำไหลเข้าสู่เขตทาง และไหลอกจากเขตทางเป็นตัวกำหนดแนงทางของลำน้ำที่ปรับปรุงใหม่ ทั้งนี้เพื่อรองรับการขยายถนนเป็น 4 ช่องจราจรหรือมากกว่า

7. การป้องกันการกัดเซาะกำหนดให้สะพานทุกแห่งอย่างน้อยจะต้องมี Concrete Slope Protection เพื่อป้องกันการกัดเซาะร่องน้ำบริเวณคอสะพาน และเพื่อให้การลงไปสำรวจใต้สะพานทำได้สะดวก สำหรับสะพานที่อยู่ในคุ้งน้ำ หรือ ช่วงที่มีปัญหาการกัดเซาะลำน้ำจะต้องออกแบบป้องกันการกัดเซาะเป็นพิเศษซึ่งอาจเป็นการลาดคอนกรีต เรียงหิน หรือใช้ Reno-matress และ Gabain เป็นต้น

8. โครงสร้างประกอบ ในการออกแบบสะพานจำเป็นต้องมีโครงสร้างประกอบเพื่อให้การใช้งานมีความสมบูรณ์ ดังนี้

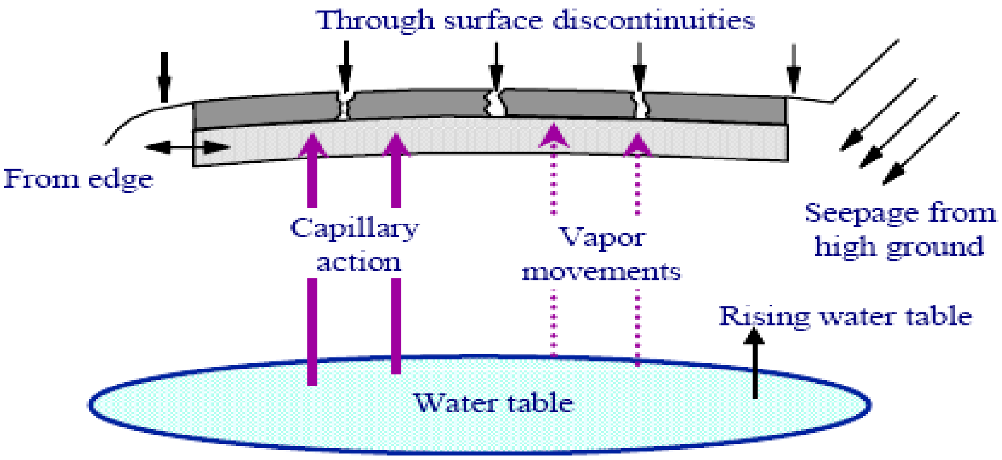
- Bridge Approach Slab เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ต่อจากตอม่อสุดสะพานทั้ง 2 ข้าง โดยมีปลายด้านหนึ่งวางอยู่บนโครงสร้างตอม่อสุดสะพาน เพื่อให้รถวิ่งขึ้นสะพานโดยราบเรียบไม่สะดุดหรือกระแทกตอม่สุดสะพานที่จะเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุต่อการจราจร และสร้างความเสียหายกับโครงสร้างได้ กำหนดให้ก่อสร้างในสะพานทุกแห่ง

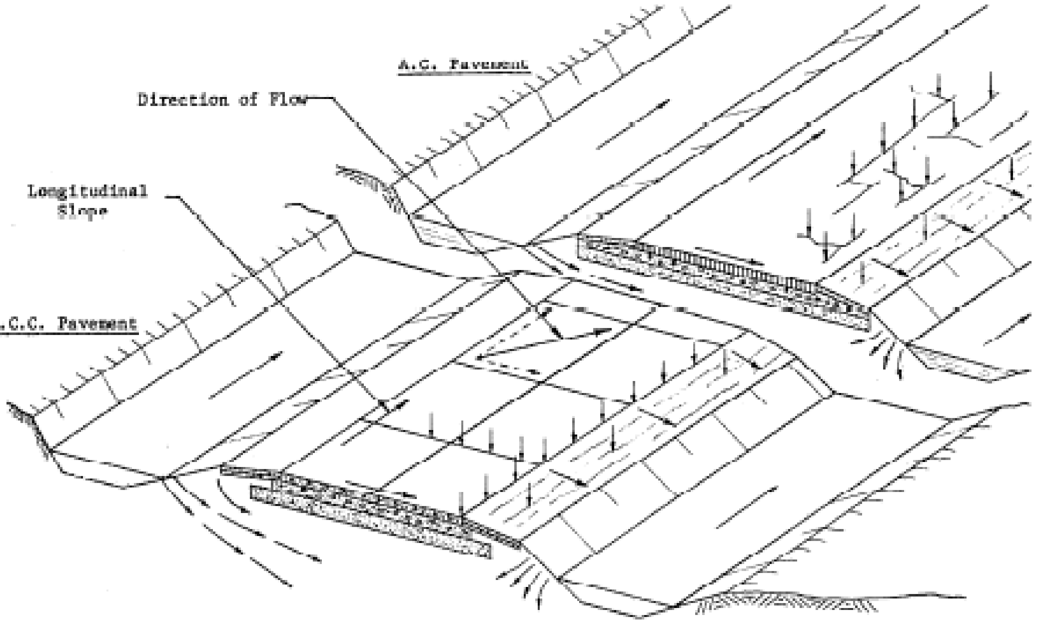
- Bearing Unit เป็นโครงสร้างที่ใช้เพื่อปรับการทรุดตัวของคันทางบริเวณเชิงลาดสะพานให้เป็นไปอย่างมีระเบียบจากตอม่อสุดสะพานเข้ามาหาคันทางปกติ ออกแบบใช้ในกรณีที่ตำแหน่งก่อสร้างสะพานอยู่ในบริเวณที่ชั้นดิน ฐานรากเป็นดินอ่อน และมีปัญหาการทรุดตัวของคันทาง
- Abutment Protector เป็นโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อป้องกันแรงดันดินด้านข้างที่จะกระทำต่อตอม่อสุดสะพานที่เป็น Pile Bent ในกรณีที่ดินถมคอสะพานสูงกว่า

## 2.3 ระบบระบายน้ำใต้ดิน (Subsurface Drainage System)

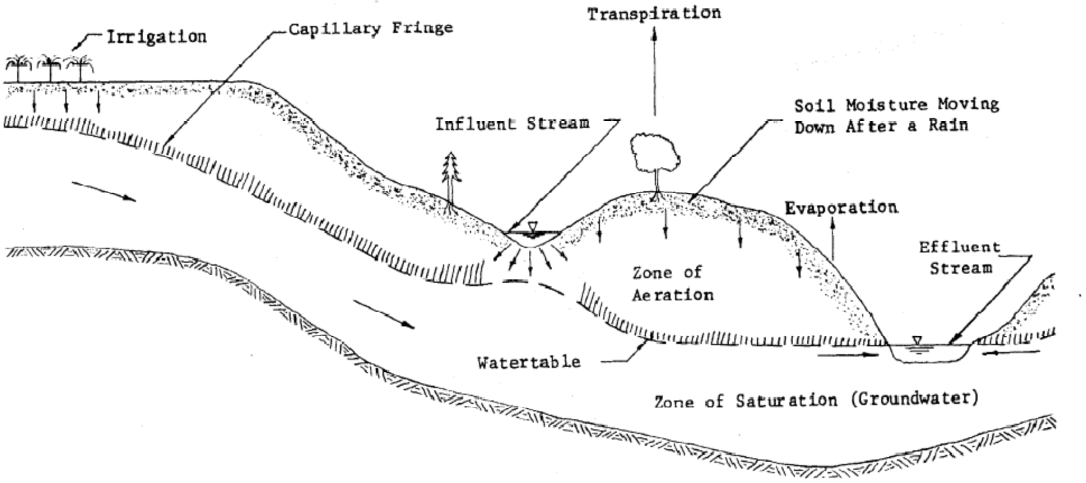
### 2.3.1 ลักษณะความเสียหายจากน้ำใต้ดินต่องานทางหลวง

น้ำใต้ดิน (Groundwater) ที่ขังอยู่ในชั้นดินฐานรากและชั้นโครงสร้างทางมาจากหลายแหล่งที่มา ดังแสดงในรูปที่ 2.3-1 น้ำผิวดินหรือน้ำฝนสามารถแทรกซึมลงสู่ชั้นโครงสร้างทาง (Infiltration) ผ่านผิวทาง ไหล่ทาง รอยต่อ (Joints) รอยแตก (Cracks) และรอยชำรุด (Defects) ต่างๆ บนผิวทาง หรืออาจไหลซึมมาจากรางระบายน้ำข้างทาง (Side Ditch Lining) ท่อลอด เกาะกลางถนน ทั้งแบบ Depressed และ Raised Median นอกจากนี้ยังมีน้ำใต้ดินที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งไหลซึมมาจากแอ่งน้ำ ลำน้ำ ทะเลสาบ บึง บ่อเก็บน้ำ หรือแหล่งเก็บน้ำชั่วคราว จากระดับน้ำที่สูงกว่าลงสู่ระดับที่ต่ำกว่า หรืออาจเกิดจากการผุดขึ้นเนื่องจากแรงดันน้ำใต้ผิวดิน






**รูปที่ 2.3-1** แหลงที่มาของน้ำใต้ดิน




**รูปที่ 2.3-1** แหล่งที่มาของน้ำใต้ดิน (ต่อ)

น้ำใต้ดินสร้างความเสียหายต่องานทางหลวงนานาประการ อาทิ ปัญหาการอัดทะลัก (Pumping) ของถนนคอนกรีต ปัญหาวัสดุชั้นทางเสื่อมคุณภาพและกำลังรับน้ำหนักบรรทุก (Load Carrying Capacity) ลดลง ปัญหาการหลุดร่อนของผิวทางลาดยาง ปัญหาการแตกร้าว (Cracking) ของถนนคอนกรีตและถนนลาดยาง ปัญหาการสูญเสียมวลวัสดุรองรับน้ำหนักบรรทุกใต้ผิวทาง (Loss of Support) ปัญหาการพังทลายของเชิงลาด เป็นต้น

ปัญหาน้ำขังใต้ผิวทางในชั้นโครงสร้างทางและชั้นดินฐานราก ปัญหาน้ำซับน้ำซึมในชั้นทางและคันทางเนื่องจากน้ำใต้ดิน ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำงานก่อสร้าง (Constructibility) สมรรถนะของโครงสร้างถนน (Pavement Performance) และเสถียรภาพความมั่นคงของเชิงลาด (Slope Stability) ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีด้วยกันหลายลักษณะ แต่สามารถจำแนกเป็น 2 กลุ่มหลัก ดังนี้

**2.3.1.1 ความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทาง**

ลักษณะความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางเนื่องจากน้ำใต้ดินที่พบเห็นได้บ่อยครั้ง สามารถจัดจำแนกตามปัญหาที่เกิดกับทางหลวง ดังนี้

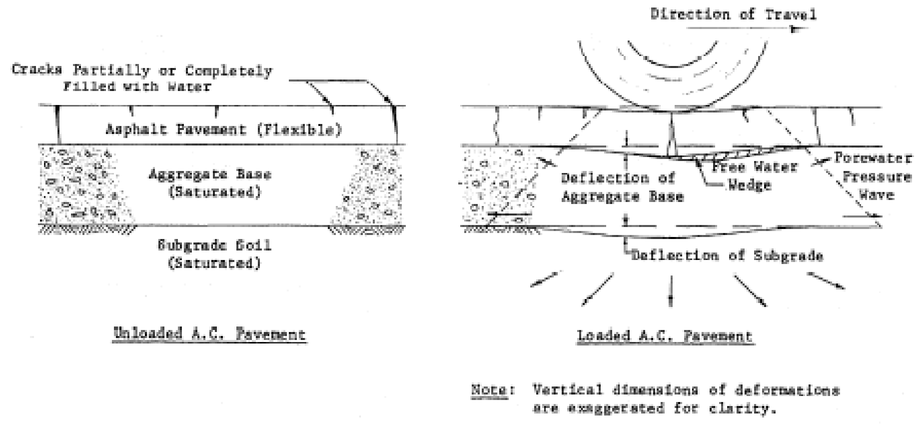
**ก) ปัญหาการระบายน้ำ**

ลักษณะความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางที่มีสาเหตุเกิดจากการขาดระบบการจัดการระบายน้ำใต้ดิน จนเป็นเหตุให้น้ำใต้ดินที่ไหลซึมผ่านเข้ามาไม่มีช่องทางระบายออก ทำให้ซึมขังภายในชั้นโครงสร้างทาง ทั้งนี้น้ำใต้ดินอาจไหลซึมมาจากเกาะกลางถนน รางระบายน้ำข้างทาง รอยแตกบนผิวทาง หรือลาดตัด (Back Slope) เมื่อน้ำใต้ดินไหลซึมสะสมในชั้นโครงสร้างทางเป็นเวลานานและมีปริมาณเพิ่มขึ้น โครงสร้างชั้นทางอาจอยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated) วัสดุชั้นทางเกิดการอ่อนตัว (Soft) กำลังรับน้ำหนักบรรทุกลดลง เกิดความเสียหายเป็นรอยแตกหนังจระเข้บนผิวจราจร ผิวทางหลุดล่อน และเสียรูป วิธีการซ่อมบำรุงไม่ว่าจะเป็นการปะซ่อมผิวทาง (Skin Patching) หรือการขุดซ่อมผิวทาง (Deep Patching) ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ หากไม่มีการออกแบบระบบจัดการระบายน้ำใต้ดินอย่างเหมาะสมและถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ความเสียหายก็มักจะเกิดขึ้นอย่างซ้ำซากและทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นตามปริมาณจราจร ดังรูปที่ 2.3-2

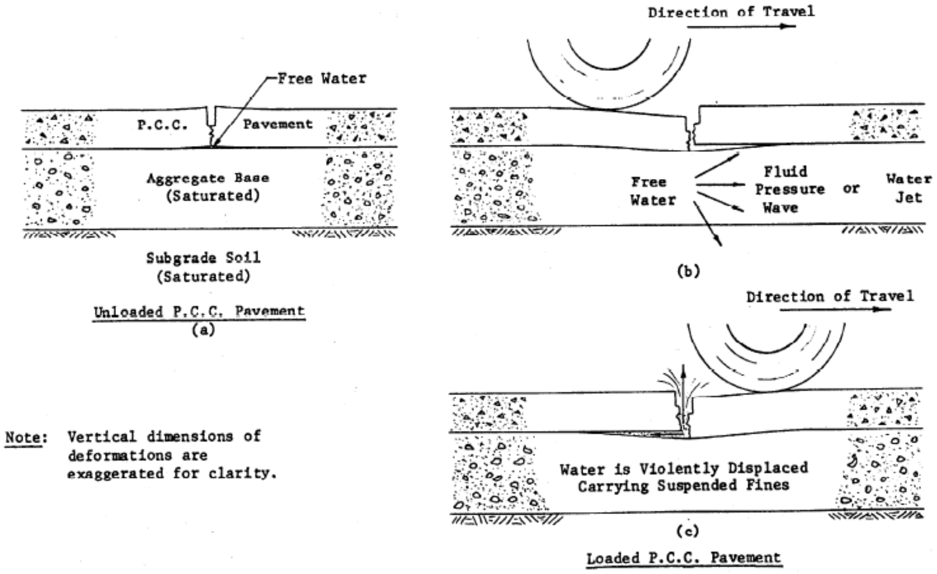
**ข) ปัญหาพื้นที่รับน้ำ**

ลักษณะความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางที่มีสาเหตุเกิดจากถนนตั้งอยู่บนลักษณะภูมิประเทศที่เป็นจุดหรือพื้นที่รับน้ำ เช่น Sag Curve, Super Elevation เป็นต้น น้ำผิวดินสามารถไหลสะสมรวมตัวกันบริเวณดังกล่าวในปริมาณมาก หรืออาจเป็นพื้นที่ภายใต้สภาวะแรงดันน้ำสูง (High Pore Water Pressure Development) เช่น การผุดขึ้นของน้ำใต้ดินบริเวณตาน้ำ (Localized Spring) ส่งผลให้ชั้นโครงสร้างทางสัมผัสความชื้นสะสมตลอดเวลา กำลังรับน้ำหนักจราจรของวัสดุชั้นทางลดลง (Loss of Strength under Dynamic Loading) ดังรูปที่ 2.3-3 ถนนตัดผ่านพื้นที่ดังกล่าวจึงมักเกิดความเสียหายอยู่บ่อยครั้งและซ้ำซาก โดยลักษณะความเสียหายที่พบ ได้แก่ ผิวทางหลุดล่อน รอยแตกหนังจระเข้ การเกิดหลุมบ่อ ผิวทางเสียรูป ผิวทางและชั้นทางแอ่นหรือยุบตัว ดังรูปที่ 2.3-4

**รูปที่ 2.3-2** ความเสียหายจากน้ำใต้ดินที่มีสาเหตุมาจากปัญหาการระบายน้ำ




ก) ถนนลาดยาง



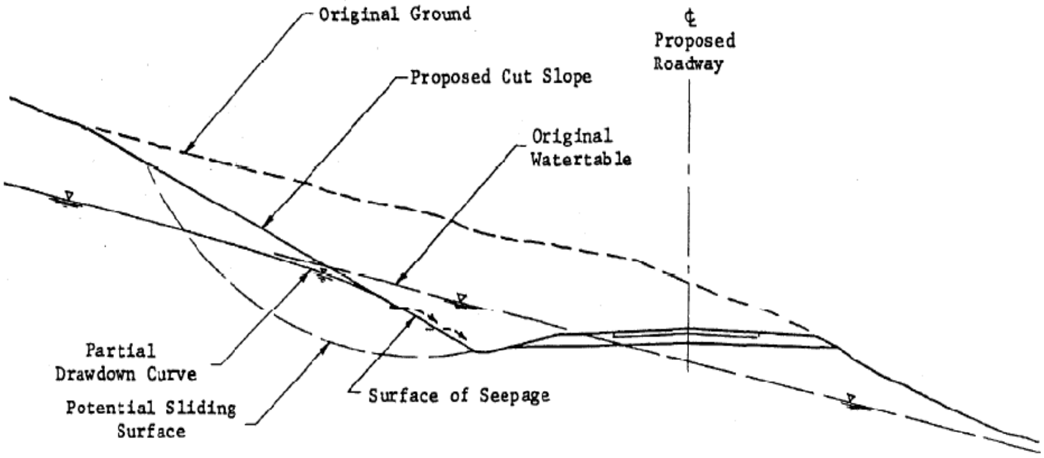

ข) ถนนคอนกรีต

**รูปที่ 2.3-3** กลไกการเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้นสะสมในชั้นโครงสร้างทาง

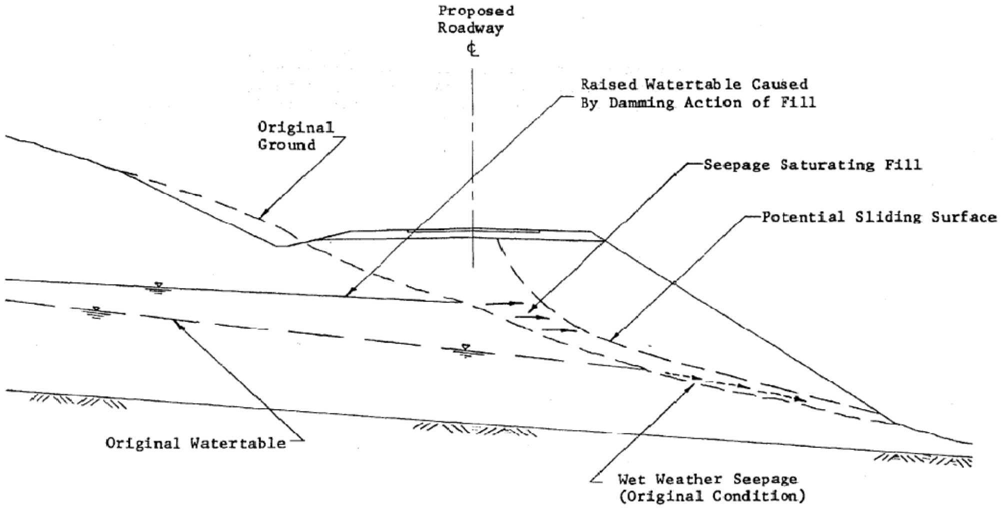
**รูปที่ 2.3-4** ความเสียหายเนื่องจากปัญหาพื้นที่รับน้ำ

**ค) ปัญหาการตัดถนนผ่านภูเขา (Full/Block Cut)**

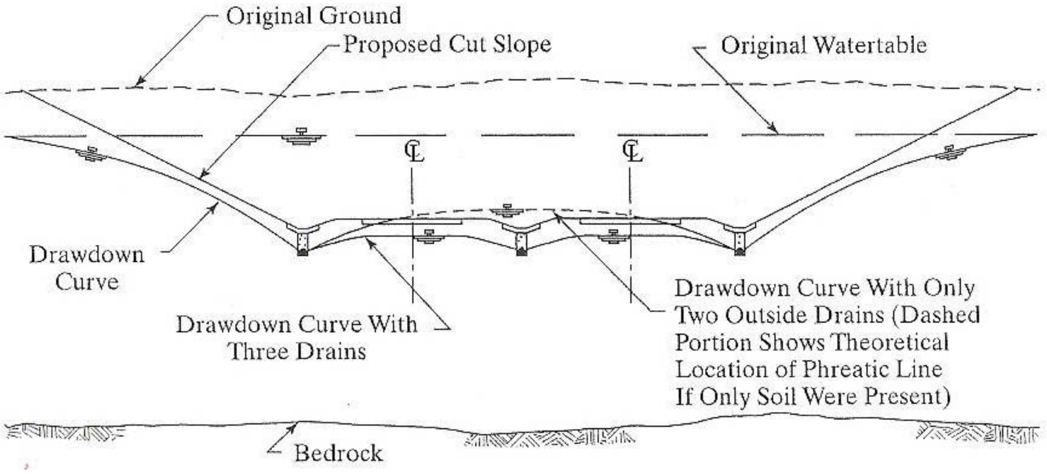
ลักษณะความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางที่มีสาเหตุหลักเกิดจากการก่อสร้างถนนขวางเส้นทางการไหลทางธรรมชาติของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 2.3-5) การก่อสร้างถนนปิดทับระดับน้ำใต้ดิน (รูปที่ 2.3-6) การตัดถนนผ่านภูเขา (รูปที่ 2.3-7) เป็นต้น เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขามักมีระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างสูง เมื่อมีการตัดถนนผ่านบริเวณดังกล่าว น้ำใต้ดินจากระดับสูงกว่า (บนภูเขา) จะไหลลงสู่ระดับต่ำกว่า (ชั้นโครงสร้างทาง) เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ส่งผลให้ชั้นโครงสร้างทางอยู่ภายใต้การกระทำของสภาวะแรงดันน้ำใต้ดินตลอดเวลา ชั้นโครงสร้างทางจึงอยู่ในสภาวะเปียกและชุ่มน้ำ วัสดุชั้นทางเกิดการอ่อนตัว (Soft) ในที่สุด หากไม่ได้รับการซ่อมแซมแก้ไขอย่างเร่งด่วน ถนนก็จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงได้ ดังรูปที่ 2.3-8




**รูปที่ 2.3-5** การก่อสร้างถนนขวางเส้นทางการไหลทางธรรมชาติของน้ำใต้ดิน




**รูปที่ 2.3-6** การก่อสร้างถนนปิดทับระดับน้ำใต้ดิน




**รูปที่ 2.3-7** การตัดถนนผ่านภูเขา

**รูปที่ 2.3-8** ความเสียหายเนื่องจากปัญหาการตัดถนนผ่านภูเขา

**ง) ปัญหาจากขั้นตอนและรูปแบบการก่อสร้าง**

ลักษณะความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางที่มีสาเหตุมาจากขั้นตอนและรูปแบบการก่อสร้างบกพร่อง อาทิ ขั้นตอนและรูปแบบการก่อสร้างไม่เป็นไปตามมาตรฐานและข้อกำหนดการก่อสร้างของกรมทางหลวง ดังรูปที่ 2.3-9 การชำรุดเสียหายของชั้นโครงสร้างทางเนื่องจากปัญหาการก่อสร้างเกิดจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ (1) วัสดุที่นำมาใช้ไม่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด เช่น วัสดุไม่แข็งแกร่งพอ เมื่อได้รับน้ำหนักกระทำจึงแตก (2) การควบคุมคุณภาพการบดอัดไม่เพียงพอหรือไม่สม่ำเสมอ (3) การก่อสร้างขณะฝนตก (4) มีน้ำท่วมขังบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น

สาเหตุความเสียหายที่ได้กล่าวมานั้น สามารถแก้ไขได้ไม่ยาก หากนายช่างผู้ควบคุมงานเข้มงวดกวดขันขณะก่อสร้างซึ่งเป็นเรื่องจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง โดยเริ่มต้นจากขั้นตอนการตรวจสอบวัสดุที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง เครื่องจักรที่จะใช้ในการบดอัดต้องมีประสิทธิภาพและอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี การควบคุมและตรวจสอบการบดอัดจะต้องดำเนินการอย่างเข้มงวดและทั่วถึง เพื่อจะป้องกันมิให้เกิดจุดอ่อนตัว (Soft Spot) ในช่วงใดช่วงหนึ่งของการก่อสร้าง หากมีฝนตกขณะก่อสร้างก็ไม่ควรทำการขุดรื้อหรือเปิดชั้นดินทิ้งไว้หรือไม่ควรปล่อยให้มีน้ำท่วมขังบริเวณพื้นที่ก่อสร้างเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการชำรุดเสียหายเมื่อเปิดการใช้งาน

**จ) ปัญหาของถนนบนภูเขา**

ลักษณะความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางที่มีสาเหตุเนื่องจากถนนก่อสร้างบนลักษณะภูมิประเทศซึ่งเป็นภูเขา ปริมาณน้ำใต้ดินค่อนข้างมาก มีระดับน้ำใต้ดินสูง โดยสังเกตได้จากต้นไม้ข้างทางเจริญเติบโตได้ดี การก่อสร้างถนนบนภูเขามักประสบปัญหาการผุดขึ้นของน้ำใต้ดินบนผิวทาง ปัญหาน้ำซับน้ำซึมช่วงทางโค้ง จุดที่มีน้ำใต้ดินไหลมาบรรจบกัน หรือบริเวณที่อยู่ติดกับรางระบายน้ำและลาดตัด (Back Slope) หากขาดระบบการจัดการระบายน้ำใต้ดิน รางระบายน้ำชำรุดเสียหายหรือผิวทางแตก ก็จะเป็นเหตุให้น้ำใต้ดินไหลซึมเข้าไปในชั้นโครงสร้างทาง และสร้างความเสียหายเป็นรอยแตกหนังจระเข้เป็นแนวยาว ผิวทางหลุดล่อน ขนานไปตามทิศทางการไหลซึมของน้ำใต้ดิน ดังรูปที่ 2.3-10

**รูปที่ 2.3-9** ความเสียหายจากน้ำใต้ดินที่มีสาเหตุมาจากขั้นตอนและรูปแบบการก่อสร้าง

**รูปที่ 2.3-10** ความเสียหายจากน้ำใต้ดินที่มีสาเหตุมาจากสภาพภูมิประเทศซึ่งเป็นภูเขา

**2.3.1.2 ความเสียหายต่อคันทาง**

ในบางพื้นที่การไหลซึมผ่านและท่วมขังของน้ำใต้ดินก่อให้เกิดปัญหาด้านความแข็งแรงและเสถียรภาพความมั่นคงของคันทาง เช่น บริเวณลาดคันทาง บริเวณไหล่เขา บริเวณคันทางถมสูงและชันบริเวณพื้นที่ดินอ่อน เป็นต้น ลักษณะพื้นที่ดังกล่าวมักประสบปัญหาการสูญเสียเสถียรภาพของคันทาง ปัญหาการเคลื่อนตัวของคันทาง (รูปที่ 2.3-11) ปัญหาการทรุดตัว (รูปที่ 2.3-12) ปัญหาการพังทลายบนพื้นที่ดินอ่อน (รูปที่ 2.3-13) ลักษณะความเสียหายต่อคันทางเนื่องจากปัญหาน้ำใต้ดิน สามารถจำแนกตามลักษณะความเสียหายได้ดังนี้

**ก) การขาดเสถียรภาพและเคลื่อนตัว**

คันทางบนภูเขาซึ่งมีลักษณะถมสูงและชัน คล้ายเขื่อน มักประสบปัญหาการขาดเสถียรภาพและเกิดการเคลื่อนตัวเนื่องจากน้ำใต้ดินไหลซึมผ่านหรือขังอยู่ในคันทาง เนื่องจากน้ำส่งผลกระทบโดยตรงต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน และเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรงของคันทาง การไหลซึมของน้ำใต้ดินผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคดินทำให้แรงกระทำระหว่างอนุภาคดินลดลง ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง คันทางจึงเกิดการเคลื่อนตัวและพังทลายลงมาในที่สุด

**รูปที่ 2.3-11** ความเสียหายของคันทางเนื่องจากการขาดเสถียรภาพและเคลื่อนพัง

**ข) การทรุดตัว**

การทรุดตัวของคันทางเนื่องจากน้ำใต้ดิน เกิดจากปัญหาน้ำใต้ดินที่ไหลซึมขังอยู่ในคันทาง และไม่สามารถระบายออกจากคันทางได้ เมื่อคันทางอยู่ในสภาพแช่น้ำเป็นเวลานาน จะส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักและเสถียรภาพความมั่นคงในระยะยาว โดยเฉพาะการคืบ (Creep) เนื่องจากน้ำหนักของวัสดุเอง ประกอบกับน้ำซึ่งเคลือบอนุภาคดิน พื้นที่ผิว (Surface Area) ของอนุภาคดินที่ถูกห่อหุ้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ขังอยู่ในดิน และระยะเวลาที่ถูกแช่น้ำ ซึ่งส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดินลดลง และไม่สามารถรับน้ำหนักตัวเองได้ คันทางจึงเกิดการคืบหรือการทรุดตัวอย่างช้าๆ ดังรูปที่ 2.3-12

**รูปที่ 2.3-12** ความเสียหายของคันทางเนื่องจากการทรุดตัว

**ค)** การพังทลายบนพื้นที่ดินอ่อน

ดินอ่อนหรือดินเหนียวอ่อนจะมีคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนต่ำมาก มีการยุบอัดตัวสูง เมื่อมีแรงมากระทำ และมีปริมาณน้ำในดินค่อนข้างสูง คันทางก่อสร้างบนพื้นที่ดินอ่อนโดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งมีชั้นดินฐานรากเป็นดินเหนียวอ่อนหนาและปกคลุมเป็นบริเวณกว้าง จึงประสบปัญหาที่สำคัญ 2 ประการคือ ปัญหาทางด้านเสถียรภาพของคันทาง และปัญหาทางด้านการทรุดตัว โดยเฉพาะกระบวนการทรุดอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement) ถือเป็นสาเหตุสำคัญของการทรุดตัวของคันทางก่อสร้างบนดินเหนียวอ่อน

**รูปที่ 2.3-13** ความเสียหายของคันทางเนื่องจากการพังทลายบนพื้นที่ดินอ่อน

### 2.3.2 การออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกับสมรรถนะและอายุการใช้งานของถนน โดยทั่วไปการไหลของน้ำใต้ดินผ่านวัสดุชั้นทางเกิดจากผลของแรงกระทำต่อไปนี้ คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) แรงดึงน้ำในดิน (Capillary Pressure) แรงดันไอน้ำ (Vapor Pressure) หรือแรงที่กล่าวมาร่วมกัน การก่อสร้างและการบูรณะปรับปรุงโครงสร้างชั้นทางจำเป็นต้องมีระบบการจัดการระบายน้ำใต้ดินที่มีประสิทธิภาพและมีปริมาณเพียงพอ เพื่อช่วยให้โครงสร้างชั้นทางมีความแข็งแรงตามที่ออกแบบและมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ดังนั้นการออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำใต้ดินจึงต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องอายุการใช้งาน งานตรวจสอบ และงานบำรุงรักษาในระยะยาว เพื่อให้มั่นใจว่าระบบระบายน้ำยังใช้งานได้ดีตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำตามระยะเวลาหลังผ่านการใช้งานไปแล้วสามารถนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณการไหลของ

น้ำภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จได้ หากปริมาณการไหลของน้ำน้อยลง แสดงว่าถึงกำหนดเวลาบำรุงรักษาระบบระบายน้ำแล้ว เป็นต้น

ในทางหลวงสายหลักที่มีปริมาณรถบรรทุกหนักแล่นผ่านหรือเส้นทางคมนาคมที่สำคัญ การพิจารณาออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดินเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของถนนเนื่องจากน้ำใต้ดินก่อนครบกำหนดอายุการออกแบบ แต่อย่างไรก็ดีตามหลักการแล้ว ระบบระบายน้ำใต้ดินอาจไม่มีความจำเป็น หากปริมาณน้ำที่รับเข้ามา (Inflow) น้อยกว่าปริมาณน้ำที่ระบายออกไป (Outflow) จากชั้นโครงสร้างทางและคันทาง ดังนั้นการออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดินอาจพิจารณาเฉพาะในกรณีที่จำเป็นเท่านั้นดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3.1 แนวทางการออกแบบก่อสร้างและป้องกันแก้ไขโดยวิธีการควบคุมหรือลดผลกระทบของน้ำใต้ดินในโครงสร้างชั้นทางและคันทางจากสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำหรือสภาวะที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง แบ่งได้ 3 แนวทาง ดังนี้

1) แนวทางการป้องกันและหลีกเลี่ยง เป็นการป้องกันและหลีกเลี่ยงไม่ให้น้ำไหลเข้าสู่โครงสร้างชั้นทางตลอดอายุการใช้งานของถนน อาทิ การออกแบบระดับความลาดชันตามขวาง (Cross Slope) และตามยาว (Longitudinal Slope) อย่างเหมาะสมตามลักษณะสภาพภูมิประเทศเพื่อให้น้ำผิวดินระบายออกจากผิวทางได้อย่างรวดเร็ว การฉาบผิวเพื่ออุดรอยแตก รอยต่อ และความไม่ต่อเนื่องต่างๆ เพื่อลดปริมาณการไหลซึมของน้ำผิวดินเข้าสู่ชั้นโครงสร้างทาง

2) แนวทางการออกแบบเลือกใช้วัสดุชั้นโครงสร้างทางเพื่อลดผลกระทบเนื่องจากน้ำ เป็นการออกแบบเพื่อคัดเลือกวัสดุชั้นทางที่มีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ ไม่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพความชื้น ได้แก่ วัสดุจำพวกเม็ดหยาบที่มีส่วนละเอียดน้อย วัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ วัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยยางมะตอย เป็นต้น

3) แนวทางการออกแบบแก้ไขการระบายน้ำ เป็นการออกแบบระบบและ/หรือรูปแบบการระบายน้ำในชั้นโครงสร้างทาง ได้แก่ ชั้นระบายน้ำใต้ดิน (Drainage Layer หรือ Blanket) ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain หรือ Underdrain) การเจาะและวางท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain) เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดระดับน้ำใต้ดินในโครงสร้างชั้นทางอย่างถาวร และ/หรือตัดกระแสน้ำใต้ดิน รวมทั้งเร่งการระบายและกำจัดน้ำที่ไหลซึมเข้ามาในชั้นทาง

ระบบระบายน้ำใต้ดิน (Subsurface Drainage System) มีหลายรูปแบบ สามารถจัดแบ่งตามแหล่งที่มาของน้ำใต้ดิน หน้าที่ของระบบระบายน้ำใต้ดิน ตำแหน่งและลักษณะทางเรขาคณิตของระบบระบายน้ำใต้ดิน เป็นต้น สำหรับคู่มือฯนี้จะพิจารณาระบบระบายน้ำใต้ดิน จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) ชั้นระบายน้ำใต้ดิน (Drainage Layer หรือ Blanket), (2) ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain หรือ Underdrain) ตามยาวและขวางของถนน และ (3) การเจาะและวางท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain) โดยมีรายละเอียดของแต่ละรูปแบบดังนี้

### 2.3.2.1 ชั้นระบายน้ำใต้ดิน (Drainage Layer หรือ Blanket)

**<u>หลักการออกแบบ</u>**

หลักการวิเคราะห์การไหลของน้ำใต้ดินภายใต้แรงดัน (Artesian Flow หรือ Confined Flow) สามารถอธิบายได้จากกฎของดาร์ซี่ (Darcy's Law) ซึ่งเป็นวิธีคำนวณอัตราการไหลซึมของน้ำใต้ดิน (Seepage Flow Rate) ผ่านดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soils) วิธีดังกล่าวนิยมใช้คำนวณหาความจุของชั้นระบายน้ำใต้ดิน

$$v = k\,i \qquad \text{......................(1)}$$

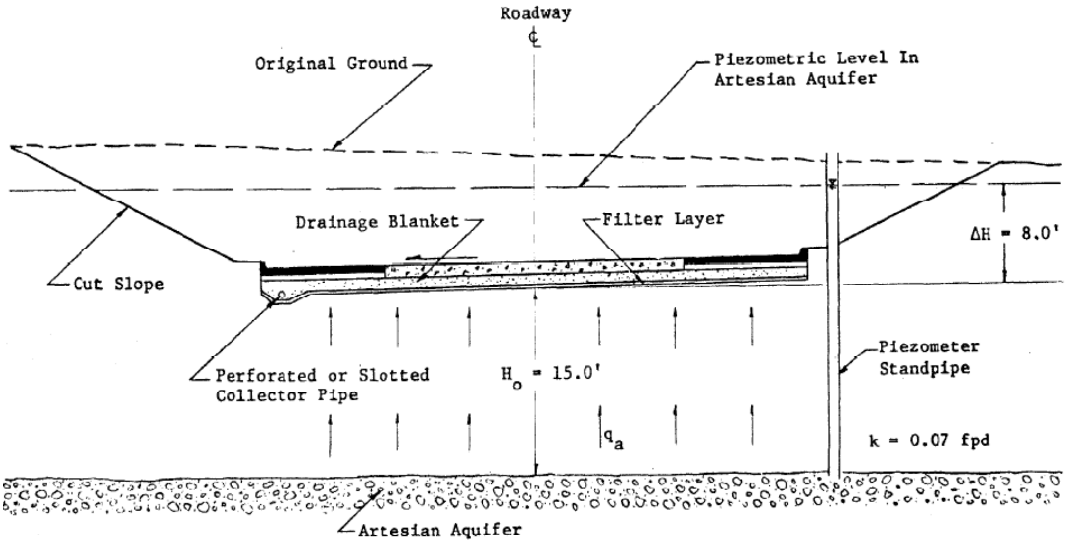
เมื่อ v คือ ความเร็วของการไหลของน้ำใต้ดินผ่านวัสดุ (Discharge Velocity), k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านของวัสดุ (Coefficient of Permeability) และ i คือ ศักย์การไหลของน้ำ (Hydraulic Gradient) ความเร็วของการไหลของน้ำใต้ดินสามารถนำไปคำนวณหาอัตราการไหลซึมของน้ำใต้ดินผ่านวัสดุได้ ดังนี้

$$q_a = v A = k\,i\,A \qquad \text{.....................(2)}$$

โดยที่ $q_a$ คือ อัตราการไหลซึมหรือปริมาณการไหลซึมของน้ำใต้ดินภายใต้แรงดันต่อหนึ่งหน่วยเวลา และ A คือ พื้นที่หน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ทั้งนี้อัตราการไหลดังที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงสมมติฐานอัตราการไหลที่ได้จากความเร็วของการไหลของน้ำใต้ดินในอุดมคติ ไม่ใช่ความเร็วของการไหลของน้ำใต้ดินผ่านช่องว่างหรือโพรงอากาศในวัสดุที่แท้จริง (Actual Seepage Velocity) กฎของดาร์ซี่จะใช้ได้ดีในสภาพการไหลซึมผ่านชั้นดินในธรรมชาติ ซึ่งมีค่า k ไม่เกิน 3,000 ฟุตต่อวัน

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินภายใต้แรงดัน (Artesian Flow) ผ่านชั้นระบายน้ำใต้ดินดังรูปที่ 2.3-14 วัสดุเหนือชั้น Artesian Aquifer เป็นดิน Clayey Silt มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านของวัสดุ (k) = 0.07 ฟุตต่อวัน ระดับแรงดันน้ำจาก Piezometer เทียบกับระดับชั้นระบายน้ำใต้ดินเท่ากับ 8 ฟุต ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำใต้ดินแทนค่าในสมการที่ (1) ได้ดังนี้

$q_a$ = 0.07(8/15) = 0.04 ลบ.ฟุตต่อวันต่อตร.ฟุต




**รูปที่ 2.3-14** ตัวอย่างการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินภายใต้แรงดันผ่านชั้นระบายน้ำใต้ดิน

ในกรณีการไหลของน้ำใต้ดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วง อัตราการไหลเฉลี่ย ($q_g$) ที่ใช้ในการออกแบบสามารถประมาณได้จากแผนภูมิในรูปที่ 2.3-15 โดยขั้นแรกจะต้องหาค่า Drawdown Influence Distance ($L_i$) จากสมการดังนี้

$$L_i = 3.8\,[H - H_o] \qquad \text{.............................(3)}$$

เมื่อ $L_i$ = Drawdown Influence Distance (ฟุต)

$H - H_o$ = ระดับ Drawdown (ฟุต)

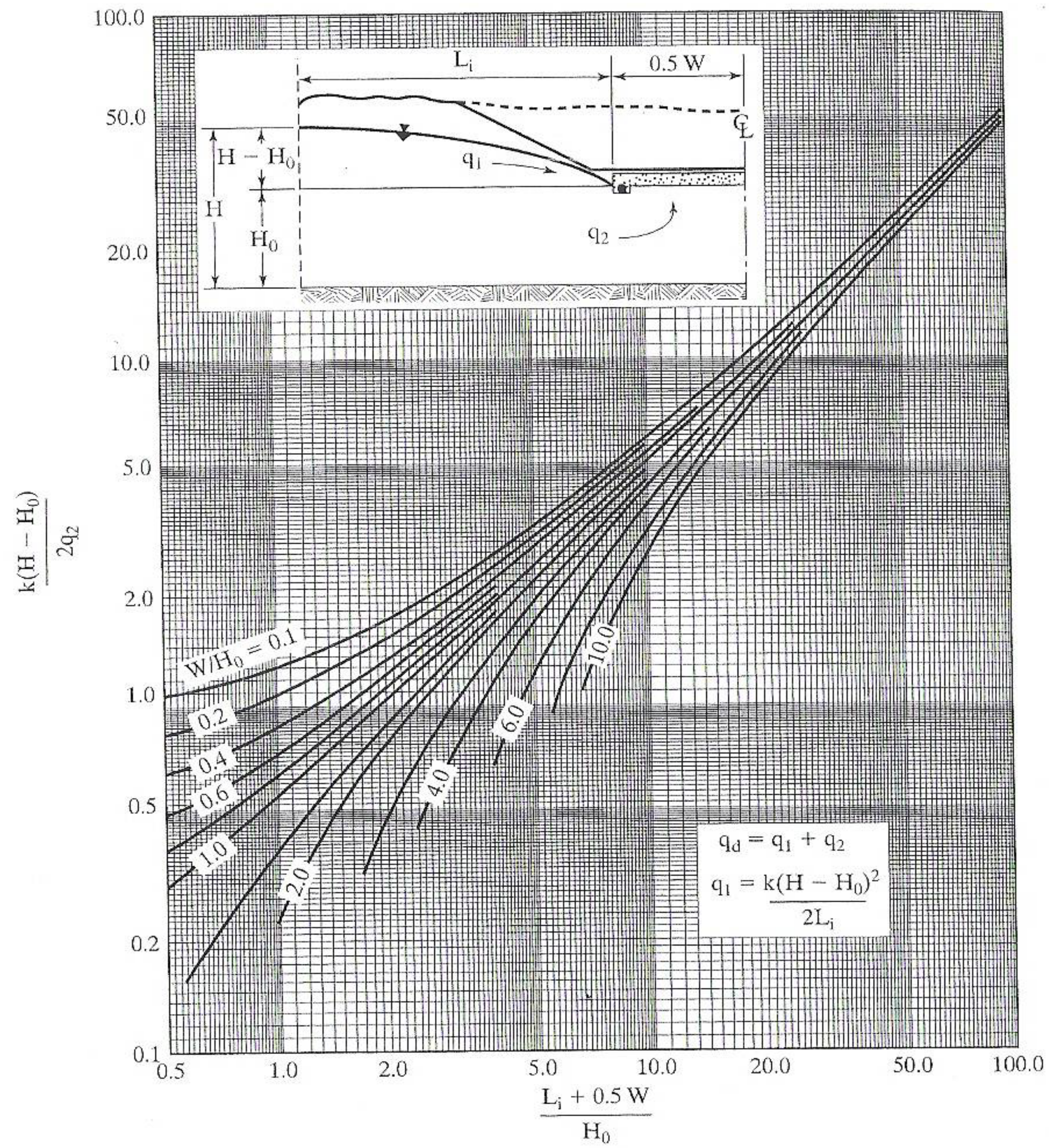
เมื่อได้ค่า $L_i$ แล้วจากรูปที่ 2.3-15 ปริมาณของ Upward Flow ทั้งหมดที่ไหลเข้าสู่ชั้นระบายน้ำได้ ($q_2$) ค่าอัตราการไหลเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_1 = k[H - H_o]^2/2L_i \qquad \text{................................(4)}$$

$$q_g = q_2/0.5W \qquad \text{................................(5)}$$

$$q_d = q_1 + q_2 \qquad \text{................................(6)}$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านวัสดุ หน่วยฟุตต่อวัน, $q_1$ คือ อัตราการไหลของน้ำใต้ดินในแนวราบจากด้านซ้ายไปขวา หน่วยลบ.ฟุตต่อวันต่อฟุต, $q_d$ คืออัตราการไหลของน้ำใต้ดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ใช้ในการออกแบบ หน่วยลบ.ฟุตต่อวันต่อฟุต และ W คือ ความกว้างของชั้นระบายน้ำใต้ดิน (Drainage Layer) หน่วยฟุต




**รูปที่ 2.3-15** แผนภูมิการหาอัตราการไหลของน้ำใต้ดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงผ่านชั้นระบายน้ำใต้ดิน

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงผ่านชั้นระบายน้ำใต้ดิน แสดงดังรูปที่ 2.3-16 ดินเดิม Silty Sand มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านวัสดุ (k) = 0.34 ฟุตต่อวัน ระดับ Drawdown เฉลี่ยหาได้จากแผนภูมิรูปที่ 2.3-15

$(H-H_o) = (25-20) = 5.0$ ฟุต

ดังนั้น ค่า $L_i = 3.8\ (5.0) = 19.0$ ฟุต

แทนค่า $(L_i+0.5W)/H_o = (19 + 22)/20 = 2.1$ ฟุต

และ $W/H_o = 44/20 = 2.2$

จากแผนภูมิ $k(H-H_o)/2q_2 = 0.74$

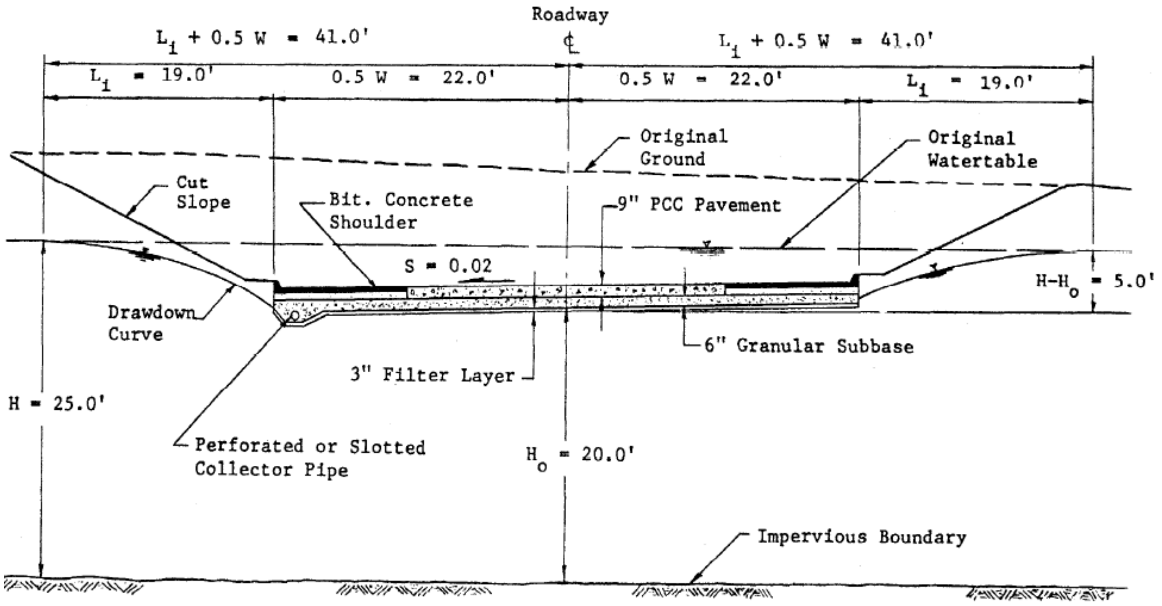
ดังนั้น $q_2 = (0.34 \times 5.0)/\ (2 \times 0.74)) = 1.15$ ลบ.ฟุตต่อวันต่อฟุต

จากสมการที่ (5) ค่า $q_g = q_2\ /0.5W = 1.15/22 = 0.05$ ลบ.ฟุตต่อวันต่อตร.ฟุต

ค่า $q_1$ เป็นอัตราการไหลของน้ำใต้ดินในแนวราบจากด้านซ้ายไปขวา ประมาณได้จาก

$$q_1 = k(H-H_o)^2/2L_i = (0.34(5.0)^2) / (2 \times 19) = 0.22 \text{ ลบ.ฟุตต่อวันต่อฟุต}$$

<u>สรุป</u> ค่าอัตราการไหลของน้ำใต้ดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ใช้ในการออกแบบ $q_d = q_1 + q_2 = 0.22 + 1.15 = 1.37$ ลบ.ฟุตต่อวันต่อฟุต



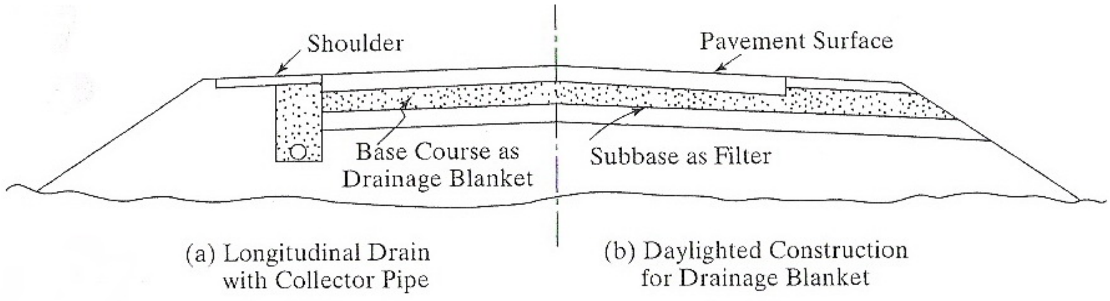

**รูปที่ 2.3-16** ตัวอย่างการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินเนื่องจากแรงโน้มถ่วงผ่านชั้นระบายน้ำใต้ดิน

การไหลซึมผ่านของน้ำใต้ดินเข้าสู่ชั้นโครงสร้างทางไม่ว่าจะมาจากน้ำผิวดินหรือจากน้ำใต้ดิน จำเป็นต้องมีการจัดการระบายน้ำใต้ดินเพื่อให้น้ำสามารถซึมไหลออกไปพ้นใต้ผิวทางอย่างรวดเร็ว ป้องกันการซึมขังของน้ำใต้ดินในชั้นโครงสร้างทาง ลดโอกาสการเกิดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างถนนและคันทาง รูปแบบการจัดการระบายน้ำใต้ดินที่นิยมใช้อยู่ทั่วไป คือ การทำชั้นระบายน้ำใต้ดิน (Drainage Layer หรือ Blanket) ดังแสดงในรูปที่ 2.3-17 ซึ่งมีข้อพึ่งระวังในการใช้งานดังต่อไปนี้ (1) ชั้นระบายน้ำใต้ดินต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 ซม. (2) วัสดุระบายน้ำควรมีส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่มากกว่า 2% และหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของส่วนละเอียดขณะกองเก็บวัสดุระหว่างก่อสร้างหรือขนส่ง

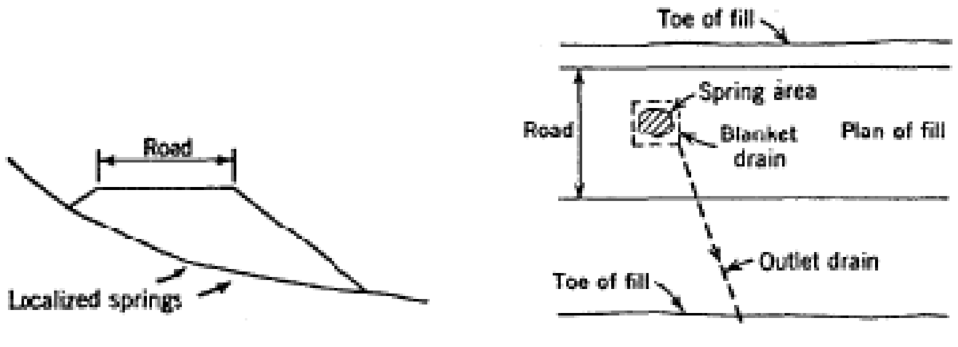
ชั้นระบายน้ำใต้ดินจำเป็นต้องมีระบบรวบรวมน้ำ (Collection System) และทิ้งน้ำ (Outlet) ซึ่งสามารถเลือกพิจารณาออกแบบได้ 2 รูปแบบ คือ (1) ทำร่องดักน้ำ รูปที่ 2.3-17(ก) หรือ (2) ปล่อยทิ้งไปตามลาดคันทาง (Side Slope) รูปที่ 2.3-17(ข) รูปแบบแรกจะได้รับความนิยมในต่างประเทศมากกว่ารูปแบบที่สอง รูปแบบที่สองอาจมีข้อเสีย คือขอบตามยาวของชั้นระบายน้ำมีโอกาสเกิดการอุดตันได้ง่าย ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการก่อสร้างและการบำรุงรักษา เนื่องจากระดับความลาดชันตามขวาง (Transverse หรือ Cross Slope) ของชั้นระบายน้ำมีค่าต่ำ ศักดิ์การไหลของน้ำ (Hydraulic Gradient) น้อย น้ำจากรางระบายน้ำข้างทางอาจไหลกลับเข้าสู่ชั้นระบายน้ำใต้ดิน แทนที่จะระบายน้ำ

ออกสู่รางระบายน้ำติดไหล่ทาง นอกจากนี้ควรออกแบบระบบป้องกันการกัดเซาะด้านหน้าเชิงลาดบริเวณจุดทิ้งน้ำและบริเวณ Toe Slope ด้วย ยกตัวอย่างเช่น การใช้กล่องเกเบี้ยน การทิ้งหิน การดาดคอนกรีตเป็นต้น

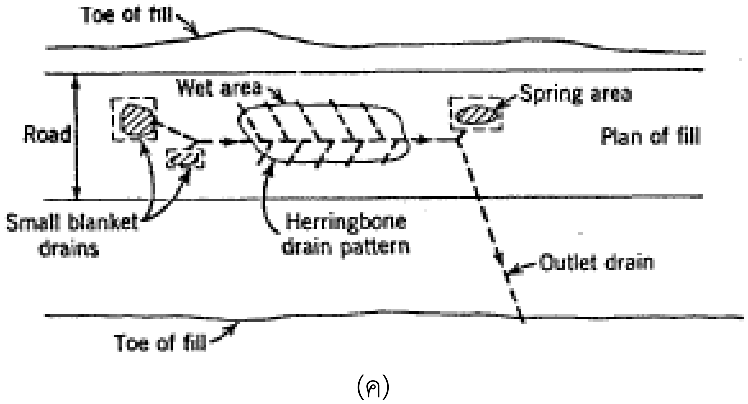
อนึ่ง การใช้ร่องดักน้ำ (รูปแบบแรก) สามารถพิจารณาออกแบบโดยไม่ฝังท่อเจาะรูพรุนก็ได้ ซึ่งเรียกว่า French Drain แต่โดยทั่วไปแล้วมักนิยมใช้ท่อเจาะรูพรุนร่วมด้วยเพื่อช่วยเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำและยังช่วยลดขนาดของร่องดักน้ำได้ด้วย นอกจากนี้ในพื้นที่ภายใต้สภาวะแรงดันน้ำสูง (รูปที่ 2.3-18(ก)) เช่น การผุดขึ้นของน้ำใต้ดินบริเวณตาน้ำ (Localized Spring) รูปแบบการแก้ไขปัญหาอาจพิจารณาฝังท่อเจาะรูพรุนเพื่อแบ่งการระบายน้ำออกเป็นช่วงๆ หรือเป็นลักษณะก้างปลาดังรูปที่ 2.3-18(ข) และ 2.3-18(ค) ตามลำดับ




**รูปที่ 2.3-17** รูปแบบการทำชั้นระบายน้ำใต้ดิน (ก) ร่องดักน้ำ และ (ข) ปล่อยทิ้งไปตามลาดคันทาง (Side Slope)




(ก) (ข)




(ค)

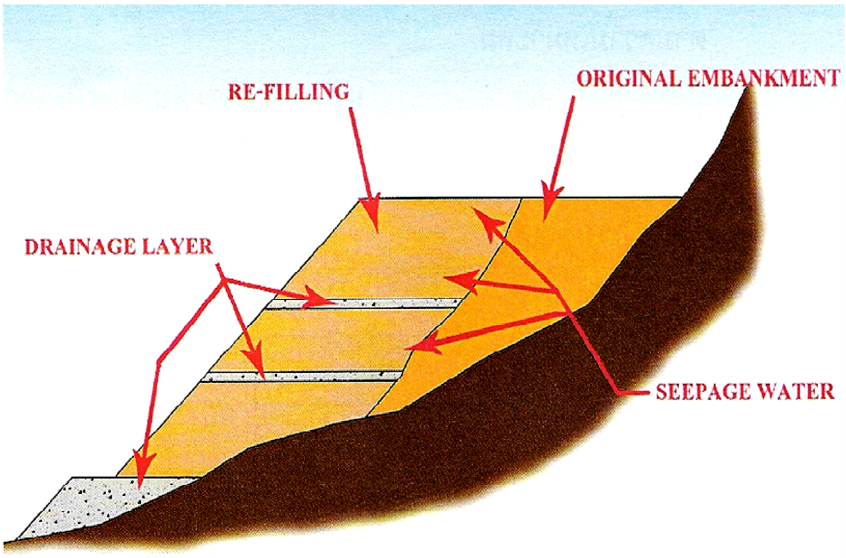
**รูปที่ 2.3-18** รูปแบบการแก้ไขการผุดขึ้นของน้ำใต้ดินบริเวณตาน้ำ (Localized Spring)

**<u>วิธีการใช้งาน</u>**

วิธีการใช้งานของระบบระบายน้ำใต้ดินแบบก่อสร้างชั้นระบายน้ำ สามารถจำแนกได้ตามลักษณะงานดังนี้

**ก) งานลาดตัด/ลาดถม**

การก่อสร้างชั้นระบายน้ำใต้ดินในงานลาดตัด/ลาดถม จำเป็นต้องมีชั้นระบายน้ำในแนวราบ เพื่อควบคุมและระบายน้ำใต้ดินซึ่งไหลจากระดับสูงกว่า (ภูเขา) ลงสู่ระดับต่ำกว่า (คันทาง) เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังรูปที่ 2.3-19 ส่วนใหญ่มักใช้ในงานก่อสร้างเพื่อขยายถนนบนภูเขา เพื่อเพิ่มจำนวนช่องจราจรหรือขยายความกว้างของช่องจราจร และเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำใต้ดินซึมขังในโครงสร้างชั้นทาง นอกจากนี้อาจเพิ่มการจัดระเบียบการจัดการระบายน้ำตามเชิงลาดโดยการใช้ระบบรางระบายน้ำ อาทิ Drain Chute, Interceptor Ditch, Stepped Drain Chute เป็นต้น เพื่อป้องกันปัญหาการกัดเซาะบนเชิงลาด

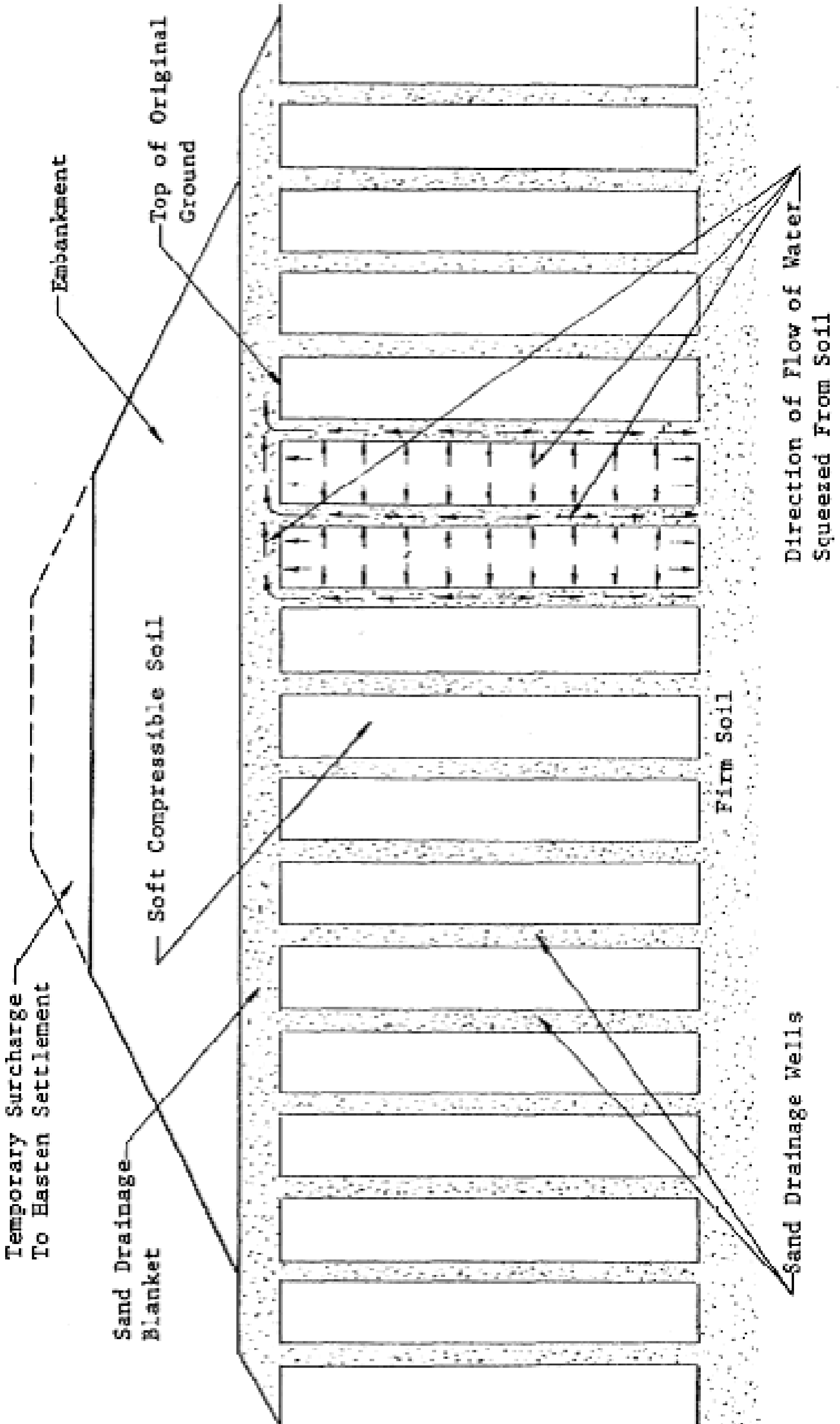



**รูปที่ 2.3-19** ลักษณะการใช้งานโดยก่อสร้างชั้นระบายน้ำในงานลาดตัด/ลาดถม

**ข) พื้นที่ดินอ่อน**

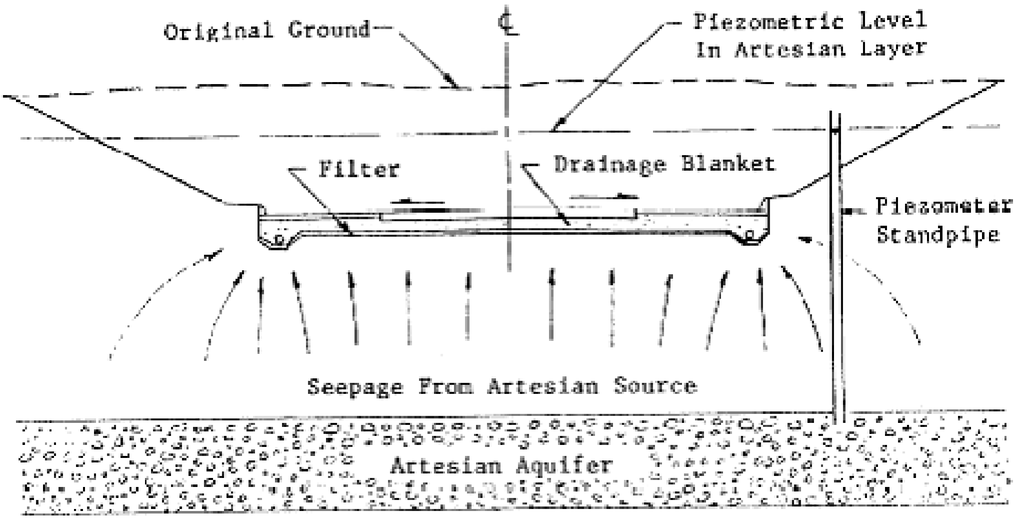
การก่อสร้างคันทางบนพื้นที่ดินอ่อน โดยทั่วไปจะก่อสร้างชั้นทรายระบายน้ำ (Sand Blanket Layer) ระหว่างคันทางกับฐานรากดินอ่อน โดยใช้วัสดุระบายน้ำ อาทิ ทรายหยาบ เพื่อระบายน้ำที่ไหลออกจากมวลดินฐานราก เนื่องจากกระบวนการทรุดอัดตัวคายน้ำของฐานรากดินอ่อน (Foundation Consolidation) ดังรูปที่ 2.3-20 ซึ่งวิธีดังกล่าวจะออกแบบร่วมกับการถมรอเวลา (Waiting Period) หรือการใช้น้ำหนักกดทับล่วงหน้า (Preloading) หรือการชะลอการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกต่อดินฐานราก (Stage Loading) ด้วยการถมคันทางเป็นชั้นๆ จนกว่าแรงดันน้ำส่วนเกินระบายออกจากมวลดินไปบางส่วน ดินฐานรากมีคุณสมบัติดีขึ้น มีเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัย การใช้น้ำหนักกด

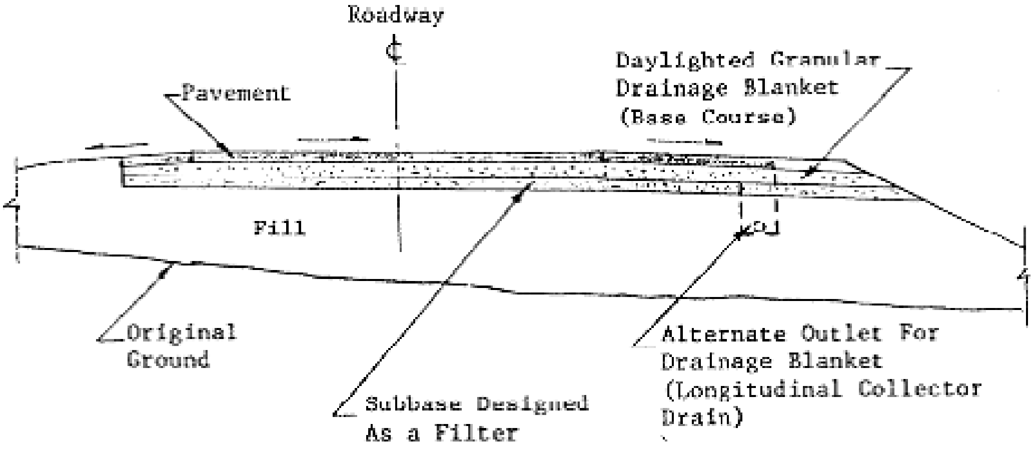
ทับ (Surcharge Load) เป็นการช่วยเร่งให้น้ำใต้ดินในดินฐานรากไหลออกมาโดยเร็วและย่นระยะเวลาในการก่อสร้าง ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากขั้นพื้นฐานของกรมทางหลวง




**รูปที่ 2.3-20** ลักษณะการใช้งานโดยก่อสร้างชั้นระบายน้ำในพื้นที่ดินอ่อน

ค) พื้นที่รับน้ำ



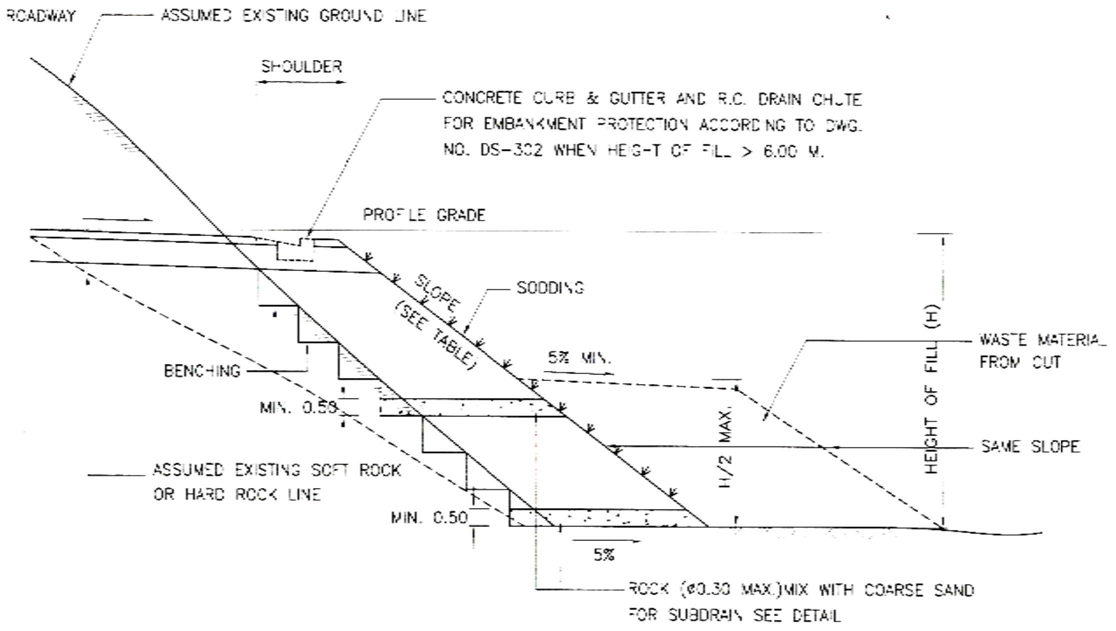




**รูปที่ 2.3-21** ลักษณะการใช้งานโดยก่อสร้างชั้นระบายน้ำในงานพื้นที่รับน้ำ

**<u>รูปแบบแนะนำการก่อสร้าง</u>**

**ก) งานลาดตัด/ลาดถม**

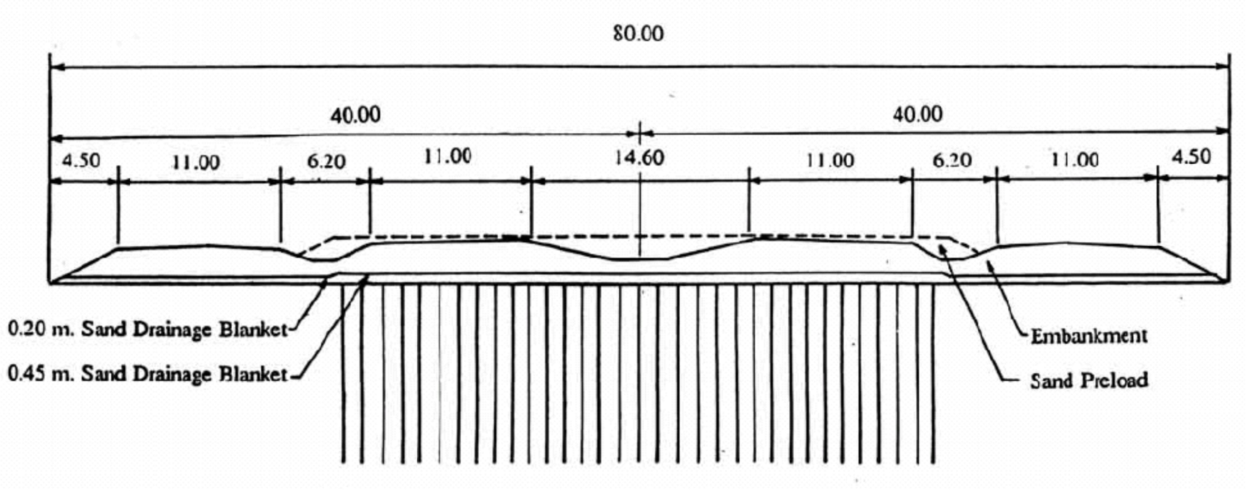
รูปแบบแนะนำการก่อสร้างชั้นระบายน้ำในงานลาดตัด/ลาดถม แสดงดังรูปที่ 2.3-22




**รูปที่ 2.3-22** รูปแบบแนะนำการก่อสร้างชั้นระบายน้ำในงานลาดตัด/ลาดถม

**ข) พื้นที่ดินอ่อน**

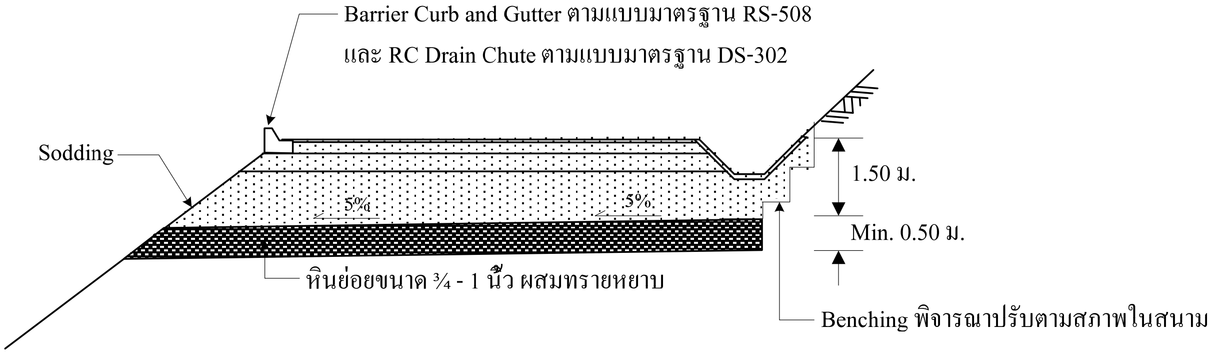
รูปแบบแนะนำการก่อสร้างชั้นระบายน้ำในพื้นที่ดินอ่อน แสดงดังรูปที่ 2.3-23




**รูปที่ 2.3-23** รูปแบบแนะนำการก่อสร้างชั้นระบายน้ำในพื้นที่ดินอ่อน

**ค) พื้นที่รับน้ำ**

รูปแบบแนะนำการก่อสร้างชั้นระบายน้ำในพื้นที่รับน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.3-24



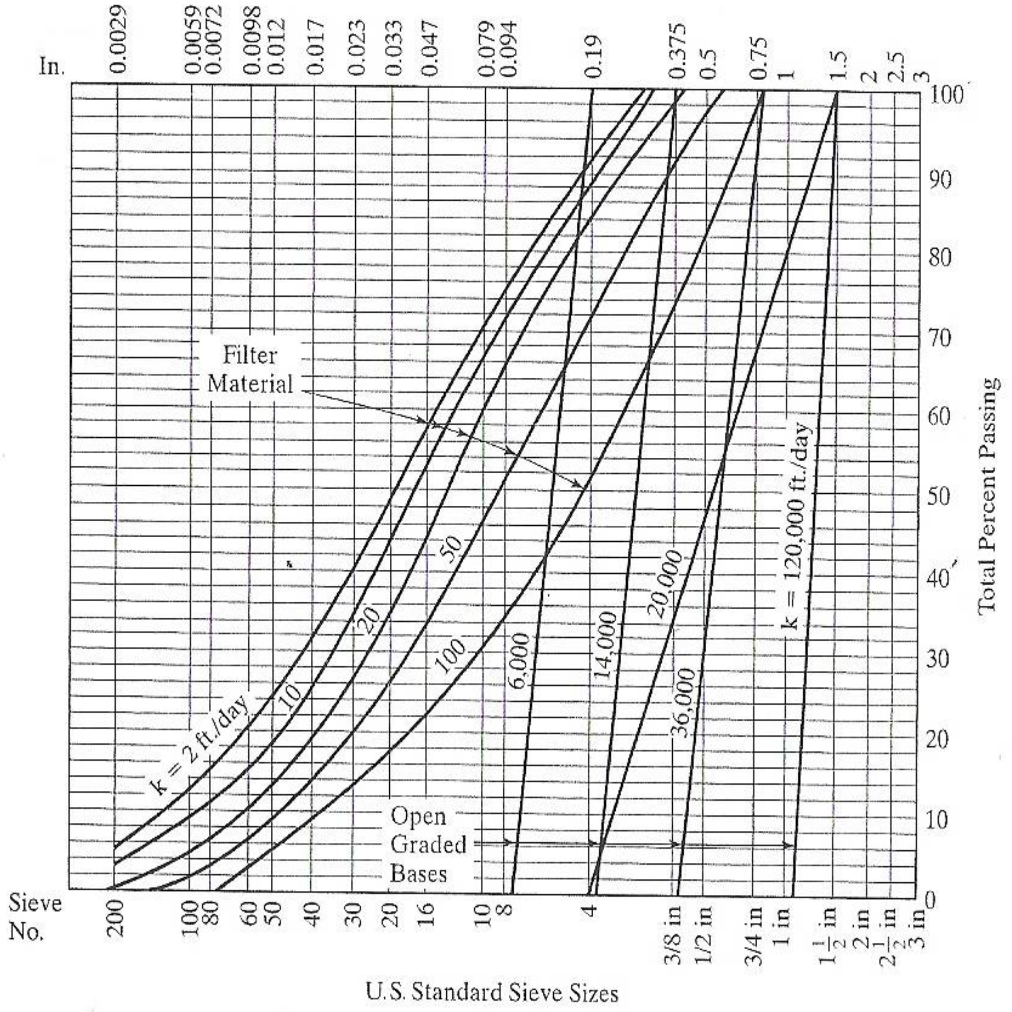

**รูปที่ 2.3-24** รูปแบบแนะนำการก่อสร้างชั้นระบายน้ำในพื้นที่รับน้ำ

### 2.3.2.2 ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain หรือ Underdrain)

**<u>หลักการออกแบบ</u>**

การไหลซึมผ่านของน้ำใต้ดินก่อให้เกิดปัญหาด้านความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างทางและเสถียรภาพของคันทาง สภาวะดังกล่าวอาจทำให้โครงสร้างชั้นทางเกิดการชำรุดเสียหาย คันทางเกิดการวิบัติและพังทลายออกไปจากแนวเส้นทาง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดินเพื่อดักน้ำดังกล่าว

ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain) ที่ออกแบบและก่อสร้างอย่างถูกต้อง จะช่วยควบคุมการไหลซึมของน้ำใต้ดินได้ โดยการตัดเส้นทางไหลซึมและลดระดับน้ำใต้ดินก่อนไหลซึมสู่ชั้นโครงสร้างทาง Subdrain โดยทั่วไปจะประกอบด้วยท่อเจาะรูพรุนโดยรอบและถมกลบล้อมรอบด้วยวัสดุที่มีขนาดคละเรียงตัวอย่างเหมาะสมที่จะไม่ทำให้เกิดการอุดตันในระบบระบายน้ำได้ รูปที่ 2.3-25 แสดงขนาดคละของวัสดุระบายน้ำ




**รูปที่ 2.3-25** แสดงขนาดคละของวัสดุระบายน้ำ

เกณฑ์การเลือกวัสดุกรองน้ำ (Filter Requirements) เมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านดินเม็ดละเอียดไปสู่ดินที่มีดินเม็ดหยาบจะเกิดการชะล้างดินเม็ดละเอียดไปอุดช่องว่างของดินเม็ดหยาบ การออกแบบจำเป็นต้องป้องกันชั้นระบายน้ำด้วยวิธีกรองน้ำ จากการวิเคราะห์โดยวิธีการกระจายของเม็ดวัสดุ ขนาดของเม็ดวัสดุ ขนาดของวัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองและวัสดุดินฐานรากที่สามารถกรองเฉพาะน้ำให้ซึมไหลผ่านได้ดี โดยไม่มีเม็ดดินหลุดไหลตามน้ำได้ มีสมการดังนี้

$$\frac{D_{15} \text{ วัสดุกรอง (Granular Filter)}}{D_{85} \text{ วัสดุดินฐานราก (Soil)}} \leq 5 \qquad \text{....................(7)}$$

และ

$$\frac{D_{15} \text{ วัสดุกรอง (Granular Filter)}}{D_{15} \text{ วัสดุดินฐานราก (Soil)}} \geq 5 \qquad \text{....................(8)}$$

นอกจากนี้คุณสมบัติของวัสดุกรอง (Granular Filter) มีดังนี้ (1) ค่า Coefficient of Uniformity ($C_u$) ประมาณ 20-40 โดยที่ $C_u = D_{60}/D_{10}$ (2) ส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 5% และ (3) ความหนาของชั้นกรองน้ำ (Filter Blanket) อย่างน้อย 10 ซม.

วัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองส่วนใหญ่จะเป็นทรายหรือกรวด ท่อพรุนที่ใช้เป็น Subdrain เพื่อระบายน้ำออกไปจากระบบ อาจใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\phi$ 3-4 นิ้ว เจาะรูโดยรอบหรือครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวง แล้วฝังในทรายหยาบหรือกรวด วางเหนือท้องร่อง Subdrain โดยทั่วไปมักใช้แผ่นวัสดุใยสังเคราะห์กรองน้ำ (Filter Fabric) พันท่อ เพื่อป้องกันไม่ให้การระบายน้ำอุดตัน ท่อพรุนมี 2 ชนิด คือ ท่อพรุนเจาะรูเป็นแบบช่องกลม (Perforated Pipe) และท่อพรุนเจาะรูเป็นแบบเซาะร่อง (Slotted Pipe) ทั้งนี้ข้อกำหนดของขนาดรูเจาะ มีดังนี้

กรณีรูเจาะเป็นแบบช่องกลม (Perforate):

$$\frac{D_{85}\ \text{วัสดุกรอง (Granular Filter)}}{\phi\ \text{ของรูที่เจาะ}} > 1.0 \qquad \text{......................(9)}$$

กรณีรูเจาะเป็นแบบเซาะร่อง (Slot):

$$\frac{D_{85}\ \text{วัสดุกรอง (Granular Filter)}}{\text{ความกว้างของ Slot}} > 1.2 \qquad \text{..................(10)}$$

อนึ่ง Subdrain ยังพิจารณาใช้ได้ 2 รูปแบบ คือ แบบฝังท่อพรุน (รูปที่ 2.3-26ก) และแบบไม่ฝังท่อพรุน (รูปที่ 2.3-26ข)

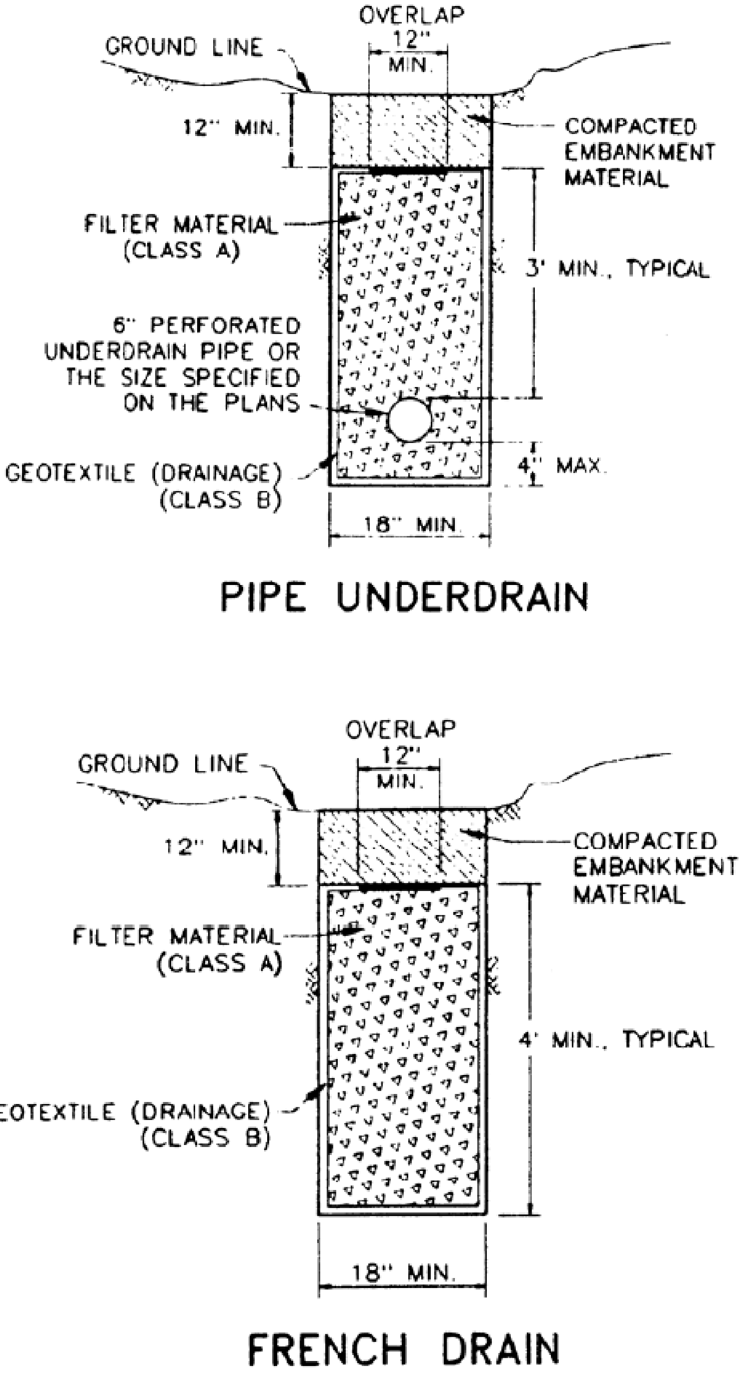
การออกแบบท่อรวมน้ำ (Collector Pipe) เมื่อทราบค่าอัตราการไหลของน้ำใต้ดิน ขนาดของท่อรวมน้ำสามารถหาได้จาก Nomograph ดังรูปที่ 2.3-27 ทั้งนี้ขนาดของท่อรวมน้ำที่เป็นท่อ PVC ผิวเรียบ ควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว สำหรับท่อชนิดอื่นต้องไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว นอกจากนี้สำหรับท่อผิวเรียบควรมีความลาดในการวางท่อไม่น้อยกว่า 1% ส่วนท่อที่เป็นลูกฟูกต้องไม่น้อยกว่า 2%

ปัจจุบันมีการใช้วัสดุสังเคราะห์ Geocomposite ซึ่งมีแกนกลาง (Core) เป็นแผ่นพลาสติกห่อหุ้มด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile Filter Fabric) เนื่องจากการติดตั้งใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ดี วัสดุดังกล่าวมีโอกาสเกิดการอุดตันได้ง่ายและยุ่งยากต่อการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินในพื้นที่ก่อสร้างมีส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เกิน 15%

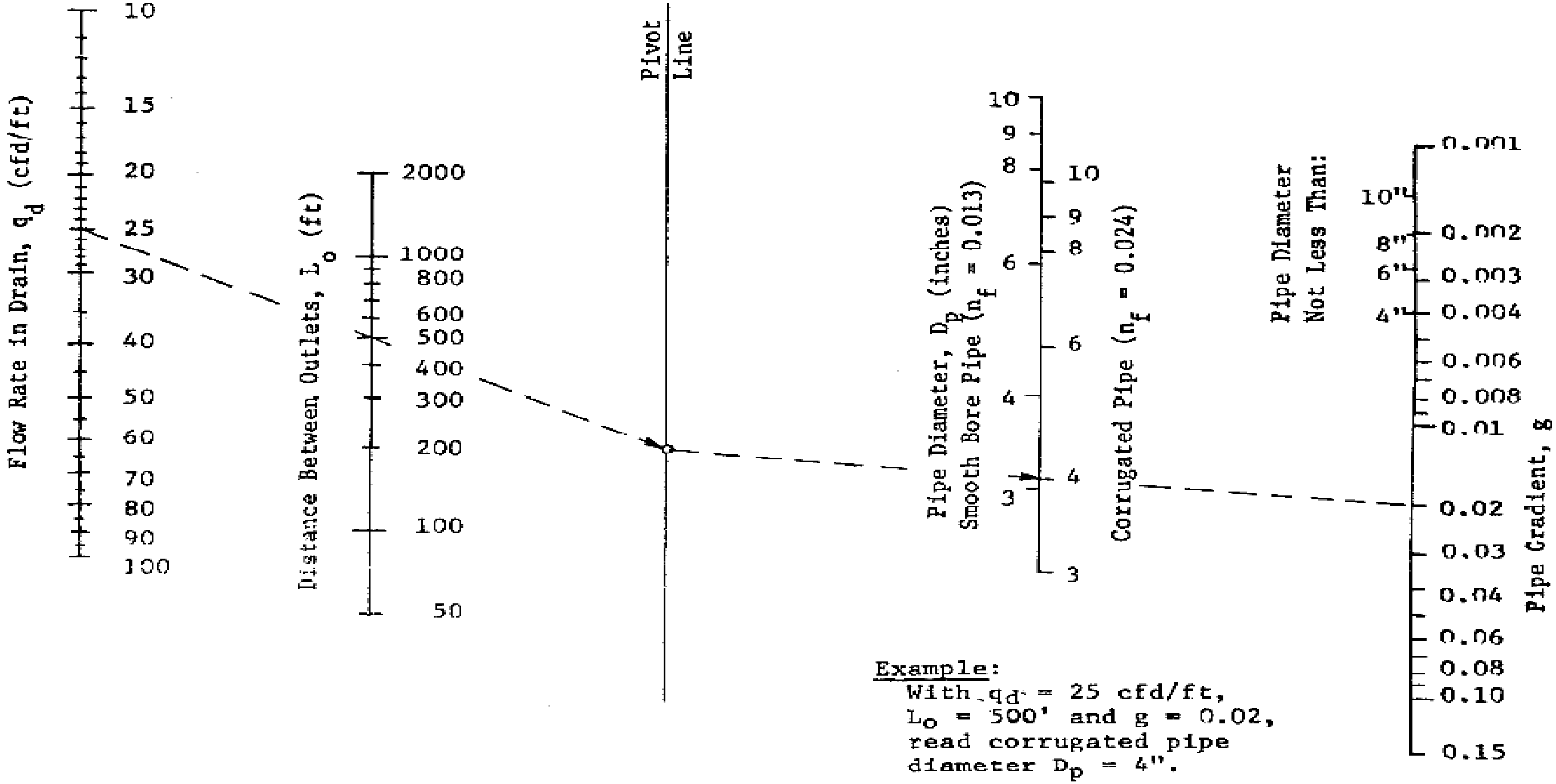
และสุดท้ายคือท่อทิ้งน้ำ (Outlet Pipe) ต้องออกแบบเพื่อรวบรวมน้ำและระบายน้ำลงสู่ระบบระบายน้ำบนผิวดิน ขนาดของท่อทิ้งน้ำต้องไม่เล็กกว่าขนาดของท่อรวมน้ำ (Collector Pipe) ระยะห่างระหว่างท่อทิ้งน้ำไม่ควรเกิน 90 เมตร มีระดับความลาดชันไม่น้อยกว่า 3% วางอยู่เหนือระดับน้ำสูงสุดใน

รอบ 10 ปี หากเป็นไปได้ควรมีตะแกรงป้องกันสัตว์ขนาดเล็กเข้าไปภายในท่อ นอกจากนี้ควรออกแบบให้มี Headwalls เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งานได้

อนึ่ง งานตรวจสอบและบำรุงรักษาท่อทิ้งน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อให้ระบบระบายน้ำทำหน้าที่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งาน ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งในที่จะต้องตรวจสอบท่อทิ้งน้ำอย่างน้อยปีละครั้งหรือภายหลังฝนตกหนัก




**รูปที่ 2.3-26** แสดงรูปแบบของ Subdrain

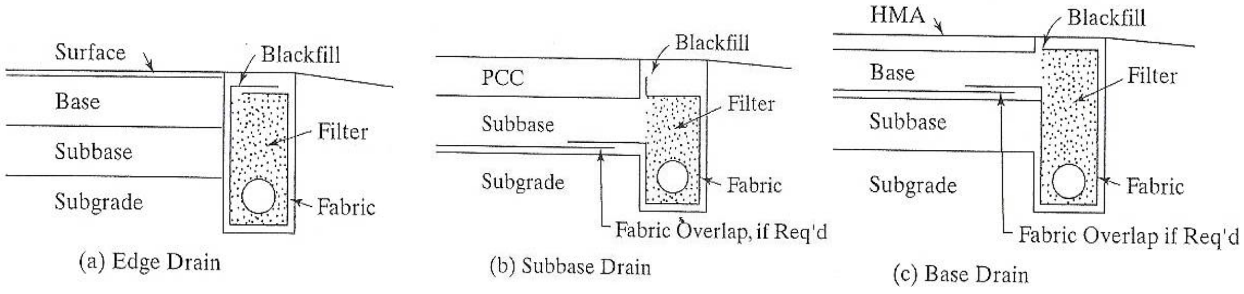



**รูปที่ 2.3-27** Nomograph หาขนาดท่อรวมน้ำ จากค่าอัตราการไหลของน้ำใต้ดิน

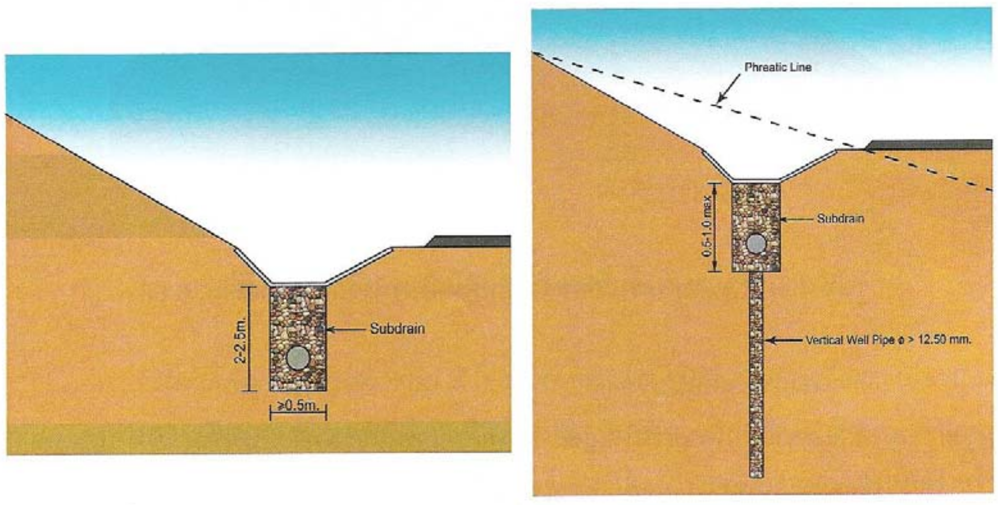
**<u>วิธีการใช้งาน</u>**

การทำร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain) เป็นการขุดร่องตามยาวเพื่อขวางทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและเพื่อลดระดับน้ำใต้ดิน น้ำที่ซึมผ่านเข้ามาใน Subdrain จะไหลไปตามแนวร่องขุดโดยไม่ซึมผ่านเข้ามาในชั้นโครงสร้างทางและคันทาง (รูปที่ 2.3-28) ในกรณีที่พบว่ามีน้ำใต้ดินปริมาณมาก เช่น ในช่วงฤดูน้ำหลาก การก่อสร้างอาจมีการติดตั้งท่อลงไปในชั้นดินระดับลึก (รูปที่ 2.3-29) เพื่อดักน้ำจากชั้นดินเป็นการลดความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางและคันทาง ร่องดักน้ำตามยาว (Longitudinal Subdrain) มักนำมาใช้ในกรณีตัดถนนผ่านภูเขา หรือภูมิประเทศที่เป็นทางลาดชันที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าระดับถนน โดยสามารถนำมาใช้ได้ทั้งบนยอด (Crest Slope) และตีนลาดตัด (Toe Slope) ในกรณีภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่ม ระบบนี้อาจมีความจำเป็นทั้งสองฝั่งข้างทาง หากตรวจพบน้ำใต้ดินซึมขังอยู่ภายในชั้นโครงสร้างทาง และไม่มีช่องระบายน้ำออก

ร่องดักน้ำตามขวาง (Transverse Subdrain) มักใช้บริเวณช่วงทางยกโค้ง (Superelevated Transitions) ช่วงตกท้องช้าง (Sag Vertical) ช่วงตัดเขา (Cut Section) และช่วงรอยต่อระหว่างงานตัดกับงานถม (Transition Zone)




**รูปที่ 2.3-28** แสดงลักษณะการทำร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain)

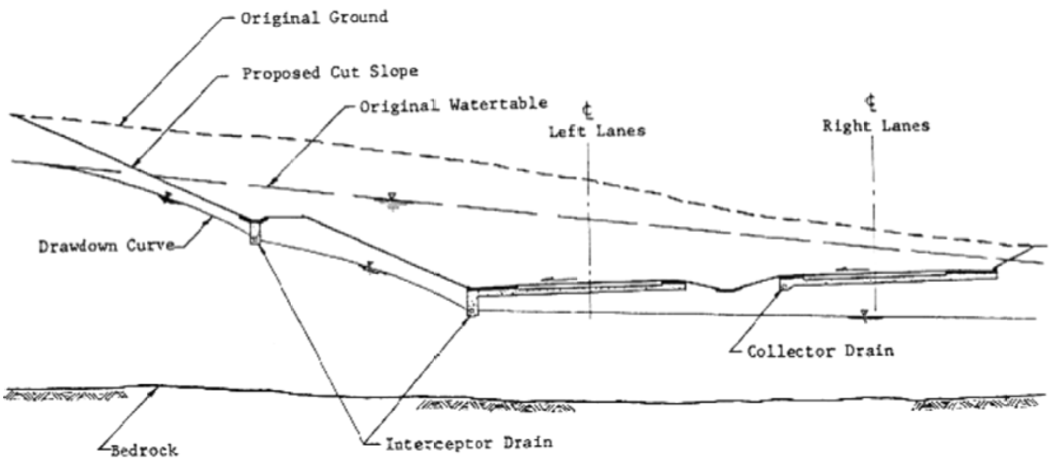



**รูปที่ 2.3-29** ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain) กรณีมีน้ำใต้ดินปริมาณมาก

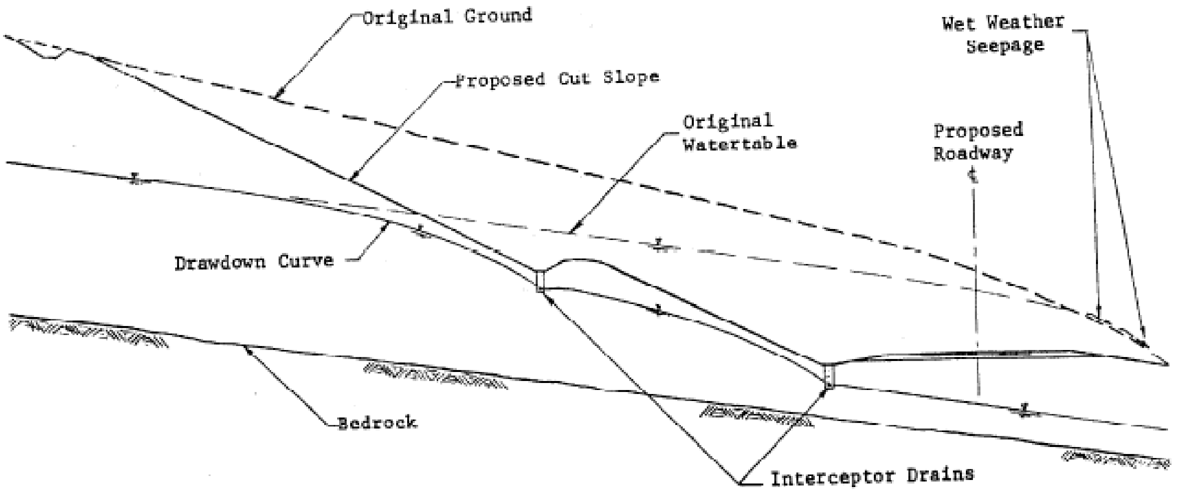
ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดินถูกออกแบบเพื่อทำหน้าที่ดังนี้

- ขัดขวางหรือป้องกันการไหลซึมของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 2.3-30)
- ช่วยลดระดับน้ำใต้ดิน (รูปที่ 2.3-31)
- รวบรวมการไหลของน้ำจากระบบระบายน้ำอื่นๆ (รูปที่ 2.3-32)

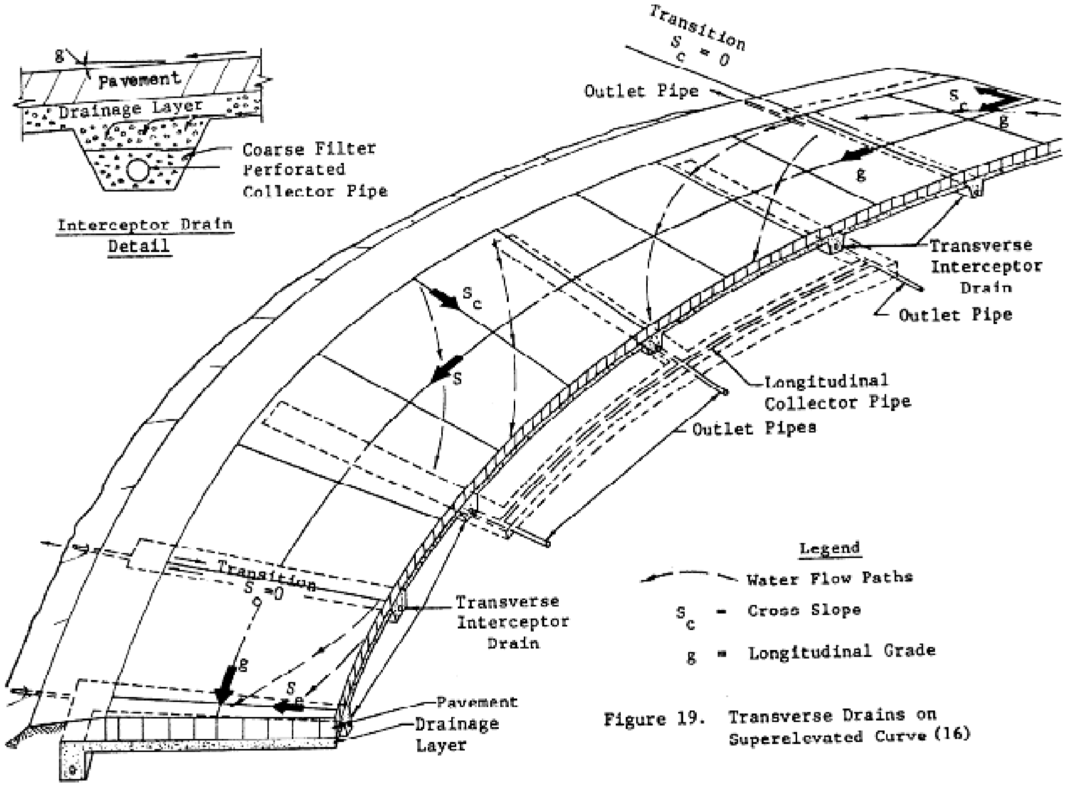
อนึ่ง สำหรับงานบนภูเขา ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดินจะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ถ้ามีความยาวจนถึงจุดทิ้งน้ำ มีความลึกจนถึงชั้นทึบน้ำใต้ผิวดิน แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนด้านภูมิศาสตร์ ราคา เทคนิคและความปลอดภัยในการก่อสร้างประกอบด้วย



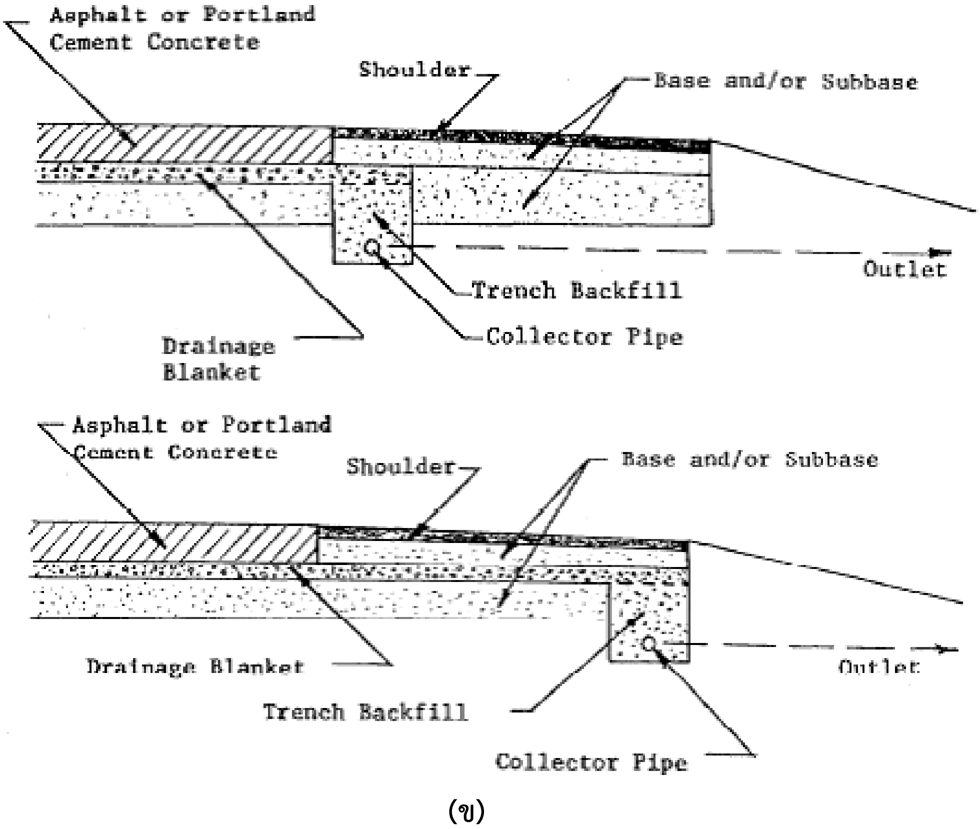

**รูปที่ 2.3-30** การทำร่องดักน้ำตามยาวเพื่อขัดขวางหรือป้องกันการไหลซึมของน้ำใต้ดิน




**รูปที่ 2.3-31** การทำร่องดักน้ำตามยาวเพื่อช่วยลดระดับน้ำใต้ดิน




(ก)



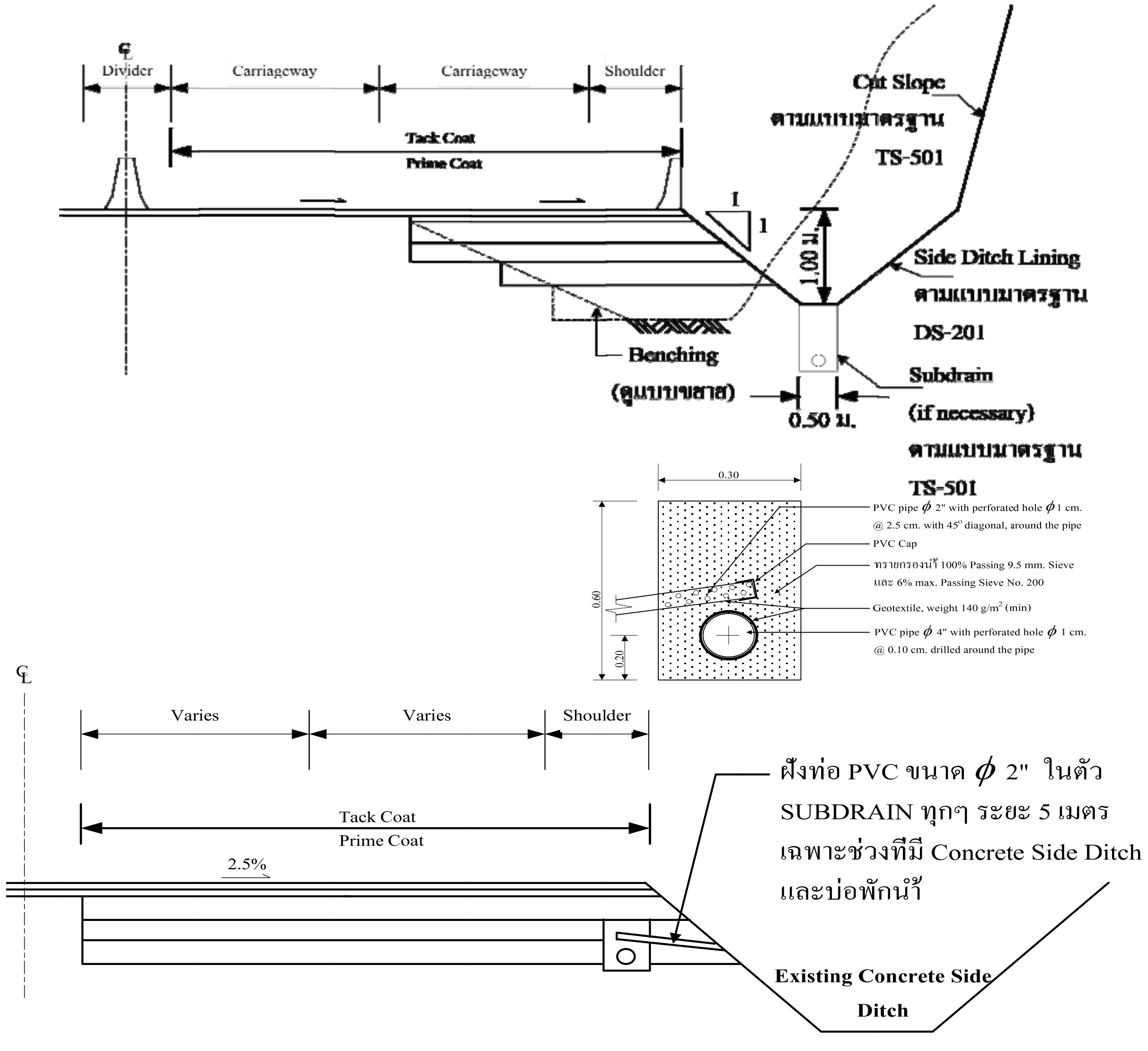

**(ข)**

**รูปที่ 2.3-32** การทำร่องดักน้ำตามขวาง (Transverse Drain) ช่วงยกโค้ง (Superelevated Curve) เพื่อรวบรวมการไหลของน้ำจากระบบระบายน้ำอื่นๆ (ก) และ ตำแหน่งการวางร่องดักน้ำ (ข)

แม้ว่าโดยมากแล้วระบบระบายน้ำดังกล่าวจะถูกออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดินเหล่านี้สามารถทำหน้าที่ไม่เพียงแต่ขัดขวางการไหลของน้ำเท่านั้น แต่ยังช่วยลดระดับของน้ำใต้ดินไม่ให้ไหลผ่านไปทำความเสียหายต่อโครงสร้างชั้นทางและคันทางอีกด้วย

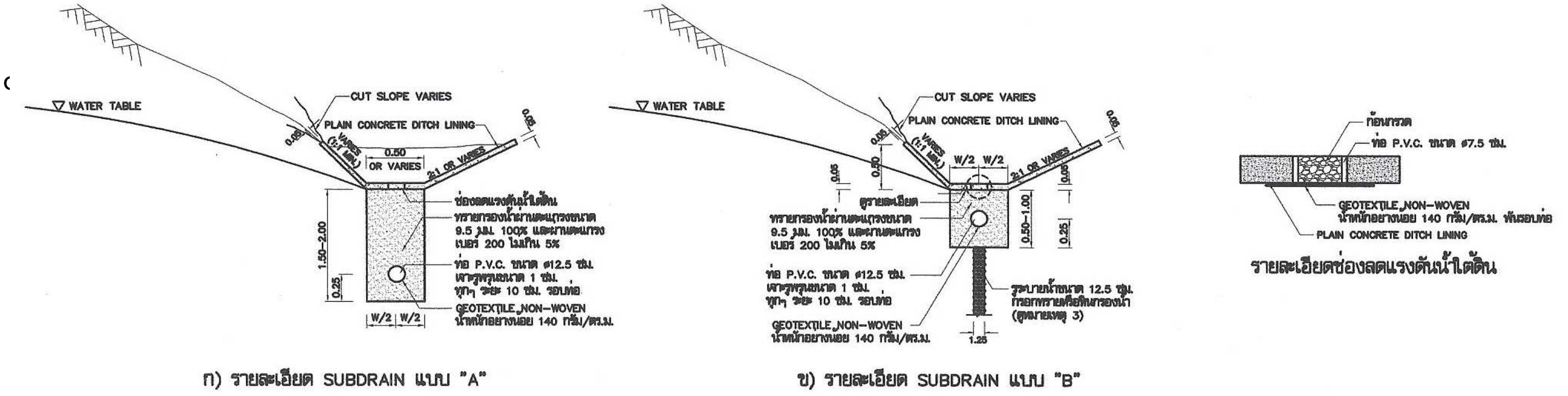
**<u>รูปแบบแนะนำการก่อสร้าง</u>**

รูปแบบแนะนำการก่อสร้างร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain) เพื่อลดระดับน้ำใต้ดินและตัดเส้นทางการไหลซึมของน้ำใต้ดินก่อนซึมออกมาด้านหน้าเชิงลาด (Slope Face) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานทางหลวงบนพื้นที่ภูเขา ทางหลวงติดลาดตัด (Back Slope) ทางหลวงตัดผ่านภูเขา (Block Cut) ดังแสดงในรูปที่ 2.3-33(ก) และในโครงสร้างถนน ดังแสดงในรูปที่ 2.3-33(ข) โดยรายละเอียดรูปแบบการก่อสร้างร่องดักและระบายน้ำใต้ดิน Type-I และ Type-II แสดงในรูปที่ 2.3-34 อนึ่ง Type I ใช้ทรายเป็นวัสดุกรองน้ำล้อมรอบท่อเจาะรูพรุน (Pipe Subdrain) ส่วน Type-II ใช้กรวดเป็นวัสดุกรองน้ำโดยไม่มีท่อเจาะรูพรุน (French Drain)

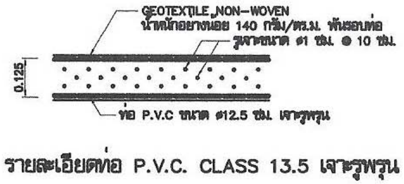



**รูปที่ 2.3-33** รูปแบบแนะนำการก่อสร้างร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain)

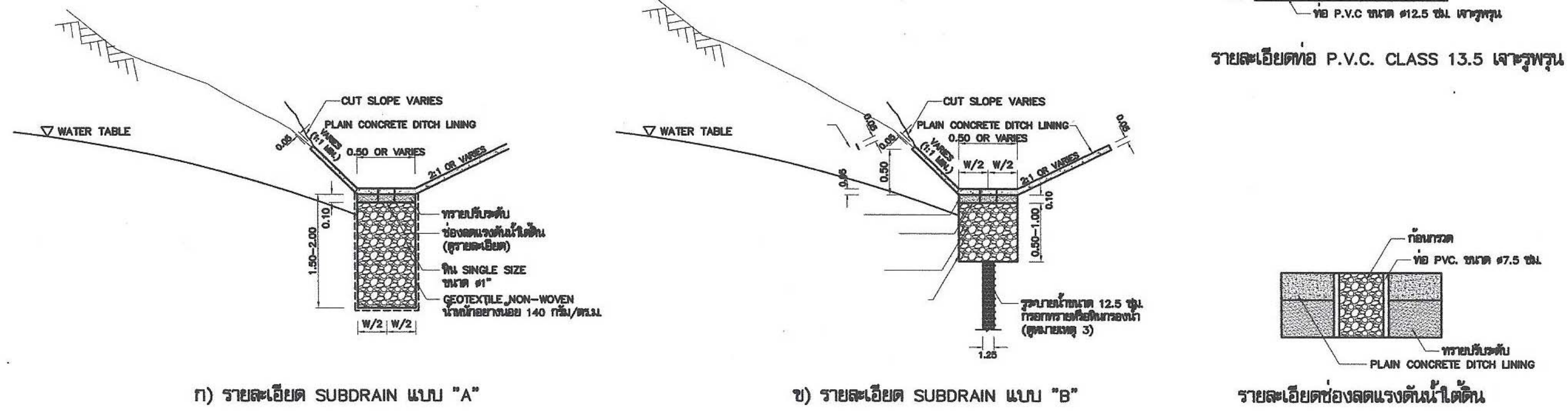
แบบแนะนำการทำแนวร่องระบายน้ำใต้ดิน (SUBDRAIN)–TYPE I ใช้ทรายเป็นวัสดุกรองน้ำ




(หน่วยเป็นเมตร เว้นแต่ระบุเป็นอย่างอื่น)




แบบแนะนำการทำแนวร่องระบายน้ำใต้ดิน (SUBDRAIN)–TYPE II ใช้กรวดเป็นวัสดุกรองน้ำ




(หน่วยเป็นเมตร เว้นแต่ระบุเป็นอย่างอื่น)

**รูปที่ 2.3-34** รูปแบบแนะนำการก่อสร้างร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน Type-I และ Type-II

รายละเอียดการเลือกใช้ Subdrain แบบ “A” และ แบบ “B” มีดังนี้

- แบบ “A” เหมาะสำหรับชั้นฐานรากที่สามารถขุดออกได้ง่าย หรือ มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับตื้น (ลึกไม่เกิน 2 เมตร)
- แบบ “B” อาจเลือกใช้ในกรณีที่ชั้นฐานรากเป็นหินผุหรือดินแข็งไม่สามารถขุดลงไปลึกได้ หรือทำได้ยาก หรือ ระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับลึกมากกว่า 2 เมตรขึ้นไป

สำหรับการก่อสร้าง Subdrain แบบ “B” ให้ใช้สว่านเจาะรูจนถึงชั้นทึบน้ำ หรือ ระดับความลึกที่คาดว่าจะมีน้ำใต้ดินปรากฏ หรือ ตามดุลยพินิจของวิศวกรหรือนายช่างควบคุมงาน หลังจากนั้นให้ทำการกรอกทรายกรองน้ำผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มม. 100% และผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 5% (อาจใช้หินกรองน้ำขนาด 9.5-19 มม. แทนทรายกรองน้ำได้) การติดตั้งช่องลดแรงดันน้ำใต้ดินบน Side Ditch ให้ทำทุกๆระยะ 50 เมตร หรือหากระยะห่างจากจุดปล่อยน้ำเกิน 50 เมตร ภายหลังทำการเจาะเสร็จ ให้นำก้อนกรวดปิดปากหลุม

อนึ่ง ถ้าเชิงลาดยังคงเคลื่อนตัวหรือไม่เสถียร ควรพิจารณาเลือกใช้ Type-II เพื่อป้องกันท่อเจาะรูพรุน (Type-I) ที่อาจเกิดการแตกหัก (Rupture) ได้

### 2.3.2.3 การเจาะและวางท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain)

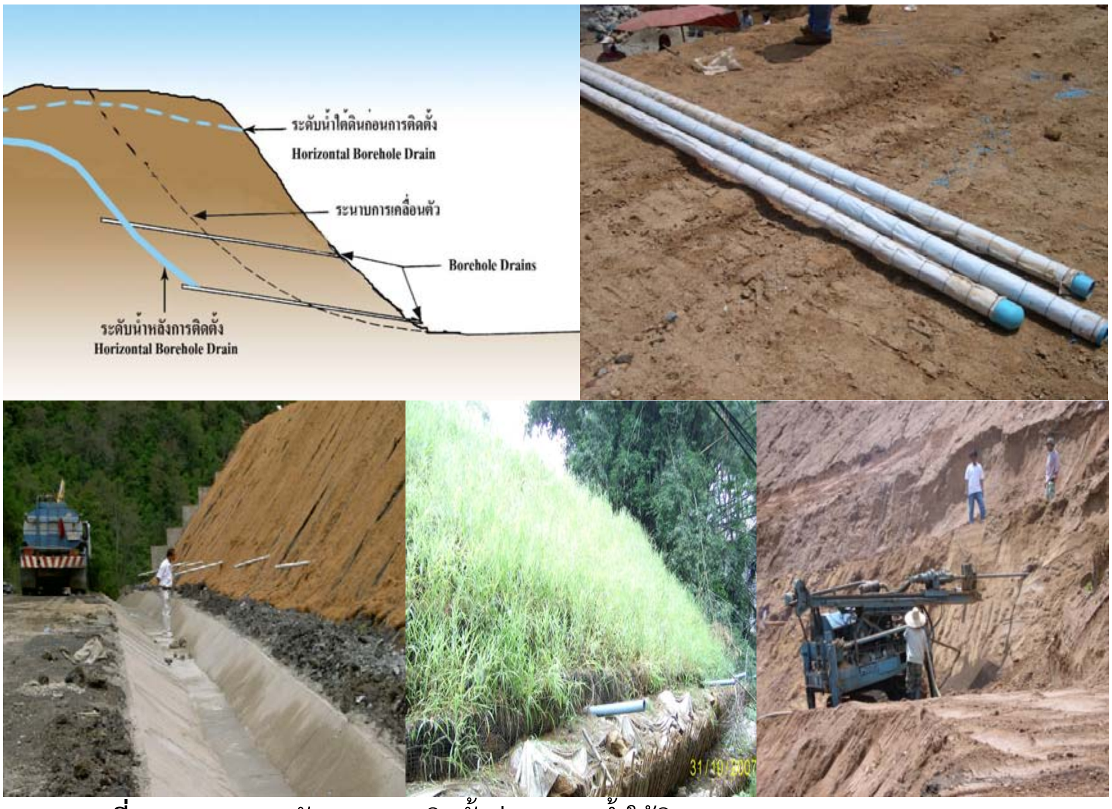
**<u>หลักการออกแบบ</u>**

ท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งบริเวณฐานเชิงลาดหรือตำแหน่งอื่นที่เหมาะสมเพื่อลดระดับและแรงดันน้ำใต้ดิน วิธีการนี้จะเหมาะสมในกรณีที่เชิงลาดเกิดความเสียหายเป็นวงกว้าง และแนวการวิบัติกินลึกเข้าไปในชั้นดินฐานราก อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินอีกวิธีหนึ่ง การติดตั้งโดยทั่วไปมักใช้ท่อ PVC หรือท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38-40 มิลลิเมตร เจาะรูพรุนเป็นแบบช่องกลม (Perforate) หรือแบบเซาะร่อง (Slot) สอดเข้าไปในช่องที่เจาะเตรียมไว้ที่ผิวหน้าเชิงลาดด้วยเครื่องเจาะเฉพาะ (Boring Auger Machine) และเพื่อให้การระบายน้ำภายในท่อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ควรเจาะให้มีความลาดประมาณ 5 องศา และหุ้มด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ป้องกันการอุดตัน นอกจากนี้ควรเผื่อความยาว (L) ให้มากกว่าระนาบการเคลื่อนตัว (Failure Plane) ออกไปประมาณ 5-20 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ (L = 10.0 เมตร สำหรับดิน และ L = 3.0 เมตร สำหรับหิน) เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถดักน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในบริเวณเชิงลาดได้จริง และควรทิ้งช่วงปลายท่อปล่อยน้ำให้มีความยาวประมาณ 3 เมตร โดยไม่ต้องเจาะรูพรุน เพื่อให้น้ำระบายออก อย่างไรก็ดีในการออกแบบจำเป็นต้องทราบระดับน้ำใต้ดินให้แน่ชัด โดยอาจติดตั้งบ่อสังเกตระดับน้ำ (Observation Well) ไปตามระดับความลาดชันของเชิงลาด ทั้งนี้ระดับน้ำที่แน่นอนอาจต้องใช้เวลาตรวจวัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายวันถึง 1 สัปดาห์

**<u>วิธีการใช้งาน</u>**

การติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain) เป็นการเจาะและวางท่อ PVC เจาะรูพรุนหุ้มด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) เพื่อลดแรงดันน้ำใต้ดิน ลดระดับน้ำใต้ดิน และระบายน้ำใต้ดิน (รูปที่ 2.3-35) น้ำใต้ดินจะไหลออกไปตามท่อระบายน้ำแนวราบ ในกรณีที่พบว่าน้ำใต้ดินมีปริมาณมาก เช่น ช่วงฝนตกหนักบริเวณพื้นที่รับน้ำ อาจต้องทำการเจาะและวางท่อระบายน้ำใต้ดินเพิ่มเติม เพื่อลดระดับน้ำที่ไหลเข้าสู่คันทาง ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่อชั้นโครงสร้างทางและคันทาง วิธีการนี้มักนำมาใช้ในกรณีตัดถนนผ่านเขตภูเขาที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าระดับถนนในงานลาดตัด (Back Slope) ลาดถม (Fill Slope) ในงานติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบโดยทั่วไปนิยมวางเรียงเป็นรูปพัด (Fan-Shaped Arrays) ความยุ่งยากในการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบขึ้นอยู่กับเทคนิควิธีและความสามารถในการเจาะ สภาพชั้นดินและความชื้นยังมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของท่อเจาะด้วยเช่นกัน ผู้ควบคุมงานจำเป็นต้องตรวจวัดแนวระดับการติดตั้งท่อเจาะให้เป็นไปตามรูปแบบกำหนด

งานตรวจสอบและบำรุงรักษาท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่ออายุการใช้งาน เมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง วัสดุเม็ดละเอียดและวัชพืชอาจไปอุดตันภายในท่อเจาะได้ วิธีการทำความสะอาดสามารถทำได้โดยการฉีดน้ำด้วยแรงดันสูง นอกจากนี้ปลายท่อเจาะอาจมีวัชพืชหรือต้นไม้ขึ้นปกคลุมและอุดตันการระบายน้ำได้ การบำรุงดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้ท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบอยู่ในสภาพใช้งานได้ดีตามที่ออกแบบไว้

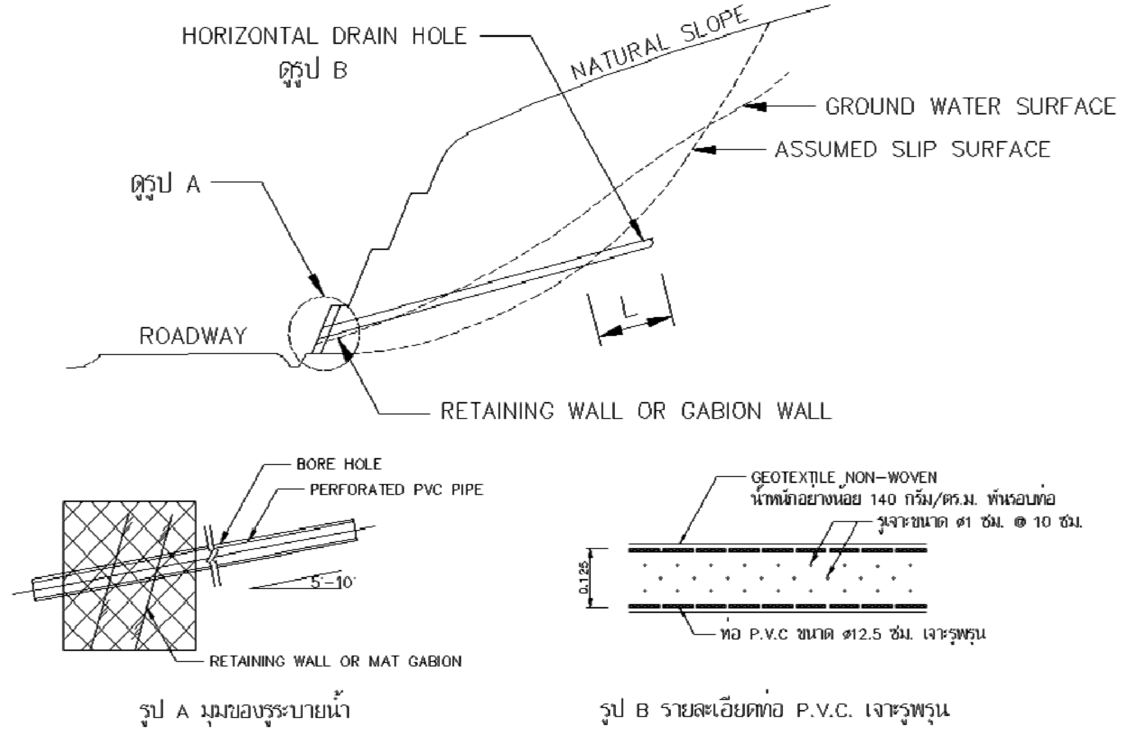



**รูปที่ 2.3-35** แสดงลักษณะการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain)

**<u>รูปแบบแนะนำการก่อสร้าง</u>**

รูปแบบแนะนำการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain) แสดงดังรูปที่ 2.3-36 การติดตั้ง Horizontal Drain เพื่อระบายน้ำใต้ดิน มีรายละเอียดดังนี้

- เจาะสำรวจดินบริเวณที่เกิดการเคลื่อนตัว เพื่อยืนยันแนวการเคลื่อนตัว ขอบเขตและชนิดของดิน จำนวนอย่างน้อย 1 จุด
- Horizontal Drain ควรมีความลาดประมาณ 3-5 องศา เพื่อจะช่วยระบายน้ำใต้ดินได้ง่าย รูปที่ 2.3-36
- การเจาะ Horizontal Drain ผู้รับจ้างจะต้องนำเสนอแผนอธิบายขั้นการทำงาน รวมถึงรายละเอียดของเครื่องเจาะ หากดินในพื้นที่ทำงานเป็นดินปนกรวด จำเป็นต้องใช้ท่อปลอก (Casing) เพื่อป้องกันหลุมเจาะพังทลาย
- ระยะห่างระหว่าง Horizontal Drain ทุกๆระยะไม่เกิน 5 เมตร
- Horizontal Drain มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 12.5 ซม. เป็น PVC Class 13.5 ชนิดเจาะรู (Perforate) หรือเซาะร่อง (Slot) จากโรงงานและพันด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดไม่ถักทอ (Non-woven Geotextile Filter Fabric) น้ำหนัก 140 กรัมต่อตร.ม.




**รูปที่ 2.3-36** รูปแบบแนะนำการติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินแนวราบ (Horizontal Drain)

### 2.3.3 แนวทางการออกแบบและพิจารณาใช้งานระบบระบายน้ำใต้ดิน

การเลือกใช้ระบบระบายน้ำใต้ดินจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของสภาพใช้งานจริงและปัญหาที่เกิดขึ้น โดยอาศัยข้อมูลเจาะสำรวจทางธรณีวิทยา และวิธีการสังเกตด้วยสายตา ตารางที่ 2.3-1 เป็นแนวทางการออกแบบและพิจารณาใช้งานระบบระบายน้ำใต้ดิน ซึ่งแบ่งตามลักษณะภูมิประเทศออกเป็น 2 รูปแบบ คือ (1) ภูมิประเทศที่เป็นทางเขาหรือทางลาดชัน และ (2) ภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่ม

**ตารางที่ 2.3-1** แนวทางการออกแบบและพิจารณาใช้งานระบบระบายน้ำใต้ดิน

| ลักษณะงาน | ชนิดของระบบระบายน้ำใต้ดิน | วัตถุประสงค์ | ข้อควรพิจารณาใช้งาน | รูปแบบแนะนำ |
|---|---|---|---|---|
| - ภูมิประเทศที่เป็นทางเขาหรือทางลาดชัน อาทิ ลาดตัด (Full Cut Slope, Block Cut Slope, Half-Cut Slope) ลาดถม (Fill Slope, Side Slope, Half-Fill Slope) เป็นต้น | 1. ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain) | เพื่อตัดเส้นทางการไหลซึมและลดระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) | - ในกรณีตัด/ถมถนนบนภูเขาที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าระดับถนน<br>- ในกรณีตรวจพบน้ำใต้ดินปริมาณมาก ที่ระดับความลึกไม่เกิน 2.5 ม. ใต้ผิวดิน | ดูรูปที่ 2.3-32, 2.3-33 และ 2.3-34 |
| | 2. การเจาะและวางท่อระบายน้ำใต้ดิน (Horizontal Drain) | เพื่อลดแรงดันน้ำใต้ดิน ลดระดับน้ำใต้ดิน และระบายน้ำใต้ดิน | - ในกรณีตัด/ถมถนนบนภูเขาที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าระดับถนน<br>- ในกรณีตรวจพบน้ำใต้ดินปริมาณมากไหลซึมจากเชิงลาด | ดูรูปที่ 2.3-36 |
| | 3. ชั้นระบายน้ำใต้ดิน (Drainage Layer/Blanket) | เพื่อเร่งระบายน้ำใต้ดิน ลดแรงดันน้ำใต้ดิน และควบคุมน้ำใต้ดิน | - ในกรณีที่ตรวจพบน้ำซึมขังภายในชั้นทางหรือคันทาง (วัสดุอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ) และการระบายน้ำลงสู่ชั้นดิน Subgrade ไม่ดี<br>- ในกรณีที่ประสบปัญหาน้ำใต้ดิน ได้แก่ จุดที่เป็นแอ่ง (Sag) หรือระดับเกรดของถนนมากกว่า 2 % จุดที่มีน้ำใต้ดินไหลมาบรรจบกัน จุดที่เป็นทางโค้ง จุดที่พบน้ำใต้ดินผุดขึ้นมา เป็นต้น<br>- ในกรณีตัดถนนผ่านภูเขา | ดูรูปที่ 2.3-22 และ 2.3-24 |

ตารางที่ 2.3-1 แนวทางการออกแบบและพิจารณาใช้งานระบบระบายน้ำใต้ดิน (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ชนิดของระบบระบายน้ำใต้ดิน | วัตถุประสงค์ | ข้อควรพิจารณาใช้งาน | รูปแบบแนะนำ |
|---|---|---|---|---|
| - ภูมิประเทศที่เป็นที่ราบลุ่ม อาทิ ถนนบริเวณย่านชุมชน ถนนที่มีเกาะกลางเป็น Raised Median เป็นต้น | 1. ร่องดักน้ำและระบายน้ำใต้ดิน (Subdrain) | เพื่อตัดเส้นทางการไหลซึมของน้ำใต้ดินและกำจัดน้ำที่ไหลซึมเข้ามาในชั้นโครงสร้างทาง | - ในกรณีที่ประสบปัญหาน้ำซึมขังภายในชั้นโครงสร้างทาง (วัสดุอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ) และการระบายน้ำลงสู่ชั้นดิน Subgrade ไม่ดี<br>- ในกรณีที่ไม่สามารถแก้ปัญหาน้ำซึมขังภายในชั้นโครงสร้างทางได้ และความเสียหายเกิดขึ้นซ้ำซากและบ่อยครั้ง<br>- ในกรณีตรวจพบน้ำใต้ดินปริมาณมาก ที่ระดับความลึกไม่เกิน 30 ซม. ใต้ชั้นพื้นทาง | ดูรูปที่ 2.3-32, 2.3-33 และ 2.3-34 |

## 2.4 ระบบระบายน้ำบนสะพาน (Bridge Drainage) และทางลอด (Underpass)

### 2.4.1. ระบบระบายน้ำบนสะพาน

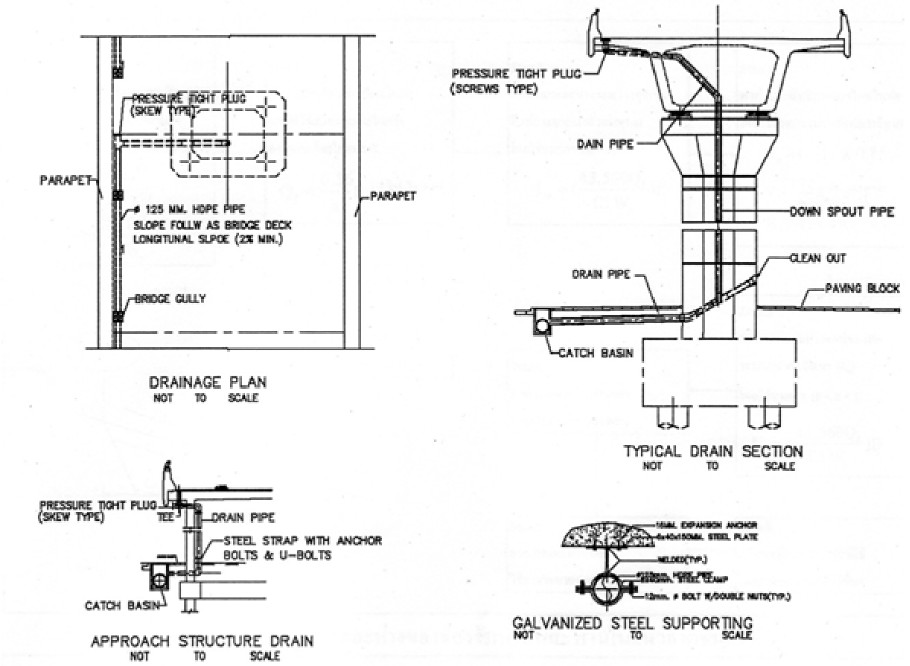
#### 2.4.1.1. การระบายน้ำบนสะพาน

การระบายน้ำบนสะพานเป็นการดำเนินการรวบรวมน้ำที่ขังอยู่บริเวณรางตื้นที่ริมผิวจราจร (Gutter) ระบายลงสู่ช่องระบาย ซึ่งอาจเป็นตะแกรงเหล็ก (Grating Inlet) หรือ ท่อระบายเหล็กหล่อ (Pipe Inlet) ซึ่งติดตั้งเป็นระยะๆ ตามแต่ปริมาณการไหลที่จะต้องการระบาย โดยปกติจะรวบรวมน้ำด้วยท่อ PVC หรือ HDPE ที่ติดตั้งมาตามเสาของโครงสร้างยกระดับต่อเชื่อมลงสู่บ่อพักน้ำ (Catch Inlet) ซึ่งระบายลงสู่ระบบระบายน้ำของถนนสายหลัก หรือ แหล่งธรรมชาติ

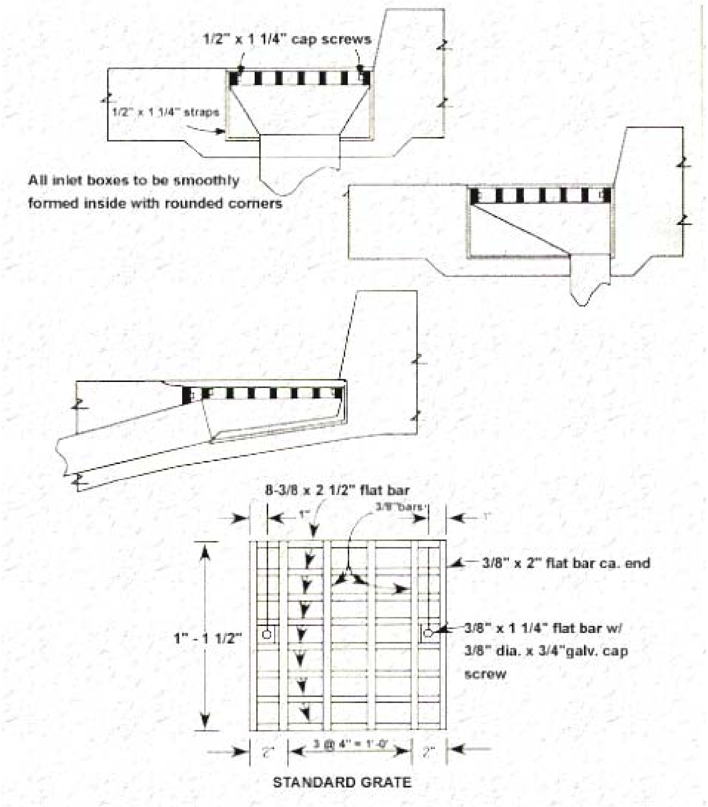
#### 2.4.1.2. อุปกรณ์ระบายน้ำบนและใต้พื้นสะพาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำบนและใต้พื้นสะพานมีดังต่อไปนี้ เช่น รางตื้นที่ริมผิวจราจร (Gutter) ตะแกรงเหล็ก (Grating Inlet) ท่อเหล็กระบายน้ำ (Pipe Inlet) ท่อรวบรวมน้ำชนิด PVC และ HDPE บ่อพักน้ำ (Catch Inlet)

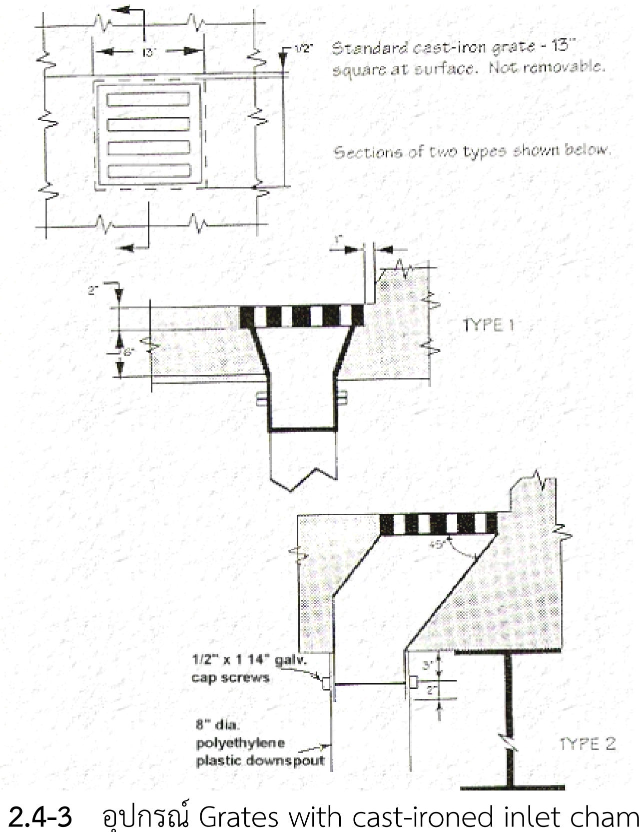
ตัวอย่างของอุปกรณ์ระบายน้ำที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างสะพานของกรมทางหลวงแสดงดังรูปดังต่อไปนี้



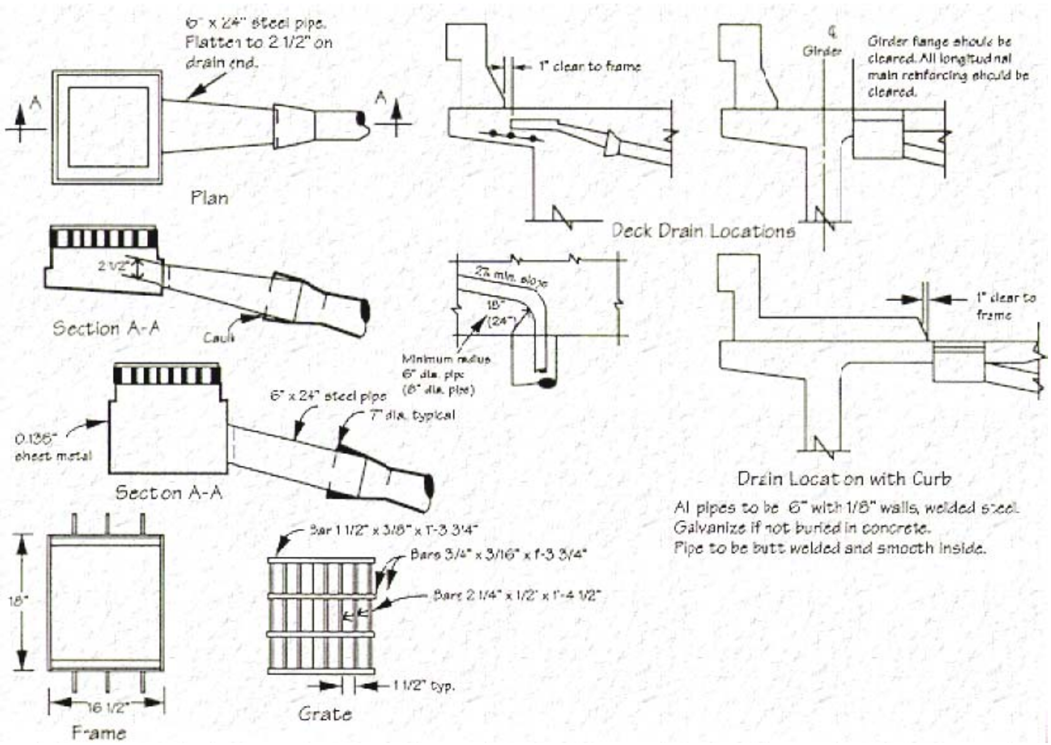

**รูปที่ 2.4-1** ลักษณะการระบายน้ำบนโครงสร้างสะพานลอยข้ามทางแยก




**รูปที่ 2.4-2** อุปกรณ์ Grates with formed concrete inlet chamber




**รูปที่ 2.4-3** อุปกรณ์ Grates with cast-ironed inlet chamber




**รูปที่ 2.4-4** อุปกรณ์ Grates with welded-steel inlet chambers

**รูปที่ 2.4-5** แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

**รูปที่ 2.4-6** แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

**รูปที่ 2.4-7** แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

**รูปที่ 2.4-8** แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

**รูปที่ 2.4-9** แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Plank Beam

**รูปที่ 2.4-10** แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Plank Beam

**รูปที่ 2.4-11** แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Plank Beam

**รูปที่ 2.4-12** แสดงท่อ PVC ในสะพานประเภท Box Beam

**รูปที่ 2.4-13** แสดงท่อ PVC ในสะพานประเภท Box Beam

**รูปที่ 2.4-14** แสดงท่อ PVC ในสะพานประเภท Box Beam

**รูปที่ 2.4-15** ท่อ HDPE เพื่อใช้ระบบน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท I-Girders

**รูปที่ 2.4-16** ระหว่างการติดตั้ง ท่อ Drain Pipe ประเภท HDPE ในสะพานประเภท I-Girders

**รูปที่ 2.4-17** ท่อ Drain Pipe ประเภท HDPE ในสะพานประเภท I-Girders

**รูปที่ 2.4-18** ท่อ Drain Pipe ประเภท PVC ที่ไม่ควรใช้ ในสะพาน

**รูปที่ 2.4-19** ท่อ Drain Pipe ประเภท PVC ที่ไม่ควรใช้ ในสะพาน

**รูปที่ 2.4-20** ลักษณะของ Grating Inlet ที่ใช้ระบายน้ำบนสะพานประเภท I-Girders

**รูปที่ 2.4-21** ลักษณะของ Grating Inlet ที่ใช้ระบายน้ำบนสะพานประเภท I-Girders

**รูปที่ 2.4-22** ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

**รูปที่ 2.4-23** ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

**รูปที่ 2.4-24** ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

**รูปที่ 2.4-25** ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

**2.4.1.3. การระบายน้ำจากบนสะพานไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวง**

โดยทั่วไปน้ำฝนหรือน้ำธรรมชาติที่ตกบนผิวทางของสะพานจะไหลไปสู่ช่องเปิดบนพื้นสะพานและถูกลำเลียงไปสู่ระบบระบายน้ำใต้พื้นสะพาน ส่วนน้ำที่เหลือจากช่องเปิดบนพื้นสะพานจะไหลไปยังบริเวณปลายสะพานและลำเลียงไปสู่ระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน ซึ่งน้ำที่ระบายทั้งหมดจะถูกลำเลียงโดยท่อทั้งแบบเปิดหรือแบบปิดก่อนระบายไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวงต่อไป

### 2.4.2. แนวความคิดและหลักการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

#### 2.4.2.1. การออกแบบโดยการพิจารณาการกระจายตัวของพื้นที่น้ำขังบนพื้นสะพาน

การออกแบบโดยการพิจารณาการกระจายตัวของพื้นที่น้ำขังบนพื้นสะพานเป็นการออกแบบที่พิจารณาปริมาณน้ำฝน Rainfall Intensity จากสมการ Rational Method โดยในการออกแบบจะนำค่าของความกว้างหรือการกระจายตัวของพื้นที่น้ำขัง หรือที่เรียกว่า Spread (T) มาร่วมพิจารณาด้วย โดยปกติ ค่าของความกว้างของน้ำขังจะใช้ประมาณ 0.8เมตร และ หาก จำนวนช่องจราจรมีมากกว่า หนึ่งช่องในแต่ละทิศทาง สามารถสมมุติให้ความกว้างของน้ำขังเท่ากับ ความกว้างของช่องจราจรได้ สำหรับความเหมาะสมและความปลอดภัยที่ได้จากการใช้วิธีนี้นั้น ในต่างประเทศมักจะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ทำให้เกิดการลื่นไถลของยานพาหนะและค่าที่ทำให้เกิดการลดประสิทธิภาพของการมองเห็นของผู้ขับขี่ยานพาหนะ อย่างไรก็ตาม โดยปกติ ปริมาณน้ำที่ประมาณจากการปริมาณน้ำขังและ Rational Method มักจะให้ค่าที่ปลอดภัยเพียงพอในการออกแบบและค่าการก่อสร้างที่ยอมรับได้

#### 2.4.2.2. การออกแบบเพื่อป้องกันการลื่นไถลของยานพาหนะ

การออกแบบเพื่อป้องกันการลื่นไถลของยานพาหนะเป็นวิธีที่ประมาณปริมาณน้ำที่ต้องระบายบนสะพานโดยพิจารณาค่าความเข้มข้นของฝนซึ่งสร้างจากหลักการลื่นไถลของยานพาหนะ ซึ่งค่าความเข้มข้นนี้เป็นค่าความเข้มข้นของน้ำฝนที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำขังที่อยู่ในระดับความลึกที่ทำให้ยานพาหนะลื่นไถล หลักการออกแบบนี้เพื่อที่จะทำการระบายน้ำที่ทำให้เกิดการลื่นไถลนี้ให้หมดไปจากผิวจราจร ดังนั้นการใช้หลักการออกแบบนี้จะใช้ก็ต่อเมื่อมีความต้องการความปลอดภัยสูงมากต่อผู้ขับขี่ซึ่งทำให้ในบางกรณีค่าที่ใช้ในการออกแบบนี้จะค่อนข้างเพิ่มค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างมาก ซึ่งโดยปกติวิธีที่ใช้ในกรมทางหลวงและในประเทศไทย มักจะใช้วิธีแรกเท่านั้น สำหรับผู้ที่สนใจขั้นตอนการออกแบบโดยใช้หลักการนี้สามารถอ้างอิงได้จากคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำของหน่วยงาน Hydrologic Engineering Center (HEC) – www.hec.usace.army.mil

#### 2.4.2.3. การออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่

การออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่เป็นการออกแบบโดยประมาณปริมาณน้ำที่ต้องการระบายบนพื้นสะพานซึ่งหาจากค่าความเข้มข้นของฝนที่หาได้จากค่าที่หาจากหลักการระยะการมองเห็นของคนขับขี่ยานพาหนะ โดยค่าที่ใช้จะเป็นค่าความเข้มข้นที่ทำให้ผู้ขับขี่มีระยะมองเห็นที่สั้นเกินกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ โดยสมการที่ใช้ในการค่าความเข้มข้นของฝนที่มีความสัมพันธ์กับระยะการมองเห็นของคนขับขี่ยานพาหนะหาได้จากสมการที่เสนอโดย Lvey et al (1975) ซึ่งแสดงดังนี้คือ

$$S_v = \frac{2000}{i^{0.68}} \mathrm{x} \frac{40}{v}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | Sv | = | ระยะการมองเห็นของคนขับ (ft) |
| | I | = | Railfall Intensity (in/hr) |
| | V | = | ความเร็วของยานพาหนะ (mi/hr) |

สำหรับข้อควรระวังในการใช้หลักการนี้ในคือการประมาณปริมาณน้ำบนสะพานในประเทศไทย ควรทำการปรับแก้แบบจำลองให้ตรงกับพฤติกรรมของผู้ใช้ถนนในประเทศไทยก่อน ด้วยเหตุนี้โดยปกติวิธีที่ใช้ในกรมทางหลวงและในประเทศไทย มักจะใช้วิธีแรกเท่านั้น สำหรับผู้ที่สนใจขั้นตอนการออกแบบโดยใช้หลักการนี้สามารถอ้างอิงได้จากคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำของหน่วยงาน Hydrologic Engineering Center (HEC) – www.hec.usace.army.mil

**2.4.2.4. การออกแบบโดยพิจารณาขนาดและลักษณะของโครงสร้างสะพาน**

ในการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน ใต้สะพาน และ บริเวณปลายสะพานมีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาขนาดและลักษณะของโครงสร้างสะพานร่วมด้วย ดังเช่นการวางตำแหน่งของช่องเปิดบริเวณบนพื้นสะพานนั้นจะต้องเลือกตำแหน่งที่สอดคล้องกับแนวการวางและระยะห่างของเหล็กเสริมสำหรับสะพานที่ออกแบบเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และต้องพิจารณาการวางแนวของลวดแรงอัดในกรณีของสะพานแบบคอนกรีตอัดแรง โดยจะต้องคำนึงถึงโอกาสที่น้ำที่ลำเลียงออกมาอาจเกิดการรั่วซึมหรืออาจมีส่วนผสมของสารหรือตะกอนต่างๆที่ทำให้เกิดสนิมหรือการเสื่อมถอยของกำลังของโครงสร้างได้

สำหรับกรณีที่ระบบระบายน้ำบริเวณใต้พื้นสะพานไม่ได้ออกแบบให้มีท่อลำเลียงน้ำตามยาวและอนุญาตให้น้ำที่ระบายตกลงมาจากใต้ท้องสะพาน ตำแหน่งของช่องเปิดควรอยู่ห่างจากเสาและตอม่อสะพานเพื่อป้องกันน้ำที่ตกลงมาจากสะพานถูกลมพัดย้อนกลับไปหาเสาและตอม่อซึ่งทำให้เกิดกัดกร่อนหรือสนิมกับโครงสร้างส่วนล่างดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามหากมีความจำเป็นต้องให้ตำแหน่งของช่องเปิดใกล้กับเสาควรออกแบบให้มีท่อลำเลียงน้ำในแนวดิ่งติดกับแนวของเสาและตอม่อของสะพาน

**2.4.2.5.การออกแบบโดยพิจารณาปัจจัยด้านความสวยงามของโครงสร้างสะพาน**

ในการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยด้านความสวยงามของโครงสร้างสะพานเพิ่มเติมจากปัจจัยด้านวิศวกรรม โดยปกติระบบท่อที่ใช้ลำเลียงน้ำจากรูระบายน้ำบนพื้นสะพานไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะหรือพื้นดินมักจะถูกออกแบบให้ยึดติดไปกับแนวของโครงสร้างส่วนบนและส่วนล่าง เช่น ระบบท่อที่ยึดไปกับส่วนของพื้นยื่นของโครงสร้างส่วนบน ระบบท่อที่ยึดไปตามแนวของตอม่อสะพาน เป็นต้น ซึ่งการเดินระบบท่อแบบภายนอกนี้หากผู้ออกแบบไม่คำนึงถึงการวางแนวและการเปลี่ยนมุมของแนวท่อในตำแหน่งที่ดูสวยงาม เรียบร้อย จะทำให้ภาพลักษณ์ของสะพานเสียไป ด้วยสาเหตุดังกล่าววิธีที่นิยมปฏิบัติคือการใช้ส่วนประกอบที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของสะพานมาช่วยบังแนวท่อให้แลดูสวยงามมากขึ้น เช่น การออกแบบให้ส่วนของ

ตอม่อสะพานมีร่องที่สามารถทำการเดินแนวของท่อระบายน้ำได้ หรือ การใช้ส่วนของ Fin หรือ Parapet ของโครงสร้างสะพานส่วนบนมาบังแนวการเดินท่อ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การบำรุงรักษาระบบระบายน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและง่าย ผู้ออกแบบควรหลีกเลี่ยงการฝังท่อหรือระบบระบายน้ำไว้ในส่วนของโครงสร้างสะพาน

**2.4.2.6. การออกแบบเพื่อลดการบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนสะพาน**

โดยทั่วไปการลดการบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนสะพานที่ดีที่สุดคือไม่ควรมี หรือลดจำนวนของรูรับน้ำบนพื้นสะพานให้น้อยที่สุด เนื่องจากปัญหาหลักที่พบในช่วงบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนสะพานคือการอุดตันของรูรับน้ำ ซึ่งหากลดจำนวนของรูรับน้ำให้น้อยแล้วก็จะทำให้โอกาสการเกิดการอุดตันน้อยลงไป

นอกจากนั้นการเลือกขนาดของท่อควรที่จะคำนึงถึงขนาดที่สามารถรองรับการทำความสะอาดได้ง่ายในภายหลัง และควรพิจารณาขนาดท่อและมุมเอียงของข้อต่อต่างๆ ไม่ให้เกิดการอุดตันของท่อเนื่องจากเศษดิน และขยะต่างๆที่อาจไหลมากับน้ำที่ระบายมาจากบนสะพาน

**2.4.3. มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน**

มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบและจัดทำคู่มือนี้ได้อ้างอิงจากคู่มือที่จัดทำขึ้นจากหน่วยงานในต่างประเทศดังต่อไปนี้

- Texas Department of Highways (Texas DOT)
- Hydrologic Engineering Center (HEC)
- Federal Highway Administration (FHWA)
- AASHTO LRFD Bridge Design Specification
- AASHTO Model Drainage Manual

### 2.4.4. การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

#### 2.4.4.1.ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานเริ่มจาก การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้น จากนั้นทำการเลือกมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ทำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำ จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณน้ำบนสะพานที่จำเป็นต้องระบาย ซึ่งโดยปกติใช้ วิธี Rational Method ในการหา Rainfall Intensity จากนั้นคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อได้อัตราการไหลแล้วจึง ทำการคำนวณหาขนาดและรูปร่าง ระยะห่างของช่องเปิดรับน้ำ และขั้นตอนสุดท้ายทำการลงรายละเอียดในแบบจากขั้นตอนทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปในรูปข้างล่างคือ

**รูปที่ 2.4-26** ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

#### 2.4.4.2. การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายบนสะพาน

1) การเลือกค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจรและคาบของพายุฝนที่ใช้ในการออกแบบ

การเลือกค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร (T) นั้น โดยปกติจะใช้ค่าความกว้างหรือการกระจายตัวของน้ำขัง ประมาณ 0.8 เมตร แต่ในต่างประเทศอาจใช้ความกว้างของหนึ่งช่องจราจรเป็นความกว้างที่ให้น้ำกระจายตัวได้

สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) หรือคาบของพายุฝน ที่ใช้ในการออกแบบปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายบนสะพานจะใช้ประมาณ 25 ปี ซึ่งเท่ากับในกรณีที่ใช้สำหรับการคำนวณระบบระบายน้ำในท่อลอดหรือสะพานขนาดเล็ก

2) การคำนวณค่าปริมาณน้ำโดยใช้ Rational Method

ในการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญได้แก่ การคำนวณค่าปริมาณน้ำโดยใช้สมการ Rational Method ซึ่งแสดงดังนี้

$$Q = 0.278CIA$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | Q | = | ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที |
| | C | = | สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9) |
| | I | = | ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม. |
| | A | = | ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน มีหน่วยเป็น ตร.กม |

โดยปกติการหาค่าปริมาณความเข้มฝน จำเป็นต้องทราบ คาบหรือรอบปีการเกิดซ้ำ และช่วงเวลาการไหลของน้ำฝนมายังตำแหน่งของอาคารระบายน้ำ (Time of Concentration) แต่ในกรณีที่ใช้กราฟนี้หาความเข้มของน้ำฝนบนสะพาน ช่วงเวลาการไหลมักจะประมาณจากผลรวมของสมการดังต่อไปนี้

$$t_0 = 0.93\frac{(W_p n)^{0.6}}{(C_i)^{0.4}S^{0.3}}$$

$$t_g = \frac{484\ (SxT)^2}{C_i W_p}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | Wp | = | ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ |
| | n | = | สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning |
| | Sx | = | ความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน |
| | S | = | ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน |
| | T | = | ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร |
| | C | = | สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9) |

ซึ่งหลังจากประมาณค่าปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายบนสะพานแล้ว จะนำไปใช้ออกแบบขนาดรางระบายน้ำ และ หาขนาดและจำนวนของช่องเปิดรับน้ำบนสะพานต่อไป

#### 2.4.4.3. การออกแบบรางระบายน้ำบนพื้นสะพาน

โดยทั่วไปการออกแบบรางระบายน้ำบนพื้นสะพานจะใช้หลักการเดียวกับการไหลบนผิวทางนั่นคือใช้สมการของ Manning Formula ได้แก่

$$Q = \frac{0.376}{n} Cr^{1.67} S^{0.5} T^{2.67}$$

โดยที่

| | | | |
|---|---|---|---|
| | n | = | สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning |
| | Cr = Sx | = | ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน |
| | S | = | ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน |
| | T | = | ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร |

ซึ่งจากสมการข้างต้นทำให้สามารถออกแบบขนาดของรางระบายน้ำบนพื้นสะพานให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายได้ หลังจากการประมาณหาขนาดของรางระบายน้ำบนพื้นสะพาน เพื่อให้น้ำที่ไหลบนรางสามารถที่จะระบายออกไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะได้ ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องประมาณหาขนาดและจำนวนของช่องเปิดเพื่อรับน้ำที่ไหลในรางนี้เพื่อระบายออกไปได้ โดยการระบายน้ำลักษณะนี้จะใช้แนวความคิดเหมือนกับการระบายน้ำบนทางยกระดับที่เรียกว่า Deck Drain Capacity ซึ่งจะระบายน้ำผ่านช่องเปิดซึ่งติดตั้งอยู่เป็นระยะๆ มีลักษณะการไหลเหมือนกับการไหลของน้ำผ่านฝาย ซึ่งมีลักษณะเป็นการไหลลงสู่ที่ต่ำด้วยแรงโน้มถ่วงผ่านช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นสันทั้งรูปแบบของการระบายน้ำผ่านช่องตะแกรงที่ติดตั้งอยู่บนพื้นผิวจราจร และ ช่องตะแกรงแบบติดตั้งด้านข้าง ซึ่งสามารถทำได้โดยพิจารณาสมการดังนี้

$$Q_i = C_w P d^{1.5}$$

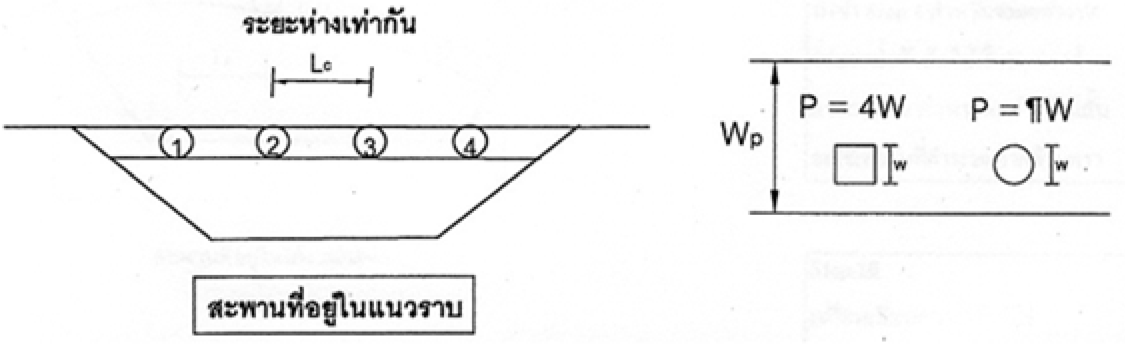
โดยที่

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Qi | = | อัตราการระบายน้ำ มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที |
| | P | = | ค่าความยาวรอบรูปของช่องเปิด (Inlet) |
| | Cw | = | สัมประสิทธิของฝายน้ำล้น โดยปกติสมมุติให้เป็น 1.66 |
| | d | = | ความลึกของการไหลโดยปกติสมมุติให้เป็น 0.05 เมตร |

#### 2.4.4.4. การออกแบบขนาดและระยะห่างของช่องเปิดบนพื้นสะพาน

จากสมการที่ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำที่ต้องระบายบนพื้นสะพานและขนาดของช่องเปิดและรางระบายน้ำเพื่อใช้ระบายน้ำบนสะพานไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะ เพื่อให้การคำนวณหาขนาดและระยะห่างของช่องเปิดบนพื้นสะพานเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น สมการในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 จึงนำมาปรับให้ตรงกับลักษณะสะพานแบบต่างๆ เช่น สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งเป็นศูนย์ สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งคงที่ และสะพานโค้งดิ่งทั่วไป

1) สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งเป็นศูนย์




**รูปที่ 2.4-27** การออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำของสะพานในแนวราบ

สมการและขั้นตอนการออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำบนสะพาน ในแนวลาดชันเป็นศูนย์ มีดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำนวณหาความเข้มฝนโดยใช้เวลารวมน้ำฝนคงที่เท่ากับ 5 นาที

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คำนวณหาระยะห่างคงที่ของท่อ (Lc) โดยใช้วิธีแบบกระจายในการออกแบบ ซึ่งสมการการหาระยะห่างคงที่คือ

$$L_C = \frac{1312}{(nCiW_p)^{0.67}} S_x^{\;1.44} T^{2.11}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | n | = | สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning |
| | Sx | = | ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน |
| | T | = | ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร |
| | Wp | = | ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ |
| | C | = | สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9) |
| | I | = | ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม. |

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ตรวจสอบค่าที่คำนวณในขั้นตอนที่ 2 ถ้าหากระยะห่างของท่อระบายน้ำที่คำนวณได้มากกว่าความยาวสะพาน ไม่จำเป็นต้องใส่ท่อ อย่างไรก็ตามหากน้อยกว่าความยาวสะพาน จำเป็นต้องใส่ท่อระบายน้ำ โดยขนาดท่อคำนวณจาก

$$P = \frac{(CiW_p)^{0.33} T^{0.61}}{102.5 S_x^{\;0.06} n^{0.67}}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | n | = | สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning |
| | Sx | = | ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน |

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

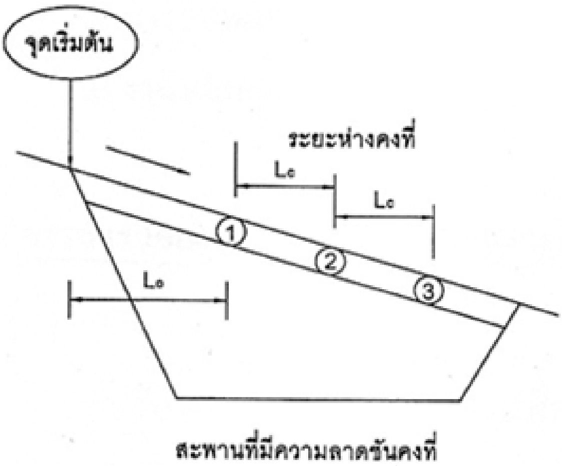
C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ชม.

P = ค่าความยาวรอบรูปของช่องเปิด (Inlet)

ซึ่งเมื่อคำนวณหาค่าความยาวรอบรูปของช่องเปิดจากสมการข้างต้น จะสามารถเลือกขนาดของท่อที่ใช้ติดตั้งบนสะพานได้ต่อไป ตัวอย่างของชนิดและขนาดของท่อบนพื้นสะพานประเภท Slab Type ได้แก่ ท่อแบบ Mortar Drainage Pipe ซึ่งมีขนาดเส้นรอบรูปภายในเท่ากับ 2x(0.1+0.2) = 0.6 เมตร ซึ่งรูปแบบของท่อนี้สามารถอ้างอิงได้จากแบบมาตรฐานกรมทางหลวงของสะพานประเภท Slap Type (DWG NO. ST-01)

2) สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งคงที่




**รูปที่ 2.4-28** การออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำของสะพานที่มีความชันคงที่

สมการและขั้นตอนการออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำบนสะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งคงที่ มีดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำนวณหาความเข้มข้นของฝน สำหรับเวลาที่น้ำไหลลงท่อระบายน้ำตัวแรก โดยใช้สมการร่วมกับ IDF Curve ดังนี้

$$t_0 = 0.93\frac{(W_P n)^{0.6}}{(Ci)^{0.4} S^{0.3}}$$

$$t_g = 484\frac{(SxT)^2}{CiW_p}$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คำนวณหาอัตราการไหลในท่อโดยใช้วิธีการกระจายของน้ำขังบนผิวจราจรในการออกแบบ ซึ่งแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$Q_f = \frac{0.56}{n} Sx^{1.67} S^{0.5} T^{2.67}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> คำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดเริ่มถึงท่อระบายน้ำตัวแรก (Lo) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$L_0 = \left(\frac{43{,}560 Q_f}{CiW_p}\right)E$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

Qf = อัตราการไหลในท่อที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2

E = ประสิทธิภาพการไหลในรางระบายน้ำ ตัวแรกจะสมมุติให้เป็น 1.0

หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่ายาวกว่าความยาวสะพาน $L_B$ ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งรูระบายน้ำบนสะพาน อย่างไรก็ตามระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานควรพิจารณาเพิ่มเติม

หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่าสั้นกว่าความยาวสะพาน $L_B$ ให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 6

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> คำนวณหาประสิทธิภาพการไหลในรางระบายน้ำ โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$E = Eo(Rf)$$

โดยค่า Eo และ Rf หาได้จากรูปที่ 2.4-30 ถึง 2.4-32

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> คำนวณหาระยะห่างคงที่ของท่อระบายน้ำตัวถัดมา $(Lc)$ โดยใช้สมการ ( 0 < E < 1)

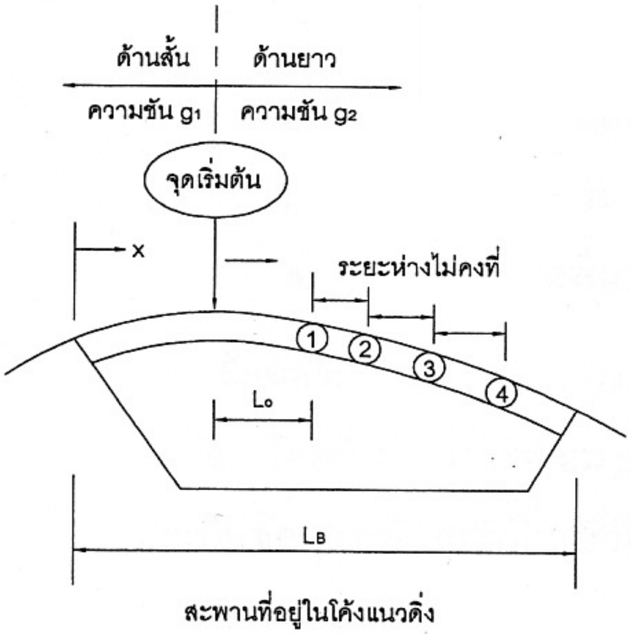
$$L_C = (\frac{43{,}560Q_f}{CiW_p})E$$

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> ลงตำแหน่งท่อระบายน้ำลงบนโครงสร้างสะพาน

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> ออกแบบสะพานและวิธีการระบายน้ำถนนระดับพื้น

<u>ขั้นตอนที่ 8</u> เปรียบเทียบความเข้มที่ใช้ในการออกแบบกับวิธีอื่นๆ

3) สะพานโค้งดิ่งทั่วไป




**รูปที่ 2.4-29** การออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำของสะพานที่มีความชันของโค้งดิ่งทั่วไป

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> หาความยาวของด้านสั้น และด้านยาวจากจุดสูงสุดของสะพานถึงปลายสะพานทั้ง 2 ด้าน $L_{E1}$ และ $L_{E2}$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาความเข้มข้นของฝน สำหรับเวลาที่น้ำไหลลงท่อระบายน้ำตัวแรก โดยใช้สมการร่วมกับ IDF Curve ดังนี้

$$t_0 = 0.93\frac{(W_P n)^{0.6}}{(Ci)^{0.4} S^{0.3}}$$

$$t_g = 484\frac{(SxT)^2}{CiW_p}$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

โดยเวลาน้ำไหลลงรูระบายน้ำตัวแรก หาได้จาก tc= to+tg

ขั้นตอนที่ 3 เลือกระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดด้านยาวของสะพานถึงท่อระบายน้ำตัวแรกและคำนวณหาความชันดังสมการข้างล่าง

$$S = \frac{g_2 - g_1}{L_B}x + g_1$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำข้างสะพาน (gutter flow) โดยใช้วิธีการกระจายของน้ำขังบนผิวจราจรในการออกแบบ ซึ่งแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$Q_f = \frac{0.56}{n}Sx^{1.67}S^{0.5}T^{2.67}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดเริ่มถึงท่อระบายน้ำตัวแรก (Lo) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$L_0 = (\frac{43{,}560Q_f}{CiW_p})$$

$$L = (\frac{43{,}560Q_f E}{CiW_p})$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | Wp | = | ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ |
| | C | = | สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9) |
| | I | = | ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม. |
| | Qf | = | อัตราการไหลในท่อที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2 |
| | E | = | ประสิทธิภาพการไหลในท่อ ตัวแรกจะสมมุติให้เป็น 1.0 |

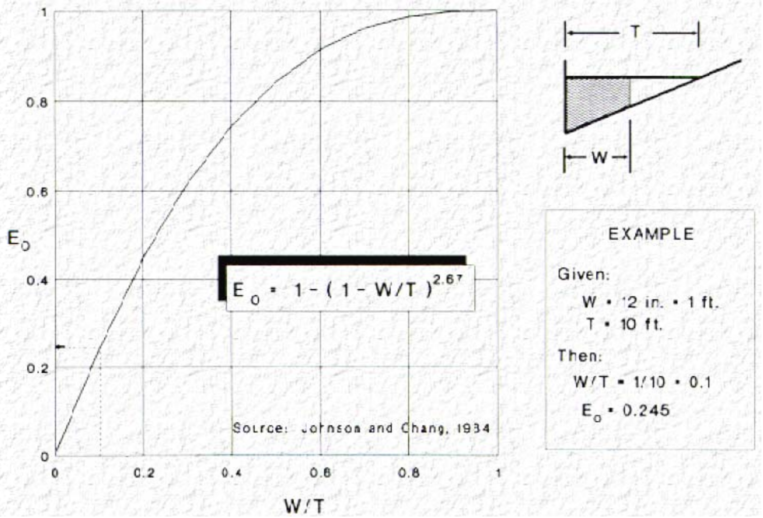
หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่ายาวกว่าความยาวสะพาน $L_B$ ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งรูระบายน้ำบนสะพาน อย่างไรก็ตามระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานควรพิจารณาเพิ่มเติม

หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่าสั้นกว่าความยาวสะพาน $L_B$ ให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 6

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> คำนวณหาระยะของท่อระบายน้ำตัวถัดไปทางด้านยาวของสะพาน โดยใช้ค่า E ตามค่าที่แนะนำจากผู้ผลิตอุปกรณ์รูระบายน้ำ (inlet) หากไม่มีข้อมูลสามารถใช้สมการดังต่อไปนี้

$$E = Eo(Rf)$$

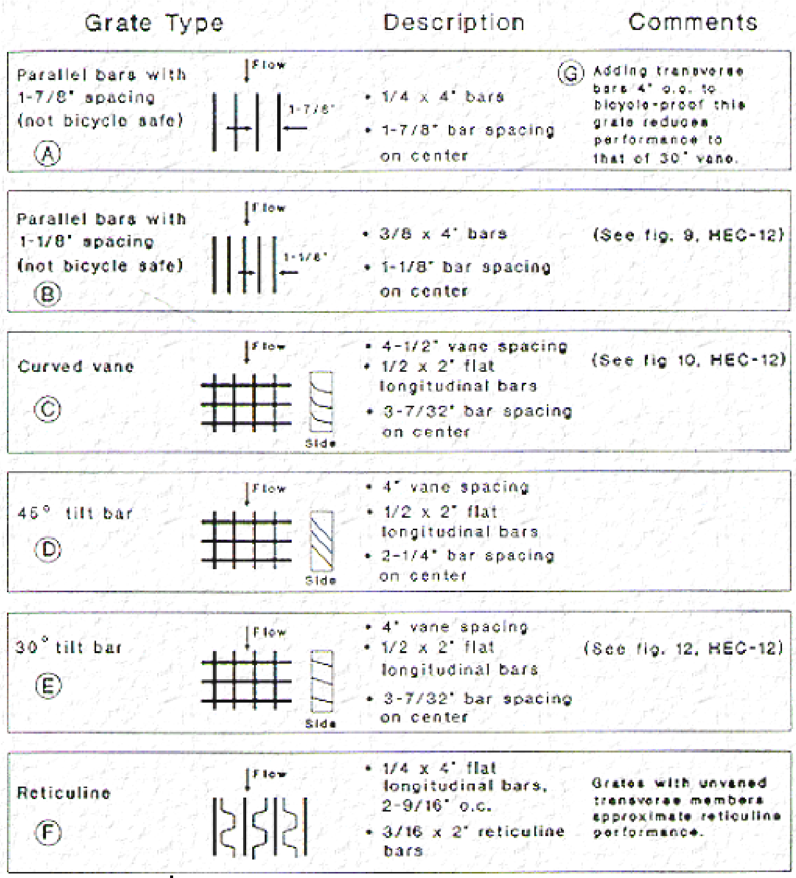
โดยที่ค่า Eo หาจากกราฟข้างล่างนี้



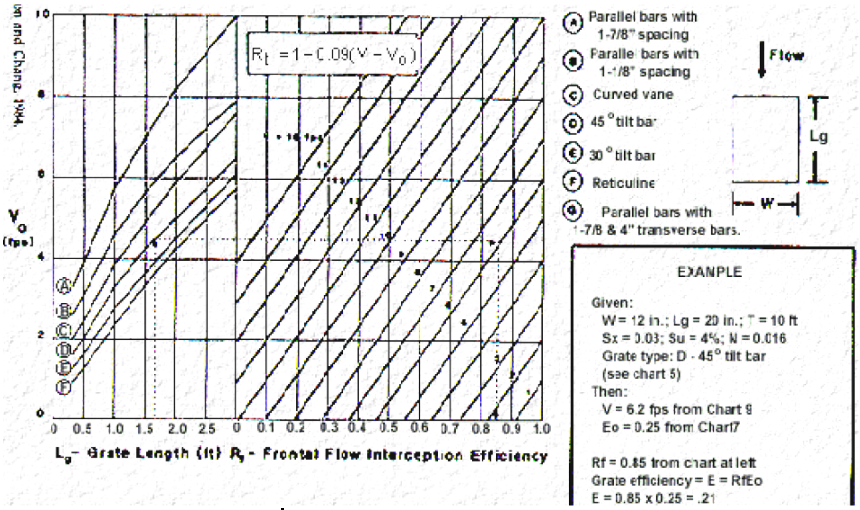

**รูปที่ 2.4-30** กราฟสำหรับหาค่า Eo

สำหรับค่า Rf หาจากกราฟข้างล่างนี้ โดยใช้ร่วมกับสมการหาค่า V และชนิดของ Inlet Grating โดยสมการหาค่า V หาได้จาก

$$V = \frac{1.12}{n} Sx^{0.67} S^{0.5} T^{0.67}$$




**รูปที่ 2.4-31** ชนิดและรูปแบบของ Inlet Grating




**รูปที่ 2.4-32** กราฟสำหรับหาค่า Rf

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> ทำซ้ำ ขั้นตอนที่ 6 สำหรับระยะห่างระบายน้ำตัวถัดไปเรื่อยๆ ของด้านยาวสะพาน ส่วนระยะห่างด้านสั้นจะใช้เท่ากับที่คำนวณจากด้านยาว

<u>ขั้นตอนที่ 8</u> ลงตำแหน่งท่อระบายน้ำลงบนโครงสร้างสะพาน

<u>ขั้นตอนที่ 9</u> ออกแบบสะพานและวิธีการระบายน้ำถนนระดับพื้น

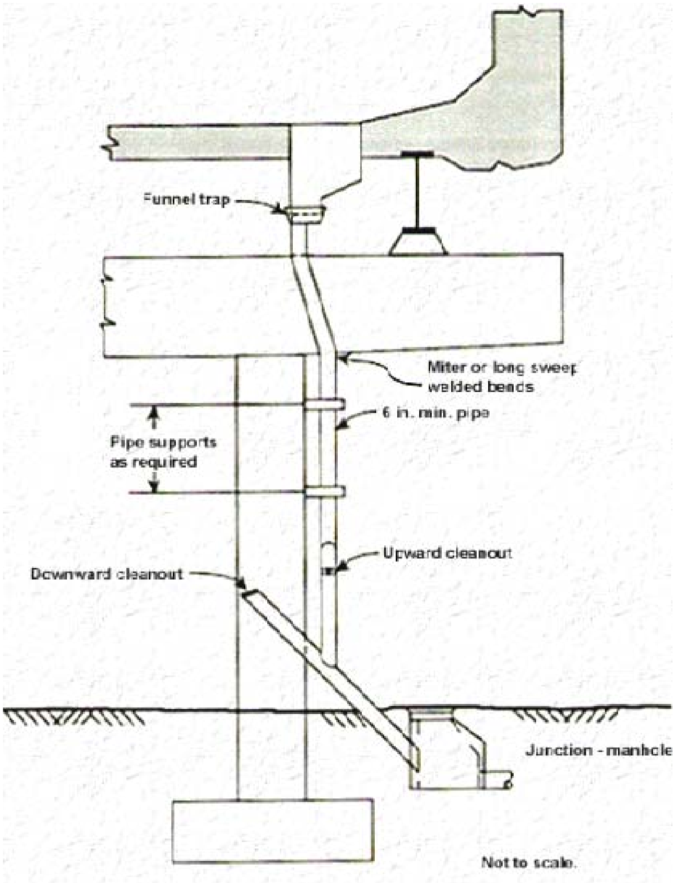
<u>ขั้นตอนที่ 10</u> เปรียบเทียบความเข้มที่ใช้ในการออกแบบกับวิธีอื่นๆ

**2.4.4.5. การออกแบบระบบระบายน้ำใต้พื้นสะพาน**

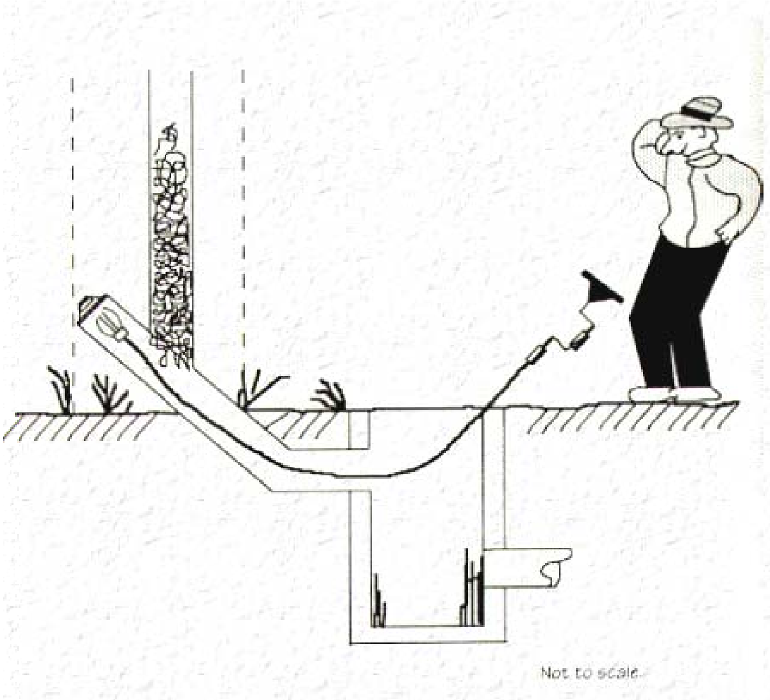
หลังจากน้ำฝนที่ตกบนพื้นสะพานถูกระบายมาตามช่องเปิดและรางระบายน้ำบนพื้นสะพาน ปริมาณน้ำที่ระบายจะถูกลำเลียงมาตามท่อใต้สะพาน ซึ่งโดยปกติท่อที่ใช้จะเป็นท่อ เหล็กหล่อ (cast-iron pipe) หรือ ท่อพลาสติก (Plastic Pipe) ซึ่งในกรมทางหลวง ภายหลังจะใช้ท่อ HDPE ในการลำเลียงน้ำบริเวณใต้พื้นสะพานแทนท่อเหล็กหล่อเนื่องจากมีค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า

สำหรับขนาดท่อที่ใช้กันโดยทั่วไปในต่างประเทศจะมีขนาดอย่างน้อย 6 ถึง 8 นิ้ว สำหรับท่อที่เป็นเหล็กหล่อควรมีความหนาอย่างน้อย 1/8 นิ้ว และท่อพลาสติกควรที่แข็งแรงเพียงพอและสามารถฝังในเนื้อคอนกรีตได้ นอกจากนั้นในการออกแบบควรพิจารณาขนาดท่อและมุมเอียงของข้อต่อต่างๆ ไม่ให้เกิดการอุดตันของท่อเนื่องจากเศษดิน และขยะต่างๆที่อาจไหลมากับน้ำที่ระบายมาจากบนสะพาน ซึ่งโดยปกติแนวทางหนึ่งที่ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของท่อคือการกำหนดความเร็วในการไหลของน้ำที่ระบายในท่อ สำหรับค่าที่นิยมใช้ในการออกแบบการไหลในท่อ จะอยู่ที่ 2.5 ฟุตต่อวินาที ซึ่งสำหรับท่อขนาด 6-8 นิ้วควรให้มีความชันของท่ออย่างน้อย 8% เพื่อให้ความเร็วขั้นต่ำในการไหลอยู่ที่ 2.5 ฟุตต่อวินาที

สำหรับตัวอย่างของระบายระบายน้ำภายใต้สะพานแสดงในรูปดังต่อไปนี้




**รูปที่ 2.4-33** ตัวอย่างระบบระบายน้ำใต้สะพาน




**รูปที่ 2.4-34** ทำความสะอาดท่อลำเลียงน้ำใต้สะพาน

จากรูปแบบของท่อระบายน้ำใต้สะพานที่แสดงข้างต้น ผู้ออกแบบสามารถทำการออกแบบระบบระบายใต้พื้นสะพานเพื่อประมาณหาขนาดของท่อและข้อต่อต่างๆโดยใช้ทฤษฎีและสมการดังต่อไปนี้

การสูญเสียเฮดแรงดันในเส้นท่อ จำแนกได้ 2 ลักษณะ คือการสูญเสียหลัก (Major losses) ที่เกิดจากแรงเสียดทานของการไหลตามแนวยาวของเส้นท่อ และการสูญเสียรอง (Minor losses) ที่เกิดจากอุปกรณ์ เช่น ข้อต่อ ข้องอ ข้อลด ปากทางเข้า เป็นต้น

1) การสูญเสียหลัก (Major losses, $H_f$) มีสมการที่ใช้คำนวณหลายสมการแต่จะเลือกใช้สมการดังต่อไปนี้

1.1) สมการของ Darcy-Weisbach ค่าการสูญเสียเฮดแรงดันเนื่องจากความฝืด $(h_f)$ในเส้นท่อกลม (ดังแสดงในรูปที่ 2.4-14) ซึ่งมีค่าเท่ากับการสูญเสียหลัก $(H_f)$ คำนวณได้จาก

$$H_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

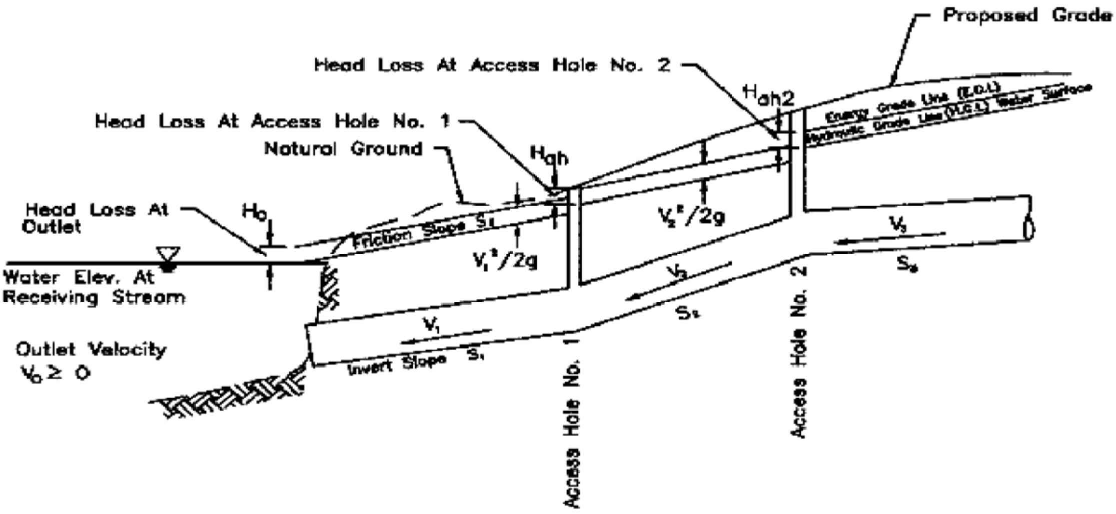
โดยที่ f = สัมประสิทธิ์ของความฝืด

L = ความยาวของท่อ (m)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

V = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก




**รูปที่ 2.4-35** รูปแสดงเส้นลาดพลังงาน (Federal Highway Administartion,2001)

1.2) สมการของ Manning ในอดีตสมการนี้ถูกคิดขึ้นมาเพื่อการออกแบบรางเปิด แต่ปัจจุบันก็ใช้สมการนี้ออกแบบทั้งรางน้ำเปิดและท่อปิดทั้งสองกรณีจากสมการนี้

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (ดังแสดงในตารางที่ 2.4-7)

R = รัศมีชลศาสตร์ (m)

S = ความลาดชันของเส้นลาดพลังงาน (m/m)

รัศมีทางชลศาสตร์ หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของการไหล ($m^2$/Wetted perimeter) สำหรับท่อที่มีการไหลเต็มท่อ, R จะเท่ากับ

$$R = \frac{\left[\frac{\pi}{4}\right] D^2}{\pi D} = \frac{D}{4}$$

หรืออยู่ในรูปอัตราการไหล

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{8/3} S_0^{1/2}$$

**ตารางที่ 2.4-1** แสดงค่า Manning's Coefficients for Strom Drain

(Federal Highway Administartion,2001)

| Type of Culvert | Roughtness or Corrugation | Manning s (n) |
|---|---|---|
| Concrete Pipe | Smooth | 0.010-0.011 |
| Concrete Pipe | Smooth | 0.012-0.013 |
| Spiral Metal Pipe | Smooth | 0.012-0.013 |
| Corrugated Metal Pipe, Pipe-Arch and Box (Annular or Helical Corrugation ) | 68 by 13 mm. 2-2/3 by in. Annular | 0.022-0.011 |
| | 68 by 13 mm. 2-2/3 by in. Helical | 0.011-0.023 |
| | 150 by 25 mm 6 by 1 in. Helical | 0.022-0.025 |
| | 125 by 25 mm. 5 by 1 in | 0.025-0.026 |
| Corrugated Metal Pipe, Pipe-Arch and Box (Annular or Helical Corrugation) | 75 by 25 mm 5 by 1 in | 0.027-0.028 |
| | 150 by 50 mm 6 by 2 in Structural Plate | 0.033-0.035 |
| | 230 by 64 mm 9 by 2-1/2 in Structural Plate | |
| Type of Culvert | Roughtness or Corrugation | Manning s (n) |
| Corrugated Polyethylene | Smooth | 0.009-0.015 |
| Corrugated Polyethylene | Corrugated | 0.018-0.025 |
| Polyvinyl chloride (PVC) | Smooth | 0.009-0.011 |

2) การสูญเสียรอง (Minor loss, $H_m$) นอกจากความสูญเสียพลังงานในรูปที่เกิดจากความเสียดทานและความสูญเสียพลังงานในรูปอื่นๆ เช่น เกิดขึ้นเมื่อขนาดและทิศทางของความเร็วของการไหลเปลี่ยนแปลงไป มักเรียกกันว่าเป็นความสูญเสียรอง และความสูญเสียรองเหล่านี้ สามารถแสดงได้ในรูปของฟังก์ชั่นของกำลังสองของความเร็วของการไหล ($V^2/2g$) อนึ่งความสูญเสียรองในท่อปิดและในรางเปิดก็มีความแตกต่างกัน ความสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อปิดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.61)

2.1) การสูญเสียรองในท่อปิด ความสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อปิดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.61) โดยค่าความเร็ว V นั้นเป็นค่าความเร็วพอดีต้นน้ำ (immediately upstream) ภายในหรือพอดีใต้น้ำหรือรอยต่อหรือข้อต่อ ทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานขึ้น

$$H_\text{m} = K_{ah}\frac{V^2}{2g}$$

โดยที่ Hm = ค่าความสูญเสียรอง

Kah = สัมประสิทธิ์ความสูญเสียรอง (ดังแสดงในตารางที่ 2.4-8)

V = ความเร็วต้นน้ำ

G = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

**ตารางที่ 2.4-2** แสดงค่า head loss Coefficients (Federal Highway Administartion,2001)

| Structure Configuration | $K_{ah}$ |
|---|---|
| Inlet-straight run | 0.50 |
| Inlet-angled through | |
| 90° | 1.50 |
| 60° | 1.25 |
| 45° | 1.10 |
| 22.5° | 0.70 |
| Manhole-straight run | 0.15 |
| Manhole-angled through | |
| 90° | 1.00 |
| 60° | 0.85 |
| 45° | 0.75 |
| 22.5 | 0.45 |

2.2) การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ

$$H_f = S_f L$$

โดยที่ Hf = ค่าความสูญเสียจากแรงเสียดทานในท่อ

Sf = ค่าความเสียดทานเนื่องจากความชัน (friction slope)

L = ค่าความยาวของท่อ

เมื่อให้ค่า $S_0$ มีค่าเท่ากับ $S_f$ สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

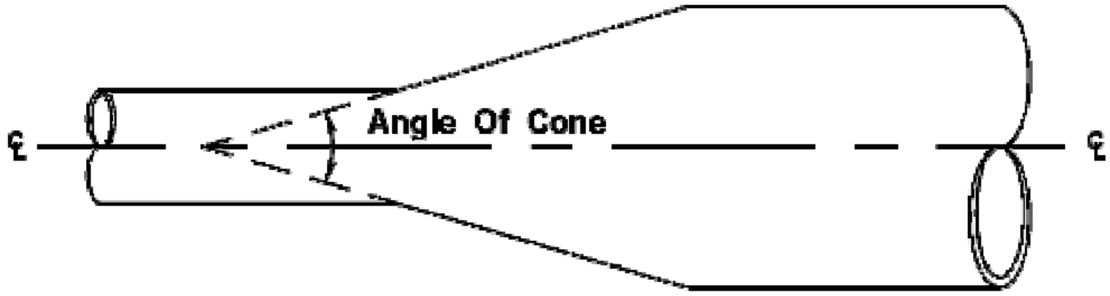
$$S_f = \frac{H_f}{L} = \left[\frac{Qn}{0.312D^{2.67}}\right]^2$$

2.3) การสูญเสียในท่อโค้ง (Bend losses) สามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_b = 0.0033(\Delta)\left[\frac{V^2}{2g}\right]$$

โดยที่ $\Delta$ = มุมที่ท่องอ (angle of curvature in degrees)

2.4) การสูญเสียเนื่องจากเปลี่ยนขนาดอย่างกะทันหัน ความสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดและการเพิ่มขนาดจะขึ้นกับความแตกต่างของหัวความเร็วก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด ดังแสดงในรูป




**รูปที่ 2.4-36** รูปแสดงการเปลี่ยนขนาดของท่อ (Federal Highway Administartion, 2001)

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

สำหรับการลดขนาด

$$h_c = K_c\left[\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right]$$

สำหรับการเพิ่มขนาด

$$h_e = K_e\left[\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}\right]$$

โดยที่ hc = ค่าความสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดขนาด, (m)

he = ค่าความสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเพิ่มขนาด, (m)

Kc = ค่าคงที่สำหรับการลดขนาด (ดังแสดงในตารางที่ 2.4-9)

Ke = ค่าคงที่สำหรับการเพิ่ม (0.5Kc) (ดังแสดงในตารางที่ 2.4-10)

V1 = ความเร็วของการไหลก่อนการเปลี่ยนหน้าตัด (m/s)

V2 = ความเร็วของการไหลหลังการเปลี่ยนหน้าตัด (m/s)

**ตารางที่ 2.4-3** ตารางแสดงค่า $K_c$ เมื่อท่อขยายขนาด (Federal Highway Administartion,2001)

| $D_2/D_1$ | ค่าความเร็ว ,$V_1$ (m/s) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 3.0 | 3.7 | 4.6 | 6.1 | 6.1 | 9.1 |
| 1.2 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.08 |
| 1.4 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.22 | 0.21 | 0.20 |
| 1.6 | 0.40 | 0.39 | 0.38 | 0.37 | 0.37 | 0.36 | 0.36 | 0.35 | 0.35 | 0.34 | 0.33 | 0.32 | 0.32 |
| 1.8 | 0.51 | 0.49 | 0.48 | 0.47 | 0.47 | 0.46 | 0.46 | 0.45 | 0.44 | 0.43 | 0.42 | 0.41 | 0.40 |
| 2.0 | 0.60 | 0.58 | 0.56 | 0.55 | 0.55 | 0.54 | 0.53 | 0.52 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.48 | 0.47 |
| 2.5 | 0.74 | 0.72 | 0.70 | 0.69 | 0.68 | 0.67 | 0.66 | 0.65 | 0.64 | 0.63 | 0.62 | 0.60 | 0.58 |
| 3.0 | 0.83 | 0.80 | 0.78 | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 0.74 | 0.73 | 0.72 | 0.70 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 4.0 | 0.92 | 0.89 | 0.87 | 0.85 | 0.84 | 0.83 | 0.82 | 0.80 | 0.79 | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 5.0 | 0.96 | 0.93 | 0.91 | 0.89 | 0.88 | 0.87 | 0.86 | 0.84 | 0.83 | 0.82 | 0.80 | 0.77 | 0.75 |
| 10.0 | 1.00 | 0.99 | 0.96 | 0.95 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.89 | 0.88 | 0.86 | 0.84 | 0.82 | 0.80 |
| $\infty$ | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.91 | 0.90 | 0.88 | 0.86 | 0.83 | 0.81 |

**ตารางที่ 2.4-4** ตารางแสดงค่า $K_e$ เมื่อท่อมีขนาดลดลง (Federal Highway Administartion,2001)

| $D_2/D_1$ | ค่าความเร็ว , $V_1$ (m/s) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 3.0 | 3.7 | 4.6 | 6.1 | 9.1 | 12.2 |
| 1.1 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.06 |
| 1.2 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.11 |
| 1.4 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.20 |
| 1.6 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.24 |
| 1.8 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.33 | 0.33 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.29 | 0.27 |
| 2.0 | 0.38 | 0.38 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.36 | 0.36 | 0.35 | 0.34 | 0.33 | 0.31 | 0.29 |
| 2.2 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.38 | 0.37 | 0.37 | 0.35 | 0.33 | 0.30 |
| 2.5 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 0.41 | 0.40 | 0.40 | 0.39 | 0.38 | 0.37 | 0.34 | 0.31 |
| 3.0 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 0.42 | 0.42 | 0.41 | 0.40 | 0.39 | 0.36 | 0.33 |
| 5.0 | 0.48 | 0.48 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.46 | 0.46 | 0.45 | 0.45 | 0.44 | 0.42 | 0.38 | 0.35 |
| 10.0 | 0.49 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.47 | 0.47 | 0.46 | 0.46 | 0.45 | 0.43 | 0.40 | 0.36 |
| $\infty$ | 0.49 | 0.49 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.46 | 0.45 | 0.44 | 0.41 | 0.38 |

D2/D1 คือ อัตราส่วนระหว่างท่อขนาดใหญ่ต่อท่อขนาดเล็ก

V1 คือ ค่าความเร็วในท่อเล็ก

2.5) การสูญเสียเนื่องจากปากทางเข้าและบ่อพักน้ำเข้าโดยวิธี เส้นลาดพลังงาน (Inlet and Access Hole Losses for EGL calculations) เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาค่าการสูญเสียพลังงานซึ่งเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ การสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการไหลจากท่อหนึ่งไปยังท่ออื่นๆ จะมีความเร็วค่าหนึ่งกับการไหลที่ทางออก ดังนั้นเมื่อมีน้ำไหลทวนภายในท่อสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$H_{\mathrm{ah}} = \mathrm{K}\left[\frac{V_0^2}{2g}\right]$$

และ

$$K = K_0 C_D C_d C_Q C_p C_b$$

โดยที่ K = ค่าปรับแก้สัมประสิทธิ์การสูญเสีย

K0 = สัมประสิทธิ์การสูญเสียหลักที่เกี่ยวข้องกับขนาดทางเข้า

CD = ปัจจัยการตรวจแก้สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (ความดันการไหลเท่านั้น)

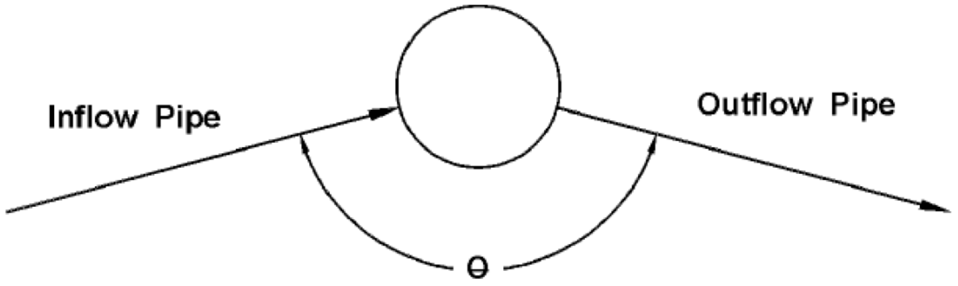
Cd = ปัจจัยการตรวจแก้ที่เกี่ยวข้องสำหรับการไหลเวียน

CQ = ปัจจัยการตรวจแก้สำหรับการไหลเวียนที่การจุ่ม

Cp = ปัจจัยการตรวจแก้สำหรับ benching

V0 = ความเร็วการไหลออกจากท่อ

ค่า $K_0$ ในสมการที่ (3.68) เป็นค่าที่สัมพันธ์ระหว่างขนาดของบ่อพักน้ำเข้า (access hole size) และมุมระหว่างการไหลเข้าที่ท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก ดังแสดงในรูปที่ 2.4-16




**รูปที่ 2.4-37** รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของบ่อพักน้ำเข้าและมุมระหว่างการไหลเข้าและไหลออกในท่อ (Federal Highway Administartion, 2001)

ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$K_0 = 0.1\left[\frac{b}{D_0}\right](1-\sin\theta) + 1.4\left[\frac{b}{D_0}\right]^{0.15}\sin\theta$$

โดยที่ θ = มุมระหว่างท่อน้ำเข้ากับท่อน้ำออก

b = ขนาดของบ่อทางน้ำเข้า หรือ ขนาดของข้อต่อ

D0 = ขนาดท่อช่วงทางออก

ขนาดของท่อที่แตกต่างกันสามารถทำให้การสูญเสียพลังงานเปลี่ยนแปลงได้ ส่งผลเฉพาะความดันก็จะมีการเปลี่ยนแปลง ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง ความลึกของปากบ่อรับน้ำต่อขนาดของท่อระบายออก $d_{aho}/D_0$ ค่าที่ดีควรจะมากกว่า 3.2 ค่า $C_D$ เมื่อท่อมีขนาด ต่างกันสามารถใช้สมการดังนี้

$$C_D = \left[\frac{D_0}{D_i}\right]^3$$

เมื่อท่อมีขนาดเท่าหรือใกล้เคียงกันให้ $C_D$ เท่ากับ 1

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | D0 | = | ขนาดท่อช่วงน้ำไหลออก |
| | Di | = | ขนาดท่อช่วงน้ำไหลเข้า |

ค่าแก้ค่าความลึกของการไหล $C_d$ ส่งผลเฉพาะกรณี การไหลที่ผิว หรือที่มีความดันต่ำเท่านั้น หรือเมื่อ $d_{aho}/D_0$ มีค่าน้อยกว่า 3.2 ถ้ามากกว่า 3.2 จะให้ค่า $C_d$ เท่ากับ 1 ความลึกของระดับน้ำในบ่อพักน้ำเข้า จะคล้ายคลึงกับ Hydraulic grade line ที่ต้น น้ำของท่อระบาย สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$C_d = 0.5\left[\frac{d_{aho}}{d_0}\right]^{0.6}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | daho | = | ความลึกการไหลในท่อทางเข้าที่อยู่เหนือกว่าท่อทางออก |
| | D0 | = | เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออก |

ค่าแก้ค่าสัมพันธ์กับการไหล (Relative Flow) ,$C_Q$ เป็นค่าระหว่างมุมของการไหลเข้าและเปอร์เซ็นต์ ของการไหลเข้าเปรียบเทียบกับการไหลเข้าของท่ออื่น ถ้าค่าที่ได้ต้องมีค่ามากกว่า 3 ถึงจะนำมาใช้ในการออกแบบ ถ้าต่ำกว่าให้คิดเป็น 1 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_Q = (1 - 2\sin\theta)\left[1 - \frac{Q_i}{Q_0}\right]^{0.75} + 1$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | CQ | = | ค่าปรับแก้สำหรับการไหลเวียนที่เกี่ยวข้อง |
| | $\theta$ | = | มุมระหว่างท่อที่น้ำไหลเข้ามาและท่อที่น้ำไหลออก |
| | Qi | = | อัตราการไหลเข้าในท่อ |
| | Qo | = | อัตราการไหลออกในท่อ |

ค่าแก้เนื่องจากการลดลงของการไหลอย่างรวดเร็ว (plumping Flow) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.73) เป็นค่าแก้ไขเนื่องจากการไหลเข้าไปในบ่อพักน้ำ การเข้าสู่บ่อพักอย่างรวดเร็ว ค่า Cp จะใช้เมื่อ $h > d_{aho}$ จะใช้สมการที่ (3.73) ในการหาค่า Cp ถ้าค่าน้อยกว่า $(h < d_{aho})$ จะให้ค่า Cp เท่ากับ 1

$$C_p = 1 + 0.2\left[\frac{h}{D_0}\right]\left[\frac{h - d_{aho}}{D_0}\right]$$

โดยที่ Cp = ค่าถูกต้องสำหรับ plunging Flow

h = ระยะในแนวดิ่งของ plunging จากระดับการไหลของท่อทางเข้าถึงจุดกึ่งกลางการ ไหลในท่อทางออก

ค่า $C_B$ เป็นค่าแก้สำหรับการลดลงอย่างรวดเร็วของการไหล สามารถหาค่าได้จาก ตารางที่ 2.4-5 การไหลที่ปากทางเข้าส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานเช่นกัน

**ตารางที่ 2.4-5** แสดงค่า Correction for Benching (Federal Highway Administartion,2001)

| Bench Type | Correction Factors , $C_B$ | |
|---|---|---|
| | Submerged* | Unsubmerged** |
| Flat or Depressed Floor | 1.00 | 1.00 |
| Half Bench | 0.95 | 0.15 |
| Full Bench | 0.75 | 0.07 |
| *pressure Flow, $d_{aho}/D_o \geq 3.2$ | | |
| ** free surface Flow, $d_{aho}/D_o \leq 1.0$ | | |

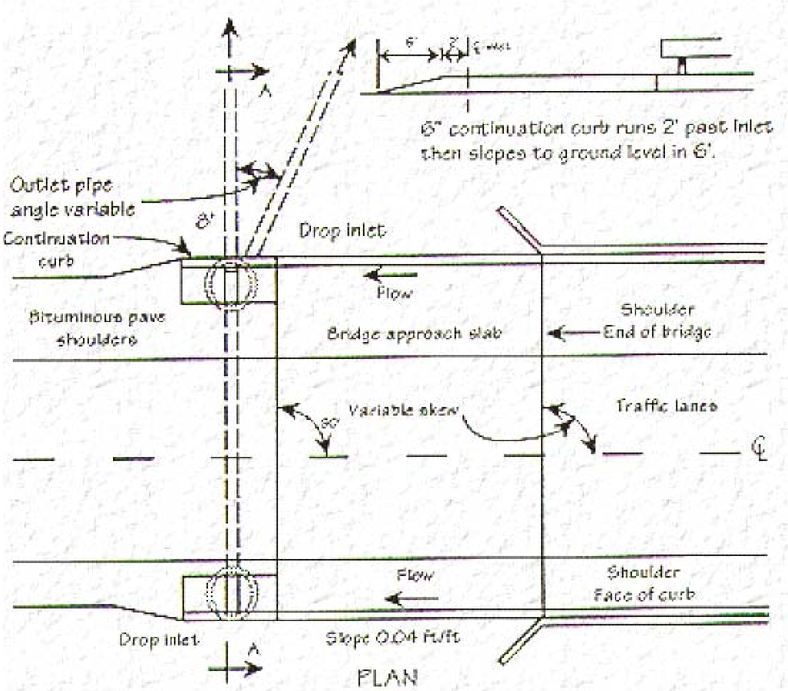
**2.4.4.6. การออกแบบระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน**

ระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้บริเวณปลายสะพานเพื่อดักน้ำที่ระบายมาจากบริเวณผิวถนนช่วง Approach ก่อนไหลเข้ามาบริเวณพื้นที่สะพาน และ ดักน้ำที่เหลือจากการระบายบริเวณผิวของพื้นที่สะพาน โดยทั่วไปช่องเปิดบริเวณปลายสะพานด้านที่มีความชันมากกว่า (Upslope) ควรติดตั้งในตำแหน่งต่อจากส่วนเริ่มของพื้นสะพานก่อนต่อชนกับช่วง Approach เพื่อช่วยระบายน้ำจากช่วง Approach ไม่ให้ไหลเข้ามาบนพื้นสะพาน ส่วนช่องเปิดบริเวณปลายสะพานด้านที่มีความชันน้อยกว่า (Downslope) ควรติดตั้งอุปกรณ์ก่อนถึงส่วนของ Approach เพื่อดักน้ำที่อาจระบายไม่ทันในส่วนของพื้นสะพาน ซึ่งหากในกรณีที่บริเวณช่วงความยาวของสะพานไม่มีระบบระบายน้ำหรือกรณีที่ระบบระบายน้ำบนสะพานเกิดการอุดตันทั้งหมด ช่องเปิดบริเวณปลายสะพานด้าน downslope ก็จะทำหน้าที่ในการระบายน้ำที่ไหลมาบนสะพานทั้งหมด (100% of the bridge deck drainage) นอกจากนั้นในกรณีที่สะพานเป็นลักษณะโค้งหงาย หรือ Sag Curve อุปกรณ์ที่ใช้ดักน้ำควรติดตั้งเพิ่มที่ตำแหน่งต่ำสุดของโค้งหงาย

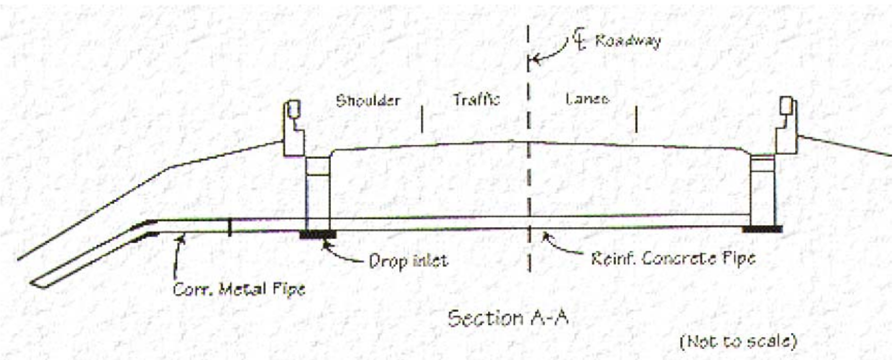
สำหรับอุปกรณ์ที่นิยมติดตั้งเพื่อช่วยระบายน้ำบริเวณ Upslope และ Downslope ได้แก่ Grate Inlets Curb opening inlets หรือ slotted drain inlets ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีความจำเป็นที่ต้องติดตั้งร่วมกับระบบท่อหรือรางระบายน้ำเพื่อทำการระบายน้ำที่รับจากปลายสะพานไปบนผิวบนของดินคันทาง (embankment) เพื่อป้องกันการกัดเซาะของดินคันทาง และ ระบายไปสู่ระบบระบาย

น้ำสาธารณะ หรือ ไหลลงไปสู่ลำน้ำธรรมชาติหรือผิวดินต่อไป ซึ่งโดยปกติในการระบายน้ำไปบนดินคันทางควรใช้ท่อน้ำเพื่อลำเลียงออกไป ซึ่งวิธีนี้ดีกว่าการใช้รางระบายน้ำแบบเปิดหรือการปล่อยให้น้ำที่ระบายออกไหลไปบนดินคันทาง นอกจากนั้นการออกแบบท่อเพื่อลำเลียงน้ำบนดินคันทางควรพิจารณาออกแบบเป็นพิเศษเนื่องจากมีความชันของท่อค่อนข้างมาก ซึ่งโดยปกติจะเท่ากับความชันของดินคันทาง ทำให้ความเร็วน้ำที่ระบายออกค่อนข้างสูงทำให้ควรต้องพิจารณาติดตั้ง การป้องกันการกัดเซาะบริเวณดินคันทางเพิ่มเติมเช่นการใช้ หินทิ้ง หรือ riprap

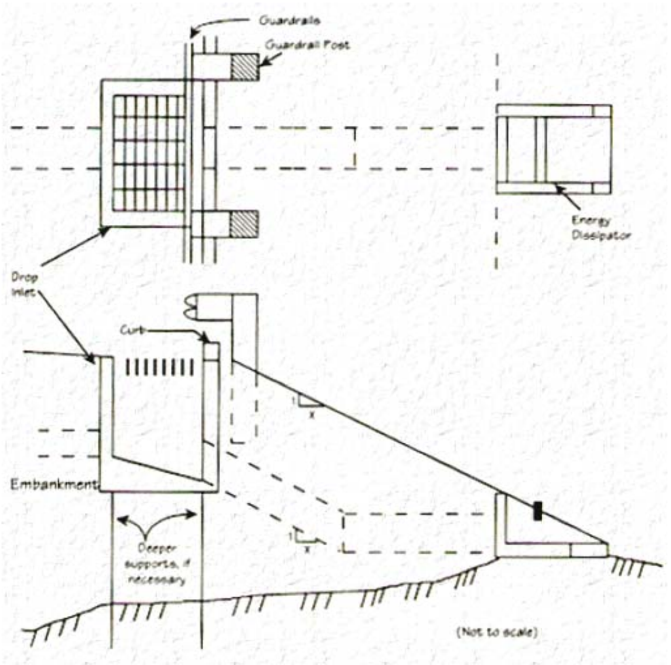
รูปที่ 2.4-38 ถึง 2.4-42 แสดงตัวอย่างของระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานที่ใช้มากในต่างประเทศ



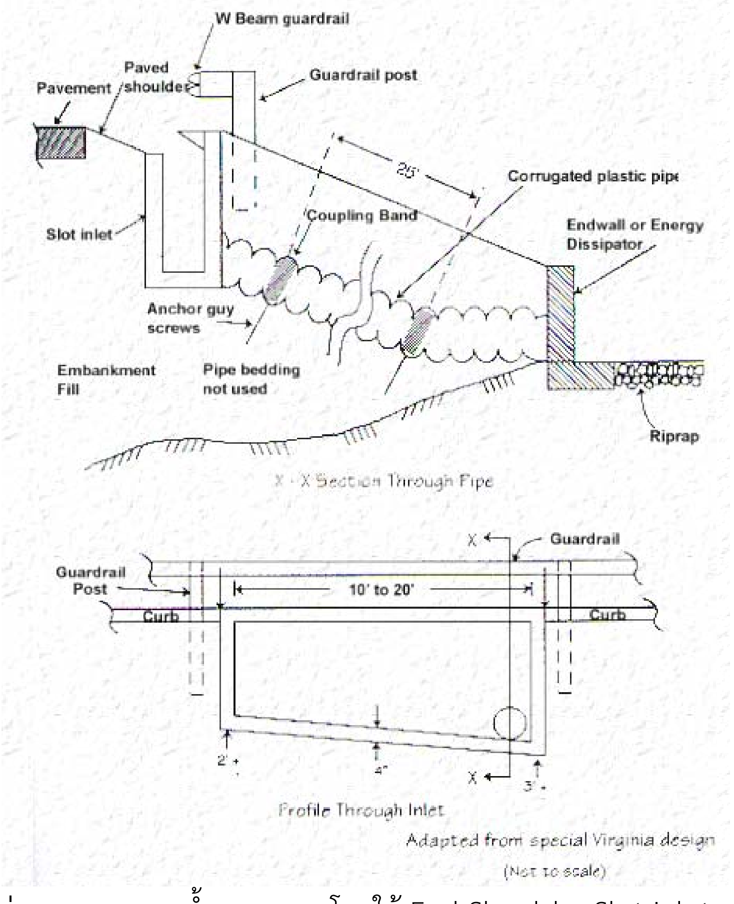

**รูปที่ 2.4-38** แปลนแสดงรูปแบบของระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน



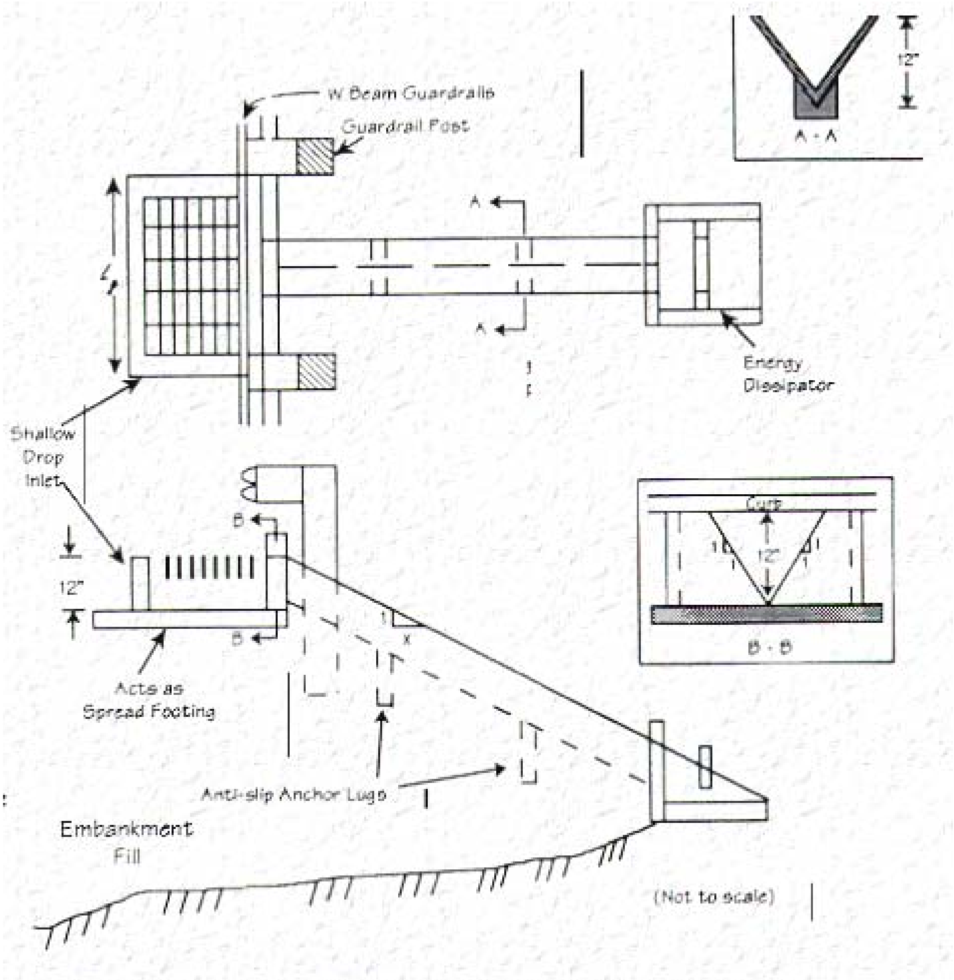

**รูปที่ 2.4-39** รูปตัด A-A แสดงระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน




**รูปที่ 2.4-40** ตัวอย่างระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ CMP Drop Inlet




**รูปที่ 2.4-41** ตัวอย่างระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ End Shoulder Slot Inlet with Plastic Pipe



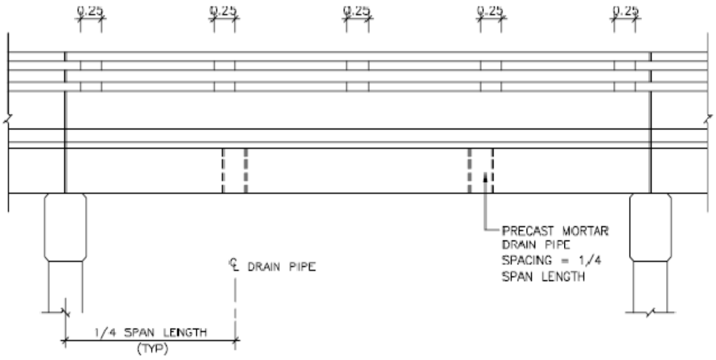

**Note: Need to consider guardrail posts and sign posts in and near inlet.**

**รูปที่ 2.4-42** ตัวอย่างระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ V-Ditch Drop Inlet

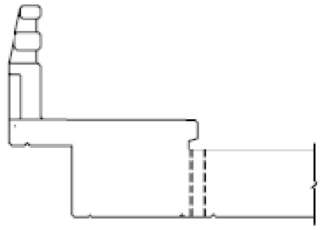
### 2.4.5. ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

#### 2.4.5.1. ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้สมการ

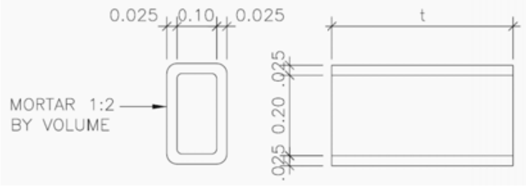
สำหรับตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานนี้ เป็นตัวอย่างของสะพานประเภท Slab Bridge ซึ่งใช้รางระบายน้ำเป็นส่วนขอบของทางเดินเท้า และใช้ท่อแบบ Mortar Drainage Pipe ซึ่งมีขนาดเส้นรอบรูปภายในเท่ากับ 2x(0.1+0.2) = 0.6 เมตร เป็นตัวระบายน้ำออกจากผิวสะพาน ซึ่งรูปแบบของท่อนี้สามารถอ้างอิงได้จากแบบมาตรฐานกรมทางหลวงของสะพานประเภท Slap Type (DWG NO. ST-01)




**รูปที่ 2.4-43** ตำแหน่งของท่อ Mortar Drainage Pipeอ้างอิงจาก DWG NO. ST-01



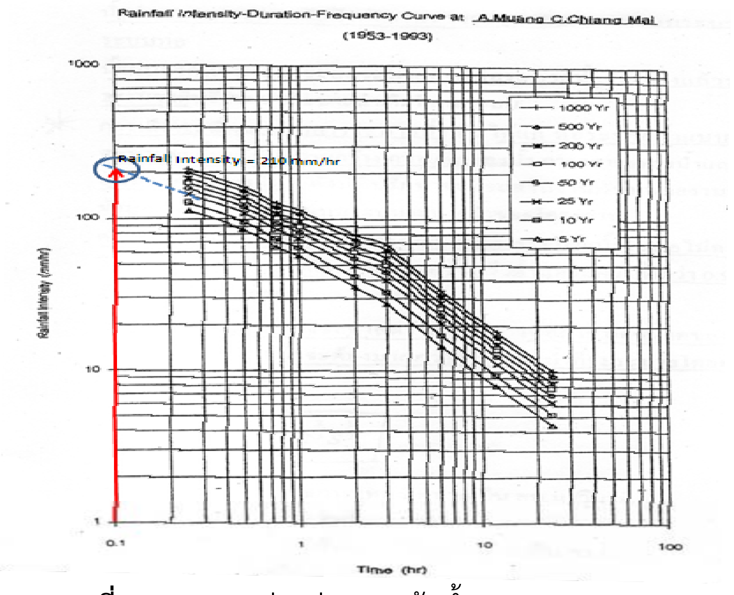
**รูปที่ 2.4-44** รูปแบบของรางระบายน้ำบริเวณรอยต่อขอบของทางเดินและพื้นสะพาน




**รูปที่ 2.4-45** ขนาดและรูปแบบของ Precast Mortar Drain Pipe

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบในตัวอย่างนี้ได้แก่

1) ความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 10 เมตร
2) ความกว้างของสะพานเท่ากับ 14 เมตร
3) ความชันตามยาวของสะพานเท่ากับ 0
4) ความชันตามขวางของสะพาน เท่ากับ 1.5 % สองด้านของสะพาน (หลังเต่า)
5) ที่ ตั้งของ สะพาน ที่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่
6) คาบของปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการออกแบบ เท่ากับ 25 ปี
7) เวลารวมน้ำฝน (Time of Concentration) เท่ากับ 5 นาที




**รูปที่ 2.4-46** การอ่านค่าความเข้มน้ำฝนจากกราฟ IDF

จากข้อมูลข้างต้นทำการคำนวณค่า ดังต่อไปนี้

| | | |
|---|---|---|
| I | = | 210/25.4 = 8.27 นิ้ว/ชั่วโมง |
| C | = | 0.9 (สมมุติ) |
| N | = | 0.016 |
| Sx | = | 0.015 ฟุต/ฟุต |
| Wp | กรณีหลังเต่า = 14/2/0.0254/12 = 22.97 ฟุต | |
| T | = | 0.8 เมตร = 2.62 ฟุต |

จากสมการระยะห่างระหว่างช่องเปิดรับน้ำ

$$L_C = \frac{1312}{(nCiW_p)^{0.67}} S_x^{1.44} T^{2.11}$$

ดังนั้น คำนวณ ค่า Lc = 12.11 ฟุต หรือ 3.69 เมตร

จากค่าที่กำหนดในแบบมาตรฐาน สำหรับสะพานประเภท Slab Type ที่มีความยาวช่วง 10 เมตร จะใช้ค่าระยะห่างระหว่างท่อ เท่ากับ ความยาวช่วง/4 หรือ 10/4 เท่ากับ 2.5 เมตร ซึ่งน้อยกว่า 3.69 เมตร จึงสามารถใช้ค่าตามที่แบบกำหนดได้

ในขั้นตอนต่อไป ทำการคำนวณขนาดของท่อที่ใช้ในการระบายน้ำ จากสมการหาความยาวรอบรูปของช่องเปิด

$$P = \frac{(CiW_p)^{0.33} T^{0.61}}{102.5 S_x^{0.06} n^{0.67}}$$

ซึ่งให้ค่า P = 1.97 ฟุต หรือ 0.6 เมตร เมื่อทำการตรวจสอบกับขนาดที่ใช้ในแบบมาตรฐาน พบว่า ในแบบใช้ขนาดท่อ Mortar Pipe เท่ากับ 0.1 เมตร x 0.2 เมตร ซึ่งมีค่าความยาวรอบรูปเท่ากับ 0.6 เมตร ซึ่งเท่ากับค่าที่คำนวณได้ ดังนั้นค่าที่กำหนดในแบบสามารถใช้ได้

#### 2.4.5.2. ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ตารางช่วยออกแบบ

ตัวอย่างนี้แสดงการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานประเภท Slab Type โดยใช้ตารางกราฟช่วยออกแบบที่ให้ไว้ในภาคผนวก 11.1 โดยข้อมูลเบื้องต้นของสะพานใช้ตามตัวอย่างในหัวข้อ 4.1)

จากข้อมูลของสะพานเบื้องต้น คือ Wp = 7 เมตร ค่า Sx = 1.5% ค่า T = 0.8 เมตร และใช้ค่า C = 0.9 หากทำการใช้ท่อระบายน้ำตามแบบมาตรฐานนั่นคือ Mortar Drainage Pipe ขนาด 0.1เมตรx0.2 เมตร หรือ มี ค่าความยาวเส้นรอบรูป เท่ากับ 0.6 เมตร และใช้ ค่าระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 2.5 เมตร อ่านค่า ความเข้มข้นของปริมาณน้ำฝนที่รับได้สูงสุด ในตารางเท่ากับ 310 มิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง ซึ่งมากกว่า ค่าความเข้มน้ำฝน (210 มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง) ที่อ่านจาก IDF Curve ดังนั้นขนาดและระยะห่างของท่อสามารถใช้ได้

Wp=7.00 m.

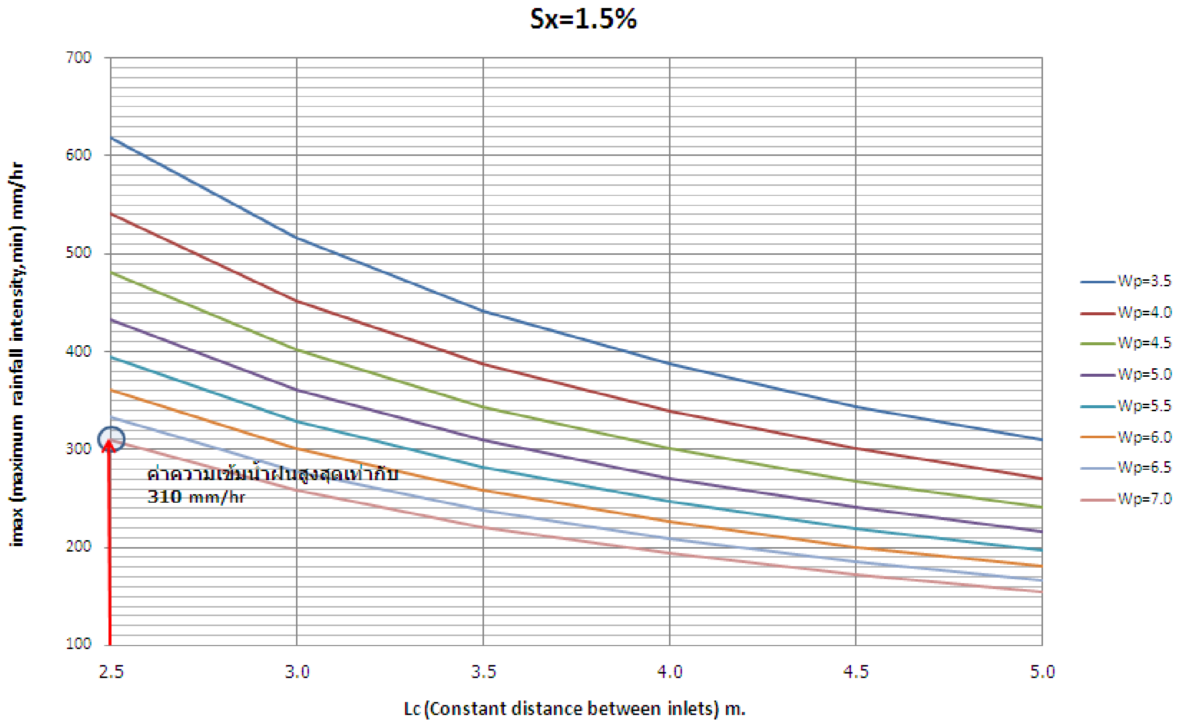
| i(mm/hr) / Lc(m.) | Sx(%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 | 5.00 |
| 2.00 | 387 | 596 | 833 | 1095 | 1380 | 1687 | 2013 | 2357 |
| 2.50 | 310 | 477 | 667 | 876 | 1104 | 1349 | 1610 | 1886 |
| 3.00 | 258 | 398 | 556 | 730 | 920 | 1124 | 1342 | 1571 |
| 3.50 | 221 | 341 | 476 | 626 | 789 | 964 | 1150 | 1347 |
| 4.00 | 194 | 298 | 417 | 548 | 690 | 843 | 1006 | 1179 |
| 4.50 | 172 | 265 | 370 | 487 | 614 | 750 | 894 | 1048 |
| 5.00 | 155 | 239 | 333 | 438 | 552 | 675 | 805 | 943 |

**รูปที่ 2.4-47** การอ่านค่าความเข้มน้ำฝนที่รับได้สูงสุดจากตารางช่วยออกแบบ

### 2.4.5.3. ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้กราฟช่วยออกแบบ

ตัวอย่างนี้แสดงการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานประเภท Slab Type โดยใช้กราฟช่วยออกแบบ ในรูปที่ 2.4-48

จากข้อมูลของสะพานเบื้องต้น คือ Wp = 7 เมตร ค่า Sx = 1.5% ค่า T = 0.8 เมตร และใช้ค่า C = 0.9 หากทำการใช้ท่อระบายน้ำตามแบบมาตรฐานนั่นคือ Mortar Drainage Pipe ขนาด 0.1เมตรx0.2 เมตร หรือ มี ค่าความยาวเส้นรอบรูป เท่ากับ 0.6 เมตร และใช้ ค่าระยะห่างระหว่างท่อ เท่ากับ 2.5 เมตร อ่านค่า ความเข้มข้นของปริมาณน้ำฝนที่รับได้สูงสุด ในกราฟเท่ากับ 310 มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง ซึ่งมากกว่า ค่าความเข้มน้ำฝน (210 มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง) ที่อ่านจาก IDF Curve ดังนั้น ขนาดและระยะห่างของท่อสามารถใช้ได้




**รูปที่ 2.4-48** การอ่านค่าความเข้มน้ำฝนที่รับได้สูงสุดจากกราฟช่วยออกแบบ

### 2.4.6. ระบบระบายน้ำในทางลอด

#### 2.4.6.1. การระบายน้ำในทางลอด

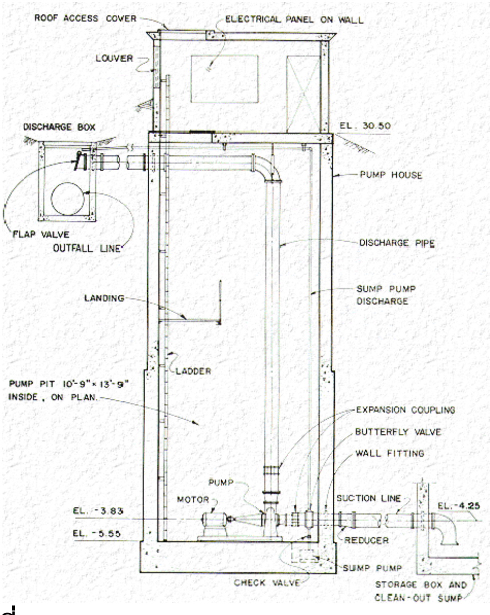
การระบายน้ำในทางลอดสามารถทำได้โดยออกแบบและติดตั้งระบบระบายน้ำในทางลอดนั้นเพื่อที่จะให้ทางลอดสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนที่ตกและระบายน้ำออกได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณผิวจราจรและภายใน Underpass

โดยทั่วไปการระบายน้ำในทางลอดจะถูกออกแบบให้รองรับและลำเลียงน้ำฝนที่ตกลงมาบนผิวจราจรในทางลอดให้ไหลเข้าสู่ RC Ditch แล้วจึงไหลต่อไปยังบ่อสูบ (Pump Sump) ซึ่งได้ติดตั้งเครื่องสูบน้ำฝนไว้ หลังจากนั้นน้ำฝนที่ผ่านระบบรวบรวมดังกล่าวจะถูกสูบระบายออกไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะต่อไป

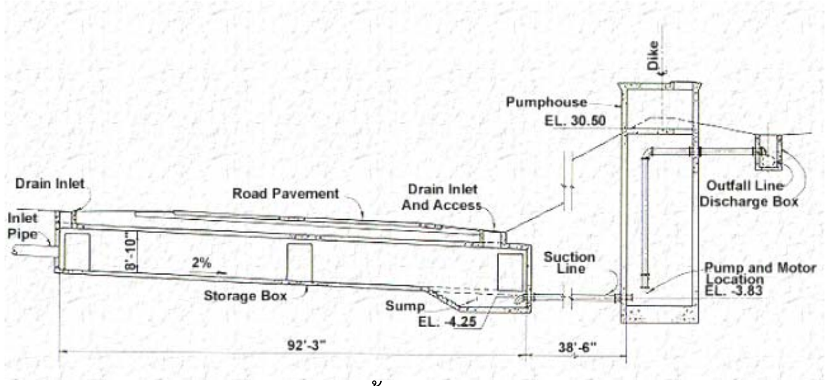
#### 2.4.6.2. อุปกรณ์ระบายน้ำในทางลอด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำในทางลอดมีดังต่อไปนี้ เช่น รางตื้นที่ริมผิวจราจร (Gutter) ตะแกรงเหล็ก (Grating Inlet) ท่อเหล็กระบายน้ำ (Pipe Inlet) บ่อสูบ (Pump Sump) เครื่องสูบน้ำในรูปแบบต่างๆ

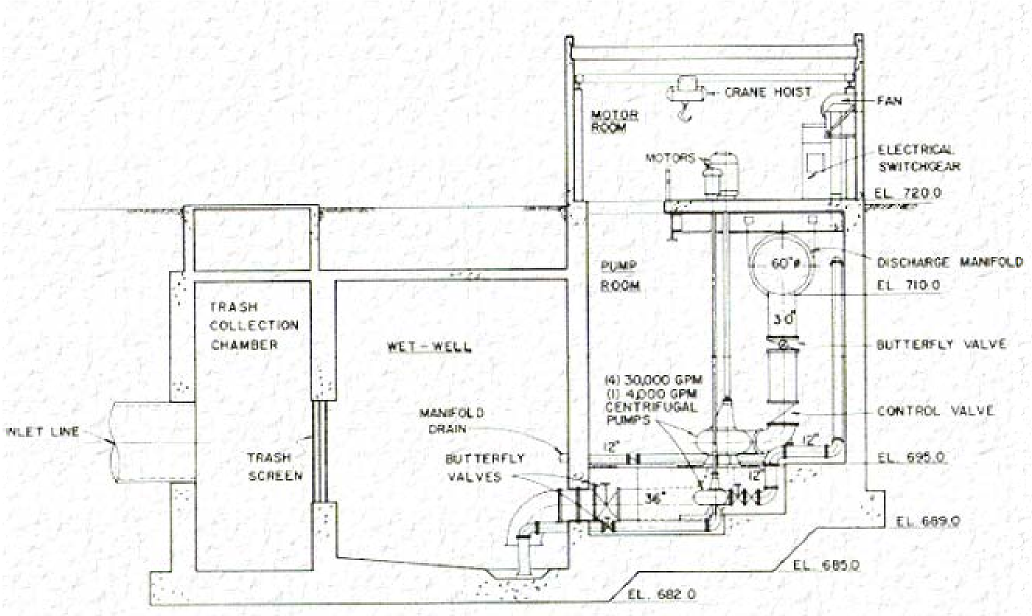
ตัวอย่างของอุปกรณ์ระบายน้ำที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างทางลอดแสดงดังรูปดังต่อไปนี้



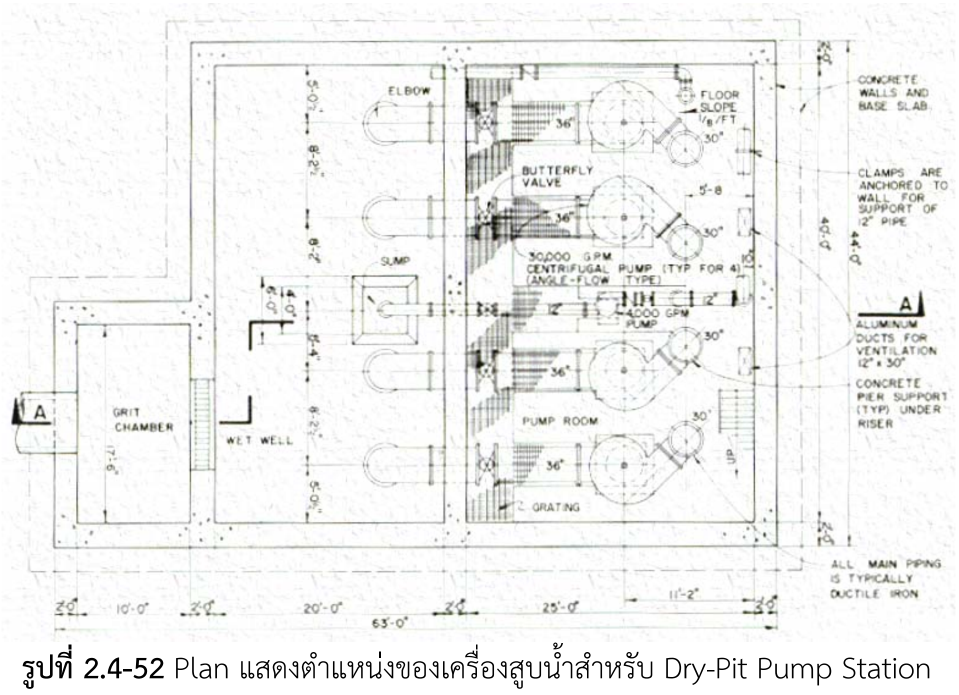

**รูปที่ 2.4-49** รูปแบบของ Dry-Pit Pump Station



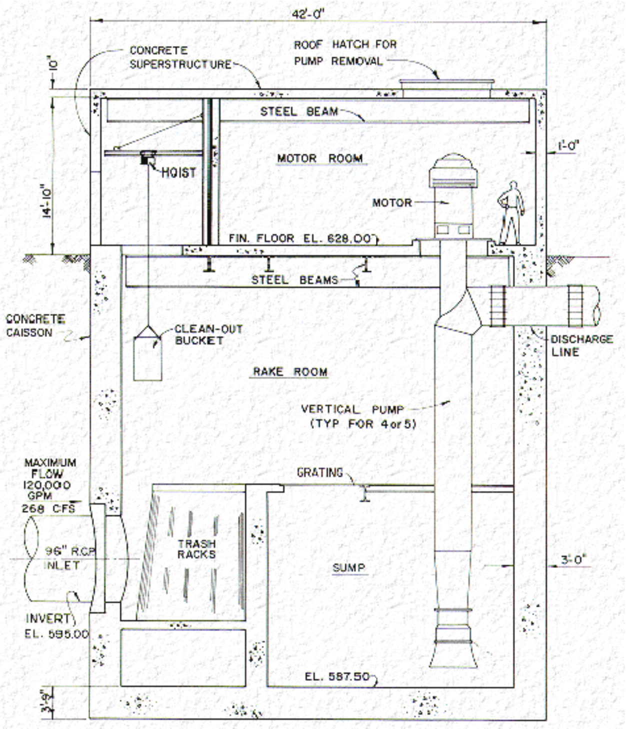

**รูปที่ 2.4-50** รูปตัดแสดงระบบระบายน้ำจากผิวทางลอดไปสู่ Dry-Pit Pump Station



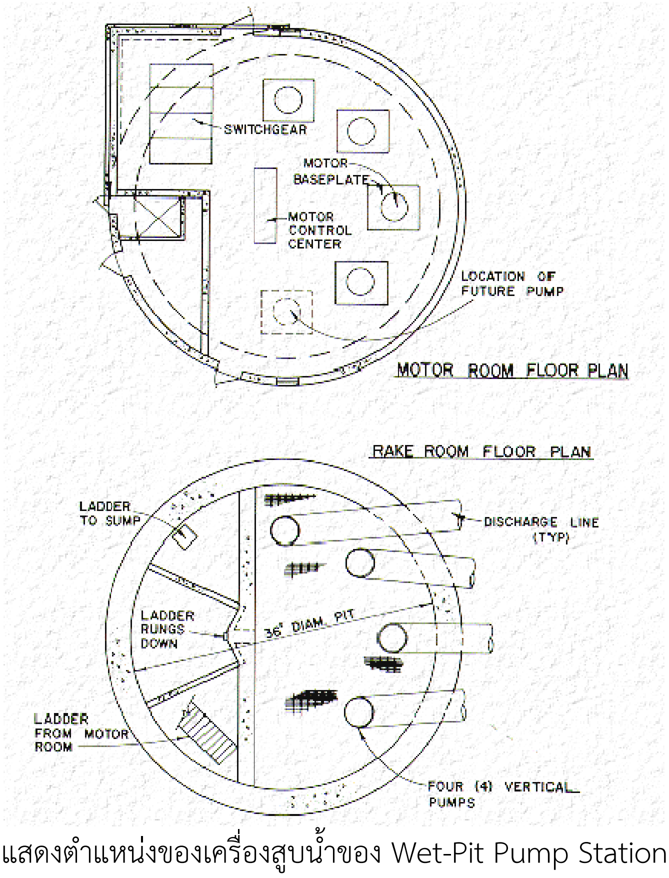

**รูปที่ 2.4-51** รูปตัดแสดง Pump Sump และ Dry-Pit Pump Station




**รูปที่ 2.4-52** Plan แสดงตำแหน่งของเครื่องสูบน้ำสำหรับ Dry-Pit Pump Station




**รูปที่ 2.4-53** รูปแบบของ Wet-Pit Pump Station แบบทรงกระบอก




**รูปที่ 2.4-54** Planแสดงตำแหน่งของเครื่องสูบน้ำของ Wet-Pit Pump Station แบบทรงกระบอก

**2.4.6.3. การระบายน้ำในทางลอดไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวง**

โดยทั่วไปน้ำฝนหรือน้ำธรรมชาติที่ตกบนผิวทางของถนนก่อนส่วนที่เป็นทางลอดจะไหลลงไปสู่บริเวณผิวทางของทางลอดซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับถนนและบางส่วนจะไหลไปตามรางระบายน้ำที่ติดตั้งไว้ข้างทางลอด น้ำที่ไหลเข้ามาในทางลอดจะถูกลำเลียงไปตามรางระบายน้ำไปสู่บ่อสูบหลังจากนั้นจะถูกสูบออกไปสู่ระบบท่อระบายน้ำที่ออกแบบให้ลำเลียงน้ำไปสู่ท่อทั้งแบบเปิดหรือแบบปิดก่อนระบายไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวงต่อไป

**2.4.7. แนวความคิดและหลักการออกแบบระบายน้ำในทางลอด**

การออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดนั้นเพื่อที่จะให้ทางลอดสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนที่ตกและระบายน้ำออกไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณผิวจราจรและภายใน Underpass โดยปกติปริมาณน้ำฝนจะถูกประเมินโดยใช้วิธี Rational Method ที่ Return Period เท่ากับ 50 ปี และ ที่ tc เท่ากับ 10 นาที สำหรับค่าของปริมาณน้ำขังบนผิวจราจรที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดนิยมใช้เท่ากับ 0.8 เมตร ซึ่งค่าที่ใช้นี้จะขึ้นกับแนวทางในการออกแบบและดุลพินิจของผู้ออกแบบ

**2.4.8. มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด**

มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบและจัดทำคู่มือนี้ได้อ้างอิงจากคู่มือที่จัดทำขึ้นจากหน่วยงานในต่างประเทศดังต่อไปนี้

- Texas Department of Highways (Texas DOT)
- Hydrologic Engineering Center (HEC)
- Federal Highway Administration (FHWA)
- AASHTO LRFD Bridge Design Specification
- AASHTO Model Drainage Manual

### 2.4.9. การออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด

#### 2.4.9.1. ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดเริ่มจาก การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้น จากนั้นทำการเลือกมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ทำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำ จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณน้ำในทางลอดที่จำเป็นต้องระบาย ซึ่งโดยปกติใช้ วิธี Rational Method ในการหา Rainfall Intensity จากนั้นคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อได้อัตราการไหลแล้วจึง ทำการคำนวณหาขนาดและรูปร่าง ระยะห่างของช่องเปิดรับน้ำ ทำการคำนวณขนาดและจำนวนเครื่องสูบและบ่อสูบและขั้นตอนสุดท้ายทำการลงรายละเอียดในแบบ จากขั้นตอนทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปในรูปข้างล่างคือ

**รูปที่ 2.4-55** ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด

#### 2.4.9.2. การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายในทางลอด

การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายในทางลอดสามารถทำได้โดยใช้วิธี Rational Method

สำหรับการหาค่าความเข้มของฝน ที่มีหน่วยเป็น มม./ชม. นั้นจะหาได้จากกราฟน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก (Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve) หรือที่เราเรียกกันว่า IDF Curve ซึ่งกราฟนี้จะขึ้นกับข้อมูลในพื้นที่ในแต่ละจังหวัด โดยที่ปรึกษาจะพัฒนากราฟน้ำฝนจากข้อมูลน้ำฝนในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการมากที่สุดและเป็นข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดที่มีการบันทึกไว้

โดยปกติการหาค่าปริมาณความเข้มฝน จำเป็นต้องทราบ คาบหรือรอบปีการเกิดซ้ำและ ช่วงเวลาการไหลของน้ำฝนมายังตำแหน่งของอาคารระบายน้ำ (Time of Concentration) โดยปกติในการออกแบบระบบระบายน้ำทางลอดมักจะนิยมสมมุติค่าของ Time of Centration (tc)

ประมาณ 10 นาที ซึ่งปริมาณน้ำที่คำนวณได้อยู่ในระดับที่เหมาะสมในการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดในประเทศไทย รอบการเกิดซ้ำที่ใช้ 50 ปี

**2.4.9.3. การออกแบบรางระบายน้ำในทางลอด**

หลังจากประมาณปริมาณน้ำที่ต้องการระบายในทางลอดจากสมการข้างต้น ในขั้นตอนต่อมาคือการออกแบบรางระบายน้ำในทางลอด โดยทั่วไปการออกแบบรางระบายน้ำในทางลอดนั้นจะเริ่มจากการคำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำที่ไม่ทำให้เกิดการเอ่อและการขังของน้ำในผิวจราจร หรือที่เราเรียกกันว่า Spread (T) ซึ่งโดยทั่วไปเพื่อเป็นการเหมาะสมในทางหลักเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมความปลอดภัย ค่า Spread ที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดไม่ควรเกิน 0.8 เมตร

สำหรับสมการที่ใช้ในการประมาณอัตราการไหลในรางระบายน้ำข้างถนนในทางลอดสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_s = \frac{0.376}{n} S_x^{\ 5/3} S_L^{\ 1/2} T^{8/3}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | Qs | = | ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำ |
| | n | = | สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning |
| | Cr = Sx | = | ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน |
| | SL | = | ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน |
| | T | = | ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร |

หากผู้ออกแบบใช้รางระบายน้ำแบบ Composite Gutter (Sw) ที่มีค่าความลาดเอียงตามขวางมากกว่าหนึ่งค่า อัตราการไหลรวมของน้ำฝนทั้งหมดจะถูกรองรับจากรางน้ำทั้งสองส่วน โดยที่อัตราการไหลในกรณีนี้จะต้องพิจารณาอัตราการไหลใน Composite Gutter ด้วย โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลได้แก่

$$Q = Q_w + Q_s = \frac{Q_s}{1 - E_o}$$

$$E_o = 1 / \left\{ \frac{S_w / S_x}{\left[ 1 + \dfrac{S_w / S_x}{\dfrac{T}{W} - 1} \right]^{2/3} - 1} \right\} = Q_w / Q$$

โดยที่ Qs = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sx

Qw = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sw

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

W = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนผิวจราจรของทางลอดที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

Eo = ประสิทธิภาพการไหลในรางแบบ Composite Gutter

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วนบนของ Composite Gutter

Sw = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วน Depressed Segment ของ Composite Gutter ซึ่งคำนวณได้จาก Sx + a/w

a = ความลึกของ Depressed Segment

W = ความกว้างของ Depressed Segment

หลังจากคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่สามารถระบายในรางระบายน้ำ ขั้นตอนต่อไปทำการคำนวณหาความเร็วการไหลในรางระบายน้ำ ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

โดยที่ V = ความเร็วในการไหลในรางระบายน้ำ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

R = ความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำ มีหน่วยเป็น เมตร

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning โดยปกติสมมติค่าเท่ากับ 0.013

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

โดยทั่วไปในการออกแบบควรใช้ค่าของ $S_L$ เท่ากับค่าของความชันในแนวยาวของถนนหรือทางลอดเพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้าง และควรเลือกขนาดของรางระบายน้ำให้ได้ความเร็วของการไหล (V)ไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งขนาดของรางระบายน้ำสามารถหาได้จากความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำตามสมการข้างต้น

**2.4.9.4. การออกแบบขนาดและระยะห่างของช่องเปิดในทางลอด**

หลังจากประมาณของรางระบายน้ำแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาขนาดของช่องเปิดเพื่อรับน้ำจากผิวจราจรซึ่งสามารถพิจารณาจากค่าความยาวรวมของช่องเปิดที่บริเวณ Curb (LT) ที่สามารถรับนำที่ระบายจากผิวจราจรโดยคำนวณได้จากสมการดังนี้คือ

สำหรับ Gutter แบบ Non-Composite

$$L_T = 0.817Q^{0.42}{S_L}^{0.3}\left(\frac{1}{nS_x}\right)^{0.6}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | LT | = | ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร |
| | Q | = | ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method |
| | SL | = | ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร |
| | Sx | = | ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน |

สำหรับ Gutter แบบ Composite

$$L_T = 0.817Q^{0.42}{S_L}^{0.3}\left(\frac{1}{nS_e}\right)^{0.6}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | LT | = | ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร |
| | Q | = | ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method |
| | SL | = | ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร |
| | Se | = | Sx+SWEo |
| | SW | = | Sw – Sx |

ในกรณีที่ความยาวช่องเปิดที่ใช้ในการออกแบบจริงมีค่าน้อยกว่า $L_T$ จะต้องหาค่าประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง (E) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$E = 1 - \left[1 - \frac{L}{L_T}\right]^{1.8}$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง

L = ความยาวรวมของช่องเปิดจริง มี หน่วยเป็น เมตร

หลังจากคำนวณหาค่าความยาวของช่องเปิดจริง จะทำให้สามารถหาระยะห่างหรือความถี่ของการติดตั้ง Curb Inlet ได้ต่อไป

**2.4.9.5. การออกแบบระบบ pump ในทางลอด**

การออกแบบบ่อสูบและระบบในทางลอดจะสามารถหาได้โดยอาศัยคำแนะนำของ TEXUS DOT โดยที่

$$Q = \frac{CiAD}{Z}$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่จะระบาย มีหน่วยเป็น ลบ.ม

CiA = อัตราการไหลของน้ำฝน ลบ.ม ต่อ วินาที

D = ช่วงเวลาที่ฝนตก มีหน่วยเป็นวินาที

Z = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 360

หลังจากคำนวณหาปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่จะระบายแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาขนาดของบ่อสูบ และ ขนาดของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของบ่อสูบและขนาดของเครื่องสูบน้ำสามารถหาได้ดังนี้คือ

$$\text{Average Pump Capacity} = \frac{\text{CiAD} - \text{Volumn of sump}}{\text{D}}$$

ซึ่งในการใช้สมการข้างต้นจะต้องทำการสมมติเหตุการณ์ที่แตกต่างกันของระยะเวลาที่ฝนตกก่อนที่เครื่องสูบน้ำแต่ละตัวจะเริ่มทำงาน รวมทั้งจำนวนของเครื่องสูบน้ำทั้งหมดและจำนวนของเครื่องที่ทำงานพร้อมกันในขณะสูบน้ำและขนาดของบ่อสูบ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กันทั้งหมดจึงต้องทำการออกแบบให้ครอบคลุมทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้และยังต้องพิจารณาความคุ้มค่าของราคาของอุปกรณ์ที่ใช้อีกด้วย

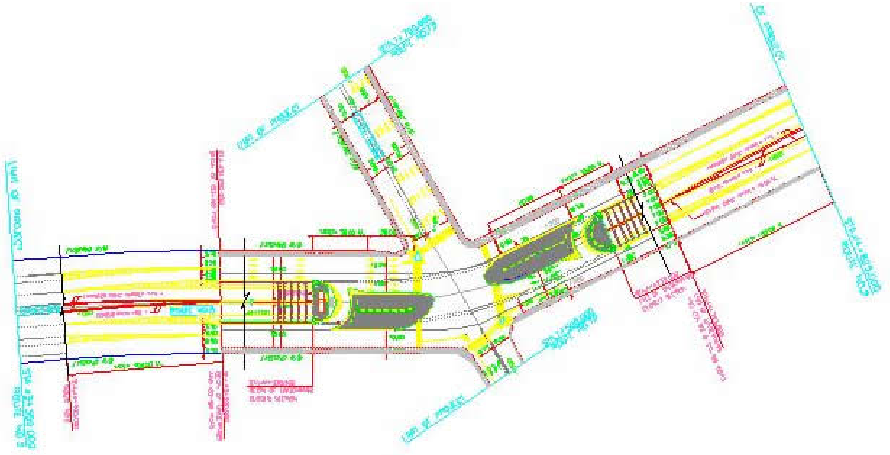
**2.4.10. ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด**

สำหรับตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดนี้ เป็นตัวอย่างที่แสดงหลักการและแนวทางการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดที่ประกอบด้วย รางระบายน้ำข้างถนน (Gutter) รางระบายน้ำแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Ditch) รูรับน้ำบริเวณขอบทาง (Curb Inlet) บ่อสูบ (Pump Sump) และ เครื่องสูบน้ำ (Pump Machine) ของทางลอด

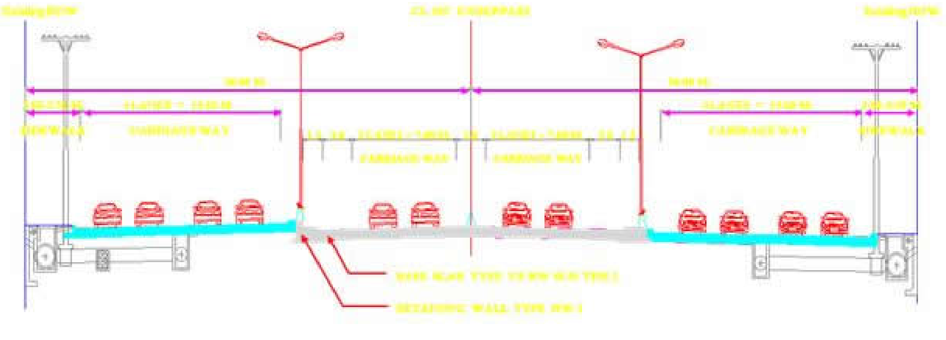
ลักษณะและรายละเอียดอย่างย่อของทางลอดคือ ทางลอดเป็นชนิดลดระดับตามแนวทางหลวง และมีถนนคอนกรีตอยู่ด้านข้างทางลอดที่ระดับเดียวกับถนนเดิม โดยมีความยาวทางลอด 1.035 กิโลเมตร ความกว้างของทางลอดเท่ากับ 22.60 เมตร ทางลอดถูกออกแบบเพื่อรองรับปริมาณจราจรบริเวณจุดตัดทางหลวง ซึ่งจำนวนช่องจราจรที่ออกแบบให้รองรับมีทั้งหมด 4 ช่องจราจร โดยแบ่งเป็นทิศทางละ 2 ช่องจราจร (ไป-กลับ) มี Safety Barrier ขั้นกลางเพื่อแยกทิศทางจราจร ทางลอดถูกออกแบบให้ประกอบด้วยช่วงเปิดและช่วงปิด โดยที่บริเวณจุดตัดทางแยก ซึ่งเป็นสี่แยกสามเหลี่ยมได้ถูกออกแบบเป็นทางลอดลดระดับแบบปิดด้วยโครงสร้างพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กระดับราบตามแนวถนนบริเวณทางแยก โดยมีความยาวสะพานเท่ากับ 22.60 เมตร ระยะทางช่วงปิดของทางลอด 195 เมตร ซึ่งจาก Plan ของทางลอดที่แสดงข้างล่าง ระยะทางช่วงปิดจะอยู่ระหว่าง กม. 44+038.5 ถึง กม. 44+233.5 โดยตัวอย่างรูปแบบของทางลอด Plan รวมทั้งรูปตัดของช่วงเปิดและช่วงปิดของทางลอดแสดงดังต่อไปนี้

**รูปที่ 2.4-56** รูปแบบของทางลอดที่ใช้ในตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำ

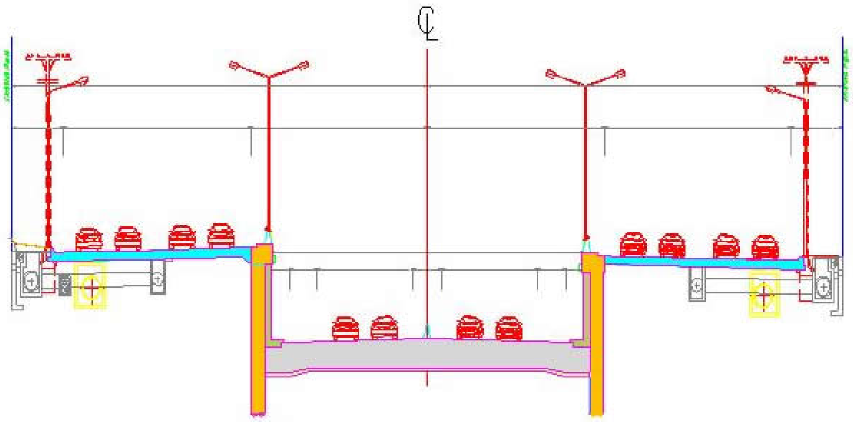
**รูปที่ 2.4-57** รูปแบบภายในของทางลอดที่ใช้ประกอบตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำ



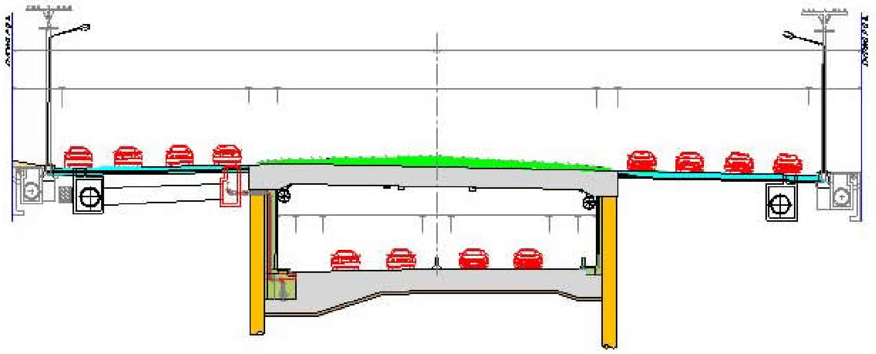
**รูปที่ 2.4-58** Plan ของทางลอดที่ใช้ประกอบตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำ



**รูปที่ 2.4-59** รูปตัดแสดงช่องจราจรและลักษณะของทางลอดช่วงเริ่มเข้าสู่ทางลอด



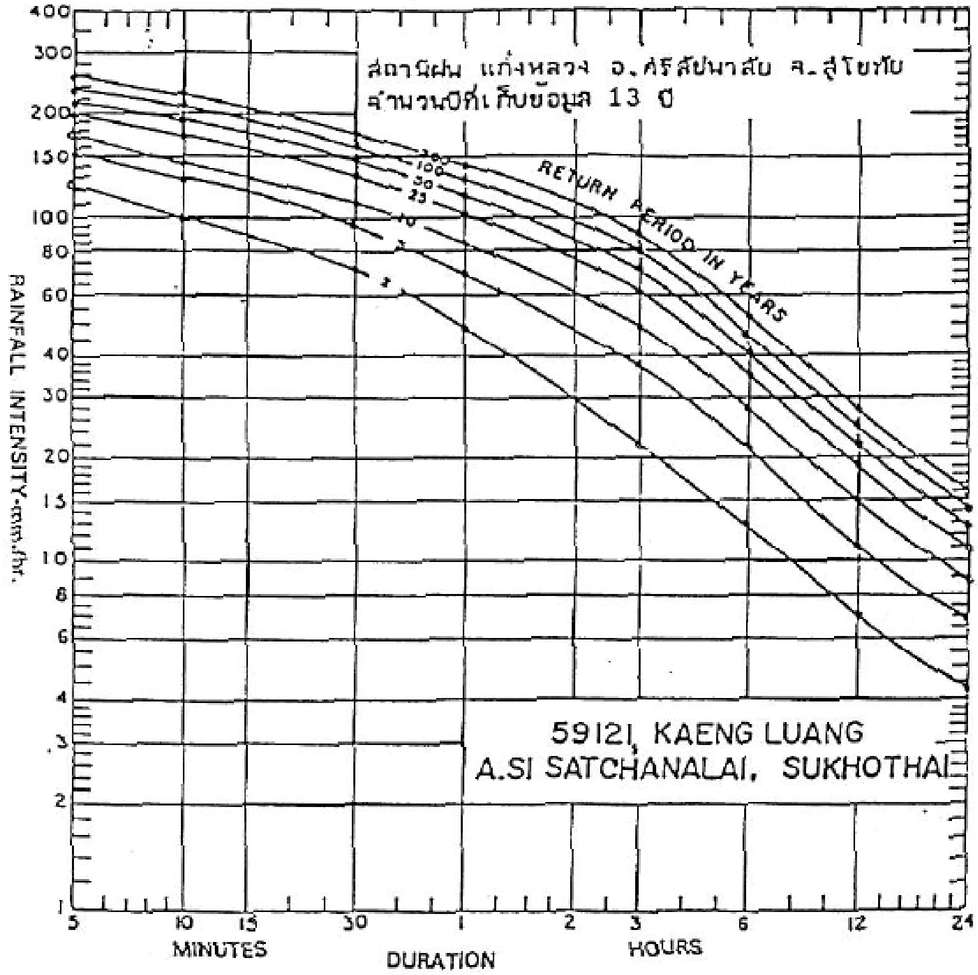
**รูปที่ 2.4-60** รูปตัดแสดงช่องจราจรและลักษณะของทางลอดช่วงเปิด



**รูปที่ 2.4-61** รูปตัดแสดงช่องจราจรและลักษณะของทางลอดช่วงเปิด

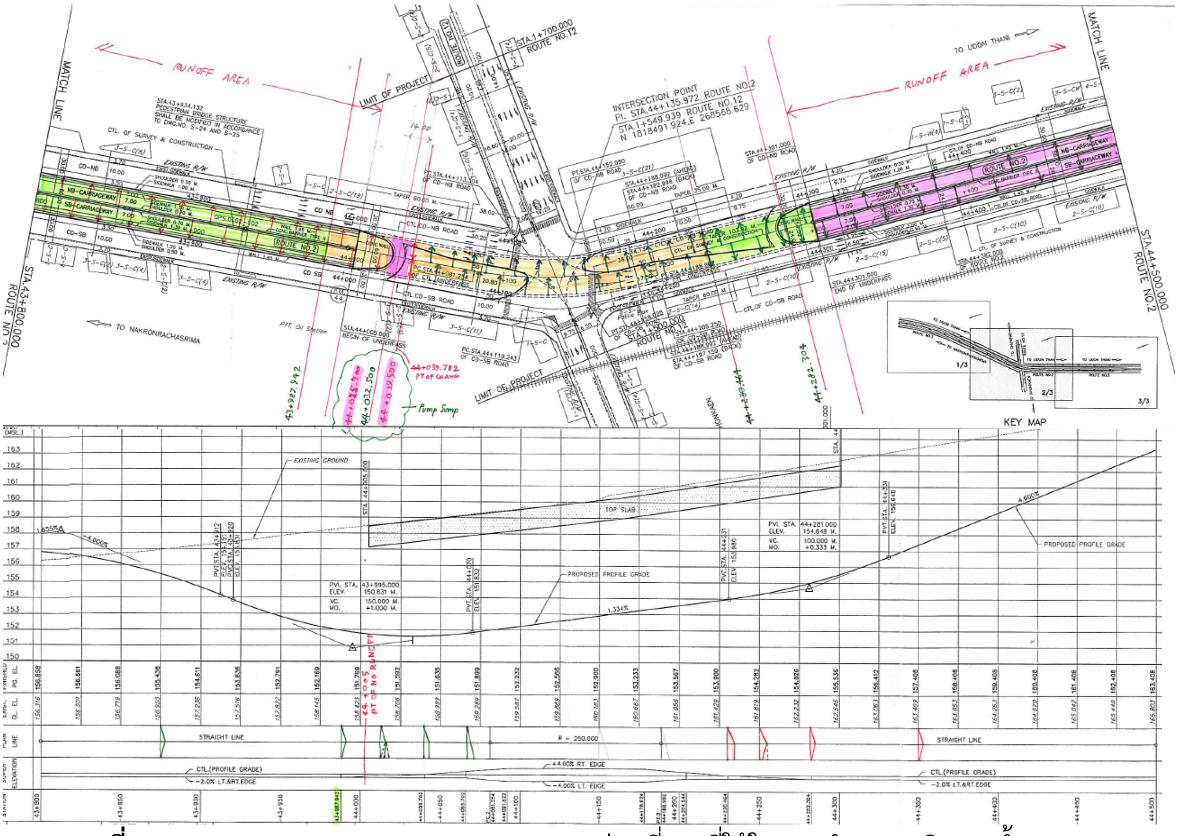
สำหรับระบบระบายน้ำในทางลอดนี้กำหนดให้ใช้ Gutter ที่ตำแหน่งด้านข้างของทางลอดช่วยในการลำเลียงน้ำฝนที่ตกลงมาในบริเวณพื้นที่รับน้ำของทางลอดให้ไหลไปสู่ช่องเปิด Curb Inlet หลังจากนั้นน้ำฝนจะถูกลำเลียงโดย RC Ditch เพื่อไหลต่อไปยัง บ่อสูบ (Pump Sump) เพื่อทำการสูบน้ำโดยเครื่องสูบน้ำ (Pump Machine) เพื่อลำเลียงออกไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะต่อไป

สำหรับแนวทางออกแบบนั้น ปริมาณน้ำฝนที่ตกและจำเป็นต้องระบายออกเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณผิวจราจรและภายในทางลอด จะประเมินโดยใช้ Rational Method ซึ่งค่า Return Period ที่ใช้ในการออกแบบมีค่าเท่ากับ 50 ปี และสมมุติ ค่าของ Time of Concentration (tc) เท่ากับ 10 นาที ค่าที่ของความเข้มน้ำฝนสมมุติให้ใช้กราฟ IDF ของจังหวัดสุโขทัย ดังแสดงข้างล่าง โดยพบว่าที่ tc = 10 นาที และค่า Return Period เท่ากับ 50 ปี จะได้ค่า ความเข้มน้ำฝน (i) เท่ากับ 190 มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง ซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบต่อไป

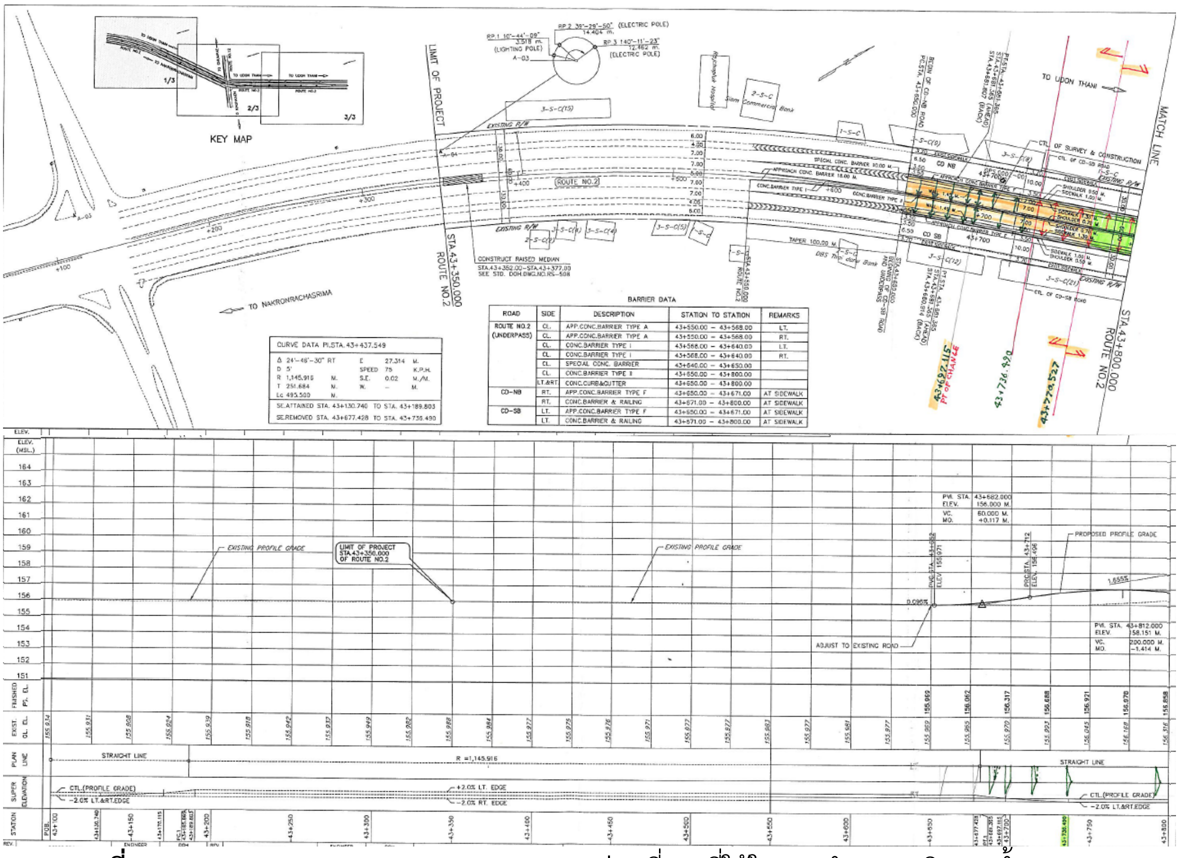



**รูปที่ 2.4-62** กราฟความเข้มฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (IDF Curve)
ที่อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย

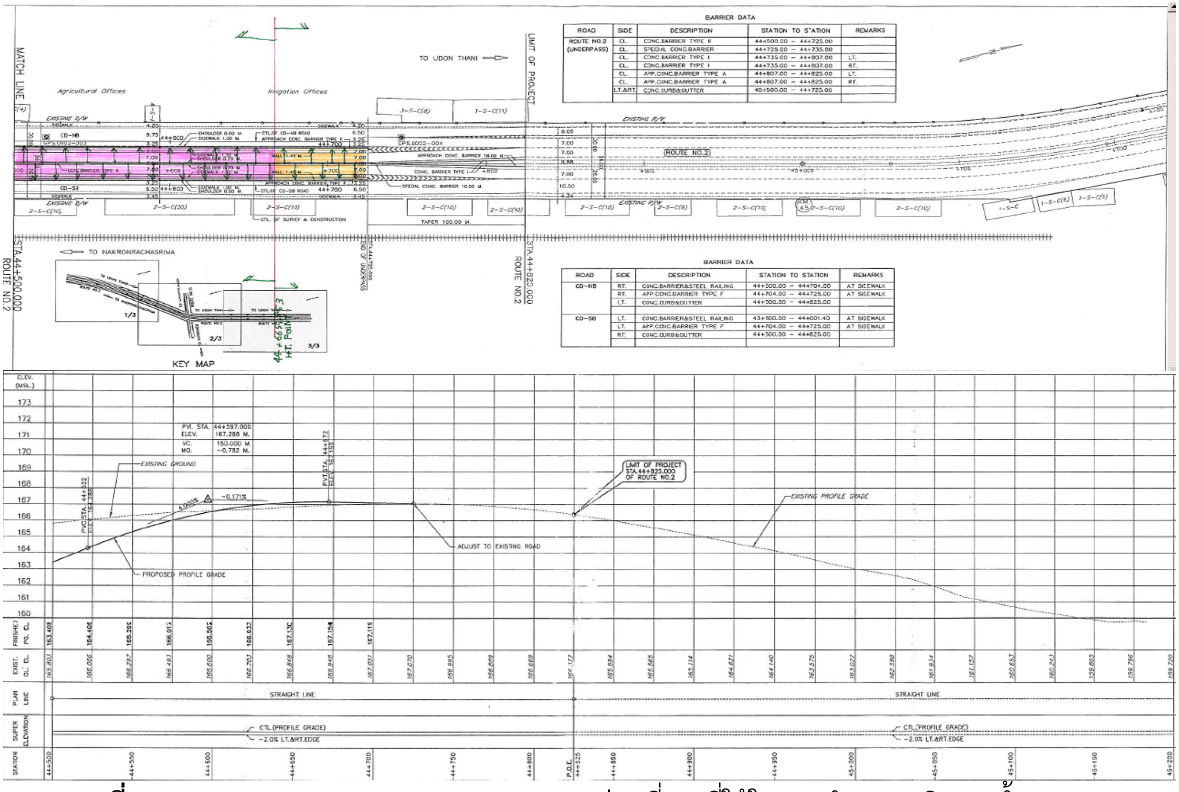
หลังจากประมาณปริมาณความเข้มของน้ำฝนในตำแหน่งก่อสร้างทางลอดได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการประมาณค่าของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในส่วนของทางลอดที่จำเป็นต้องระบายออก ซึ่งพื้นที่รับน้ำฝนที่ตกลงมาในทางลอดสำหรับในตัวอย่างนี้สามารถพิจารณาจากรูปของ Plan และ Profile ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้ โดยตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่รับน้ำฝนที่ตกลงในทางลอดอยู่ในช่วง STA.43+770.5270 ถึง STA.44+005.000 และจากช่วง STA.44+301.000 ถึง STA.44+665.8530 โดยช่วงแต่ละช่วงเลือกจากจุดที่มีความชันเปลี่ยนจากบวกเป็นลบหรือมีความลาดเอียงลงไปในทางลอดซึ่งเป็นผลให้น้ำฝนที่ตกมาบริเวณนี้จะไหลลงสู่ทางลอดซึ่งผู้ออกแบบจะต้องออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำฝนนี้




**รูปที่ 2.4-63** Plan และ Profile ของทางลอด (ส่วนที่ 1) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝน




**รูปที่ 2.4-64** Plan และ Profile ของทางลอด (ส่วนที่ 2) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝน




**รูปที่ 2.4-65** Plan และ Profile ของทางลอด (ส่วนที่ 3) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝน

โดยจากช่วงรับน้ำฝนข้างต้นปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายในทางลอดทั้งหมดคำนวณดังนี้

| ROUTE | START | FINISH | LENGTH | WIDTH | 0.278 | C | I | AREA | RUNOFF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ROUTE 2-NB | 43770.5270 | 44005.0000 | 234.4730 | 11.30 | 0.278 | 0.95 | 205 | 2649.545 | 0.1434 |
| ROUTE 2-NB | 44301.0000 | 44665.8530 | 364.8530 | 11.30 | 0.278 | 0.95 | 205 | 4122.839 | 0.2232 |
| | | | | | | | | *TOTAL (CUM/S)* | 0.3667 |

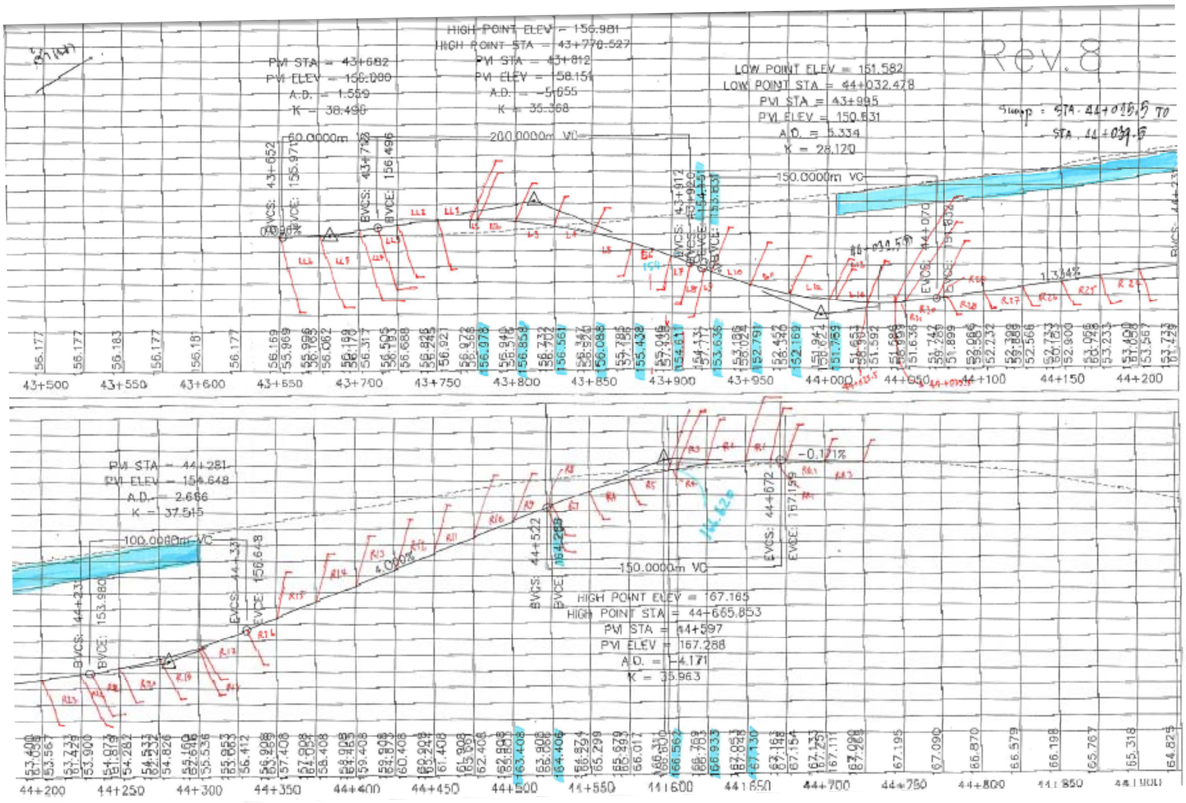
จากนั้นจึงทำการคำนวณความเร็วในการไหลในรางระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Ditch) ที่ใช้ในการลำเลียงน้ำไปสู่บ่อพักน้ำ โดยในตัวอย่างนี้ตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณความเร็วในการไหลใน RC Ditch ได้แบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ ดังแสดงในภาพข้างล่าง โดยตัวอย่างจะแสดงรายการคำนวณเฉพาะตำแหน่ง L1 ถึง L14

สำหรับสมการที่ใช้คำนวณความเร็วการไหลจะใช้ตามสมการข้างล่างนี้

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| โดยที่ | V | = | ความเร็วในการไหลในรางระบายน้ำ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที |
| | R | = | ความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำ มีหน่วยเป็น เมตร |
| | n | = | สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning<br>โดยปกติสมมติค่าเท่ากับ 0.013 |
| | SL | = | ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร |

ในตัวอย่างนี้ใช้ค่าของ $S_L$ เท่ากับค่าของความชันในแนวยาวของถนนหรือทางลอดเพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้าง และการคำนวณหาขนาดของรางระบายน้ำทำโดยการสมมุติค่าของความลึกของน้ำที่ไหลในรางโดยเลือกค่าความลึกที่ทำให้ได้ความเร็วของการไหล(V)ไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งขนาดของรางระบายน้ำสามารถหาได้จากความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำตามสมการข้างต้น



**รูปที่ 2.4-66** แสดงตำแหน่งของการคำนวณ RC Ditch ของทางลอด
ที่ใช้ในการรองรับปริมาณน้ำฝนจาก Inlet

**ตารางที่ 2.4-6** แสดงการคำนวณปริมาณการไหลที่ช่วงต่างๆของ RC Ditch

| | SLOPE | Distance | C | I (mm/hr) | Width | Area sqm | Constant | Flow cum/s |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L1 | 0.0070 | 4.4730 | 0.95 | 205 | 11.3 | 50.54 | 0.278 | 0.003 |
| L2 | 0.0048 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L3 | 0.0119 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L4 | 0.0189 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L5 | 0.0260 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L6 | 0.0331 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L7 | 0.0383 | 12.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 135.60 | 0.278 | 0.007 |
| L8 | 0.0400 | 8.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 90.40 | 0.278 | 0.005 |
| L9 | 0.0390 | 5.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 56.50 | 0.278 | 0.003 |
| L10 | 0.0338 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L11 | 0.0249 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L12 | 0.0160 | 25.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 282.50 | 0.278 | 0.015 |
| L13 | 0.0138 | 5.0000 | 0.95 | 205 | 11.3 | 56.50 | 0.278 | 0.003 |
| L14 | 0.0053 | 20.5000 | 0.95 | 0 | 11.3 | 231.65 | 0 | 0.000 |

**ตารางที่ 2.4-7** แสดงการคำนวณความเร็วการไหลและหน้าตัดของที่ช่วงต่างๆของ RC Ditch

| | SLOPE | n | W | Depth | Area | P | R^2/3 | Velocity m/s | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L1 | 0.0070 | 0.0130 | 0.5 | *0.01* | 0.01 | 0.53 | 0.0578 | 0.372 | Assume Depth |
| L2 | 0.0048 | 0.0130 | 0.5 | *0.05* | 0.03 | 0.61 | 0.1254 | 0.668 | |
| L3 | 0.0119 | 0.0130 | 0.5 | *0.06* | 0.03 | 0.62 | 0.1327 | 1.113 | |
| L4 | 0.0189 | 0.0130 | 0.5 | *0.07* | 0.03 | 0.63 | 0.1396 | 1.476 | |
| L5 | 0.0260 | 0.0130 | 0.5 | *0.07* | 0.04 | 0.64 | 0.1451 | 1.800 | |
| L6 | 0.0331 | 0.0130 | 0.5 | *0.08* | 0.04 | 0.65 | 0.1499 | 2.098 | |
| L7 | 0.0383 | 0.0130 | 0.5 | *0.08* | 0.04 | 0.65 | 0.1506 | 2.268 | |
| L8 | 0.0400 | 0.0130 | 0.5 | *0.08* | 0.04 | 0.66 | 0.1523 | 2.343 | |
| L9 | 0.0390 | 0.0130 | 0.5 | *0.08* | 0.04 | 0.66 | 0.1548 | 2.351 | |
| L10 | 0.0338 | 0.0130 | 0.5 | *0.09* | 0.05 | 0.69 | 0.1665 | 2.355 | |
| L11 | 0.0249 | 0.0130 | 0.5 | *0.11* | 0.06 | 0.73 | 0.1823 | 2.213 | |
| L12 | 0.0160 | 0.0130 | 0.5 | *0.14* | 0.07 | 0.79 | 0.2021 | 1.967 | |
| L13 | 0.0138 | 0.0130 | 0.5 | *0.15* | 0.08 | 0.81 | 0.2079 | 1.879 | |
| L14 | 0.0053 | 0.0130 | 0.5 | 0.22 | 0.11 | 0.93 | 0.2376 | 1.330 | |

| | Velocity m/s | Flow cum/s | Acc cum/s | Section | W | Depth m | 1.5000 | 0.200 | Use depth |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L1 | 0.37 | 0.003 | 0.00 | 0.01 | 0.5 | *0.01* | 0.02 | 0.22 | ***0.35*** |
| L2 | 0.67 | 0.015 | 0.02 | 0.03 | 0.5 | *0.05* | 0.08 | 0.28 | ***0.35*** |
| L3 | 1.11 | 0.015 | 0.03 | 0.03 | 0.5 | *0.06* | 0.09 | 0.29 | ***0.35*** |
| L4 | 1.48 | 0.015 | 0.05 | 0.03 | 0.5 | *0.07* | 0.10 | 0.30 | ***0.35*** |
| L5 | 1.80 | 0.015 | 0.06 | 0.04 | 0.5 | *0.07* | 0.11 | 0.31 | ***0.35*** |
| L6 | 2.10 | 0.015 | 0.08 | 0.04 | 0.5 | *0.08* | 0.11 | 0.31 | ***0.40*** |
| L7 | 2.27 | 0.007 | 0.09 | 0.04 | 0.5 | *0.08* | 0.11 | 0.31 | ***0.40*** |
| L8 | 2.34 | 0.005 | 0.09 | 0.04 | 0.5 | *0.08* | 0.12 | 0.32 | ***0.45*** |
| L9 | 2.35 | 0.003 | 0.09 | 0.04 | 0.5 | *0.08* | 0.12 | 0.32 | ***0.45*** |
| L10 | 2.35 | 0.015 | 0.11 | 0.05 | 0.5 | *0.09* | 0.14 | 0.34 | ***0.50*** |
| L11 | 2.21 | 0.015 | 0.13 | 0.06 | 0.5 | *0.11* | 0.17 | 0.37 | ***0.50*** |
| L12 | 1.97 | 0.015 | 0.14 | 0.07 | 0.5 | *0.14* | 0.21 | 0.41 | ***0.50*** |
| L13 | 1.88 | 0.003 | 0.14 | 0.08 | 0.5 | *0.15* | 0.23 | 0.43 | ***0.60*** |
| L14 | 1.33 | 0.000 | 0.14 | 0.11 | 0.5 | *0.22* | 0.32 | 0.52 | ***0.60*** |

จากนั้นจะทำการออกแบบรางระบายน้ำฝนข้างทาง (Gutter) ในส่วนของทางลอดเพื่อลำเลียงน้ำที่รับมาในส่วนของทางลอดไปสู่รูระบายน้ำ (Curb Inlet) โดยตัวอย่างจะแสดงรายการคำนวณเฉพาะตำแหน่ง L1 ถึง L14

สำหรับสมการที่ใช้ออกแบบขนาดของรางระบายน้ำในข้างทางใช้ตามสมการข้างล่างนี้

$$Q_s = \frac{0.376}{n} S_x^{5/3} S_L^{1/2} T^{8/3}$$

โดยที่ Qs = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนนสำหรับในตัวอย่างนี้

SL = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจรในตัวอย่างนี้สมมติให้เท่ากับ 1.5 เมตร

นอกจากนั้นในตัวอย่างนี้สมมุติให้ออกแบบโดยใช้รางระบายน้ำแบบ Composite Gutter (Sw) ที่มีค่าความลาดเอียงตามขวางมากกว่าหนึ่งค่า อัตราการไหลรวมของน้ำฝนทั้งหมดจะถูกรองรับจากรางน้ำทั้งสองส่วน โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลได้แก่

$$Q = Q_w + Q_s = \frac{Q_s}{1 - E_o}$$

$$E_o = 1 / \left\{ \frac{S_w / S_x}{\left[ 1 + \dfrac{S_w / S_x}{\dfrac{T}{W} - 1} \right]^{2/3} - 1} \right\} = Q_w / Q$$

โดยที่ Qs = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sx

Qw = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sw

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

W = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนผิวจราจรของทางลอดที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

Eo = ประสิทธิภาพการไหลในรางแบบ Composite Gutter

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วนบนของ Composite Gutter

Sw = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วน Depressed Segment ของ Composite Gutter ซึ่งคำนวณได้จาก Sx + a/w

a = ความลึกของ Depressed Segment

W = ความกว้างของ Depressed Segment

ซึ่งจากสมการข้างต้นสามารถทำการประมาณหาค่าของขนาดของรางระบายน้ำข้างทางโดยขนาดของรางระบายน้ำควรเลือกให้ได้ค่าอัตราการไหลในช่วงที่พิจารณาใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่ต้องระบายใน RC Ditch ดังแสดงในตาราง

**ตารางที่ 2.4-8** แสดงการประมาณขนาดของรางระบายน้ำข้างทาง (Gutter)

**TABLE 3-1 Gutter Capacity of UnderPASS STA 43770.5270 to 44026.2100**

| L Section | Start KM | Finish KM | Distance (m) | n | Sl (m/m) | Sx (m/m) | Sw (m/m) | T (m) | W (m) | Ts (m) | Eo (%) | Qs (cum/s) | Q (cum/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | 43770.5270 | 43775.0000 | 4.4730 | 0.016 | 0.0007 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0014 | ***0.0032*** |
| *2* | 43775.0000 | 43800.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0048 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0037 | ***0.0087*** |
| *3* | 43800.0000 | 43825.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0119 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0058 | ***0.0136*** |
| *4* | 43825.0000 | 43850.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0189 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0074 | ***0.0172*** |
| *5* | 43850.0000 | 43875.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0260 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0086 | ***0.0202*** |
| *6* | 43875.0000 | 43900.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0331 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0097 | ***0.0228*** |
| *7* | 43900.0000 | 43912.0000 | 12.0000 | 0.016 | 0.0383 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0105 | ***0.0245*** |
| *8* | 43912.0000 | 43920.0000 | 8.0000 | 0.016 | 0.0400 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0107 | ***0.0250*** |
| *9* | 43920.0000 | 43925.0000 | 5.0000 | 0.016 | 0.0390 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0106 | ***0.0247*** |
| *10* | 43925.0000 | 43950.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0338 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0098 | ***0.0230*** |
| *11* | 43950.0000 | 43975.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0249 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0084 | ***0.0197*** |
| *12* | 43975.0000 | 44000.0000 | 25.0000 | 0.016 | 0.0160 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0068 | ***0.0158*** |
| *13* | 44000.0000 | 44005.0000 | 5.0000 | 0.016 | 0.0138 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0063 | ***0.0147*** |
| *14* | 44005.0000 | 44026.2100 | 21.2100 | 0.016 | 0.0053 | 0.02 | 0.08 | 1.50 | 0.3 | 1.2 | 0.5728 | 0.0039 | ***0.0091*** |

NOTE Spread = 1.5 m

จากนั้นจะทำการออกแบบรูรับน้ำฝน (Curb Inlet) โดยใช้สมการซึ่งพิจารณาจากค่าความยาวรวมของช่องเปิดที่บริเวณ Curb (LT) ที่สามารถรับน้ำที่ระบายจากผิวจราจรโดยคำนวณได้จากสมการดังนี้คือ

สำหรับ Gutter แบบ Non-Composite

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S_L^{\ 0.3} \left( \frac{1}{n S_x} \right)^{0.6}$$

โดยที่

LT = ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

สำหรับ Gutter แบบ Composite

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S_L^{\ 0.3} \left( \frac{1}{nS_e} \right)^{0.6}$$

โดยที่ LT = ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

Se = Sx+SWEo

SW = Sw - Sx

ในกรณีที่ความยาวช่องเปิดที่ใช้ในการออกแบบจริงมีค่าน้อยกว่า $L_T$ จะต้องหาค่าประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง (E) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$E = 1 - \left[ 1 - \frac{L}{L_T} \right]^{1.8}$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง

L = ความยาวรวมของช่องเปิดจริง มี หน่วยเป็น เมตร

ซึ่งจากสมการข้างต้นสามารถทำการประมาณหาจำนวนและความถี่ในการติดตั้งของรูรับน้ำฝนได้ โดยจำนวนและความถี่ควรเลือกให้เหมาะสมและควรออกแบบให้อัตราการไหลเข้ารูรับน้ำมีค่ามากกว่าอัตราการไหลในรางระบายน้ำข้างทางในช่วงที่ทำการออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าค่าของน้ำขังบนพื้นถนนมีค่าไม่เกินค่าที่ใช้ในการออกแบบ

**ตารางที่ 2.4-9** แสดงการประมาณระยะห่างของรูรับน้ำฝน

| TABLE 4-1 Curb Inlet Interval for UNDERPASS from 43770.5270 to 44026.2100 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L Section | Start KM | Finish KM | Const | Q inlet ( cum/s) | SI (m/m) | (1/(nSe))^0.6 | Lt (m) | L (m) | 1-(L/Lt)^1.8 | EFF (%) | Qintercept ( cum/s) | Carry Over ( cum/s) | Inlet Interval (m) | Gutter Capacity ( cum/s) | Check ( cum/s) |
| 1 | 43770.5270 | 43775.0000 | 0.817 | 0.0037 | 0.0007 | 76.5619 | 0.6705 | 0.65 | 0.0019 | 1.00 | 0.0037 | 0.0000 | 5 | 0.0032 | -0.0005 |
| 2 | 43775.0000 | 43800.0000 | 0.817 | 0.0046 | 0.0048 | 76.5619 | 1.3129 | 0.65 | 0.2923 | 0.71 | 0.0032 | 0.0013 | 7.5 | 0.0087 | 0.0041 |
| | | | 0.817 | 0.0059 | 0.0048 | 76.5619 | 1.4615 | 0.65 | 0.3468 | 0.65 | 0.0039 | 0.0021 | 7.5 | 0.0087 | 0.0028 |
| | | | 0.817 | 0.0066 | 0.0048 | 76.5619 | 1.5330 | 0.65 | 0.3705 | 0.63 | 0.0042 | 0.0025 | 7.5 | 0.0087 | 0.0021 |
| 3 | 43800.0000 | 43825.0000 | 0.817 | 0.0070 | 0.0119 | 76.5619 | 2.0625 | 0.65 | 0.5059 | 0.49 | 0.0035 | 0.0036 | 7.5 | 0.0136 | 0.0066 |
| | | | 0.817 | 0.0081 | 0.0119 | 76.5619 | 2.1925 | 0.65 | 0.5310 | 0.47 | 0.0038 | 0.0043 | 7.5 | 0.0136 | 0.0055 |
| | | | 0.817 | 0.0089 | 0.0119 | 76.5619 | 2.2766 | 0.65 | 0.5460 | 0.45 | 0.0040 | 0.0049 | 7.5 | 0.0136 | 0.0047 |
| | | | 0.817 | 0.0094 | 0.0119 | 76.5619 | 2.3334 | 0.65 | 0.5556 | 0.44 | 0.0042 | 0.0052 | 7.5 | 0.0136 | 0.0042 |
| 4 | 43825.0000 | 43850.0000 | 0.817 | 0.0098 | 0.0189 | 76.5619 | 2.7283 | 0.65 | 0.6127 | 0.39 | 0.0038 | 0.0060 | 7.5 | 0.0172 | 0.0074 |
| | | | 0.817 | 0.0106 | 0.0189 | 76.5619 | 2.8167 | 0.65 | 0.6236 | 0.38 | 0.0040 | 0.0066 | 7.5 | 0.0172 | 0.0066 |
| | | | 0.817 | 0.0112 | 0.0189 | 76.5619 | 2.8815 | 0.65 | 0.6312 | 0.37 | 0.0041 | 0.0071 | 7.5 | 0.0172 | 0.0060 |
| 5 | 43850.0000 | 43875.0000 | 0.817 | 0.0116 | 0.0260 | 76.5619 | 3.2231 | 0.65 | 0.6667 | 0.33 | 0.0039 | 0.0078 | 7.5 | 0.0202 | 0.0086 |
| | | | 0.817 | 0.0123 | 0.0260 | 76.5619 | 3.3031 | 0.65 | 0.6741 | 0.33 | 0.0040 | 0.0083 | 7.5 | 0.0202 | 0.0079 |
| | | | 0.817 | 0.0129 | 0.0260 | 76.5619 | 3.3649 | 0.65 | 0.6795 | 0.32 | 0.0041 | 0.0088 | 7.5 | 0.0202 | 0.0073 |
| 6 | 43875.0000 | 43900.0000 | 0.817 | 0.0133 | 0.0331 | 76.5619 | 3.6690 | 0.65 | 0.7040 | 0.30 | 0.0039 | 0.0094 | 7.5 | 0.0228 | 0.0095 |
| | | | 0.817 | 0.0140 | 0.0331 | 76.5619 | 3.7407 | 0.65 | 0.7092 | 0.29 | 0.0041 | 0.0099 | 7.5 | 0.0228 | 0.0088 |
| | | | 0.817 | 0.0145 | 0.0331 | 76.5619 | 3.7982 | 0.65 | 0.7133 | 0.29 | 0.0042 | 0.0103 | 7.5 | 0.0228 | 0.0083 |
| 7 | 43900.0000 | 43912.0000 | 0.817 | 0.0149 | 0.0383 | 76.5619 | 4.0174 | 0.65 | 0.7278 | 0.27 | 0.0041 | 0.0108 | 7.5 | 0.0245 | 0.0096 |
| | | | 0.817 | 0.0154 | 0.0383 | 76.5619 | 4.0756 | 0.65 | 0.7314 | 0.27 | 0.0041 | 0.0113 | 7.5 | 0.0245 | 0.0091 |
| 8 | 43912.0000 | 43920.0000 | 0.817 | 0.0159 | 0.0400 | 76.5619 | 4.1774 | 0.65 | 0.7375 | 0.26 | 0.0042 | 0.0117 | 7.5 | 0.0250 | 0.0091 |
| 9 | 43920.0000 | 43925.0000 | 0.817 | 0.0163 | 0.0390 | 76.5619 | 4.1910 | 0.65 | 0.7383 | 0.26 | 0.0043 | 0.0120 | 7.5 | 0.0247 | 0.0085 |
| 10 | 43925.0000 | 43950.0000 | 0.817 | 0.0166 | 0.0338 | 76.5619 | 4.0477 | 0.65 | 0.7297 | 0.27 | 0.0045 | 0.0121 | 7.5 | 0.0230 | 0.0064 |
| | | | 0.817 | 0.0167 | 0.0338 | 76.5619 | 4.0571 | 0.65 | 0.7303 | 0.27 | 0.0045 | 0.0122 | 7.5 | 0.0230 | 0.0063 |
| | | | 0.817 | 0.0168 | 0.0338 | 76.5619 | 4.0649 | 0.65 | 0.7308 | 0.27 | 0.0045 | 0.0122 | 7.5 | 0.0230 | 0.0062 |
| 11 | 43950.0000 | 43975.0000 | 0.817 | 0.0168 | 0.0249 | 76.5619 | 3.7148 | 0.65 | 0.7074 | 0.29 | 0.0049 | 0.0119 | 7.5 | 0.0197 | 0.0029 |
| | | | 0.817 | 0.0165 | 0.0249 | 76.5619 | 3.6824 | 0.65 | 0.7050 | 0.30 | 0.0049 | 0.0116 | 7.5 | 0.0197 | 0.0032 |
| | | | 0.817 | 0.0162 | 0.0249 | 76.5619 | 3.6556 | 0.65 | 0.7030 | 0.30 | 0.0048 | 0.0114 | 7.5 | 0.0197 | 0.0035 |
| | | | 0.817 | 0.0160 | 0.0249 | 76.5619 | 3.6334 | 0.65 | 0.7013 | 0.30 | 0.0048 | 0.0112 | 7.5 | 0.0197 | 0.0037 |
| 12 | 43975.0000 | 44000.0000 | 0.817 | 0.0142 | 0.0160 | 76.5619 | 3.0335 | 0.65 | 0.6479 | 0.35 | 0.0050 | 0.0092 | 5 | 0.0158 | 0.0016 |
| | | | 0.817 | 0.0123 | 0.0160 | 76.5619 | 2.8501 | 0.65 | 0.6276 | 0.37 | 0.0046 | 0.0077 | 5 | 0.0158 | 0.0035 |
| | | | 0.817 | 0.0108 | 0.0160 | 76.5619 | 2.6960 | 0.65 | 0.6086 | 0.39 | 0.0042 | 0.0065 | 5 | 0.0158 | 0.0050 |
| | | | 0.817 | 0.0096 | 0.0160 | 76.5619 | 2.5699 | 0.65 | 0.5916 | 0.41 | 0.0039 | 0.0057 | 5 | 0.0158 | 0.0062 |
| | | | 0.817 | 0.0087 | 0.0160 | 76.5619 | 2.4696 | 0.65 | 0.5771 | 0.42 | 0.0037 | 0.0050 | 5 | 0.0158 | 0.0071 |
| 13 | 44000.0000 | 44005.0000 | 0.817 | 0.0081 | 0.0138 | 76.5619 | 2.2879 | 0.65 | 0.5479 | 0.45 | 0.0037 | 0.0044 | 5 | 0.0147 | 0.0066 |
| 14 | 44005.0000 | 44026.2100 | 0.817 | 0.0044 | 0.0053 | 76.5619 | 1.3336 | 0.65 | 0.3003 | 0.70 | 0.0031 | 0.0013 | 5 | 0.0091 | 0.0047 |
| | | | 0.817 | 0.0013 | 0.0053 | 76.5619 | 0.8047 | 0.65 | 0.0514 | 0.95 | 0.0013 | 0.0001 | 5 | 0.0091 | 0.0078 |
| | | | 0.817 | 0.0001 | 0.0053 | 76.5619 | 0.2313 | 0.65 | 0.0000 | 1.00 | 0.0001 | 0.0000 | 5 | 0.0091 | 0.0090 |
| | | | 0.817 | 0.0000 | 0.0053 | 76.5619 | 0.0000 | 0.65 | 0.0000 | 1.00 | 0.0000 | 0.0000 | 5 | 0.0091 | 0.0091 |

*NOTE*

1 Road Section as Describe in Gutter Capacity defined by Longitudinal slope (Sl )
2 Q inlet = Carry Over+ Runoff from each interval
3 L = Open length of Inlet 0.80 meter
4 Check = Compare Gutter Capacity to Qinlet

จากนั้นจะทำการประมาณหาขนาดของบ่อสูบน้ำที่ใช้ในการรับน้ำจาก RC Ditch ก่อนที่จะถูกสูบออกไปโดยเครื่องสูบน้ำโดยสมการที่ใช้ในการประมาณขนาดของบ่อสูบและขนาดของเครื่องสูบน้ำแสดงดังนี้ โดยอาศัยคำแนะนำของ TEXUS DOT โดยที่

$$\text{Average Pump Capacity } = \frac{\text{CiAD} - \text{Volumn of sump}}{\text{D}}$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่จะระบาย มีหน่วยเป็น ลบ.ม

CiA = อัตราการไหลของน้ำฝน ลบ.ม ต่อ วินาที

D = ช่วงเวลาที่ฝนตก มีหน่วยเป็นวินาที

Z = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 360

โดยในตัวอย่างนี้ได้เลือกขนาดของบ่อสูบเป็น 30 ลบ.ม โดยพิจารณาจากเนื้อที่ข้างเคียงของกำแพงกันดินของทางลอด จากนั้นทำการประมาณหาค่าโดยเฉลี่ยของอัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำสำหรับค่าของ tc ที่ต่างๆกันเพื่อให้สามารถเลือกค่าที่สูงสุดที่ควรใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยของเครื่องสูบน้ำ โดยจากตารางแสดงการคำนวณข้างล่าง ซึ่งจากตารางพบว่าค่าของอัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำควรใช้ประมาณ 0.3 ลบ.ม ต่อวินาที

**ตารางที่ 2.4-10** แสดงการประมาณขนาดของเครื่องสูบน้ำ

**TABLE 5 : PUMP SUMP EVALUATION**

| Duration (min) | i (mm/hr) | C | A (sqm) | CA | CiA (cum/sec) | DCiA (cum) | Sump (cum) | Excess Volumn(cum) | Pump Rate (cum/sec) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 205 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.353 | 211.96 | 30 | 181.96 | 0.30 |
| 11 | 203 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.350 | 230.88 | 30 | 200.88 | 0.30 |
| 12 | 200 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.345 | 248.15 | 30 | 218.15 | 0.30 |
| 13 | 196 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.338 | 263.45 | 30 | 233.45 | 0.30 |
| 14 | 193 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.333 | 279.38 | 30 | 249.38 | 0.30 |
| 15 | 190 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.327 | 294.68 | 30 | 264.68 | 0.29 |
| 20 | 175 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.302 | 361.89 | 30 | 331.89 | 0.28 |
| 25 | 165 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.284 | 426.51 | 30 | 396.51 | 0.26 |
| 30 | 150 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.258 | 465.28 | 30 | 435.28 | 0.24 |
| 35 | 140 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.241 | 506.64 | 30 | 476.64 | 0.23 |
| 40 | 128 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.221 | 529.39 | 30 | 499.39 | 0.21 |
| 45 | 120 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.207 | 558.34 | 30 | 528.34 | 0.20 |
| 50 | 110 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.190 | 568.68 | 30 | 538.68 | 0.18 |
| 55 | 105 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.181 | 597.11 | 30 | 567.11 | 0.17 |
| 60 | 95 | 0.95 | 6525.09 | 6198.83 | 0.164 | 589.36 | 30 | 559.36 | 0.16 |

เนื่องจากในการออกแบบสามารถใช้เครื่องสูบน้ำได้มากกว่าหนึ่งตัวดังนั้นอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำอาจใช้น้อยกว่า 0.3 ลบ.ม ต่อวินาทีได้ เช่นหากใช้ เครื่องสูบน้ำ 4 ตัว อาจใช้อัตราสูบตัวละประมาณ 0.3/4 หรือ 4.5 ลบ.ม ต่อนาที ซึ่งเพื่อให้เผื่ออัตราการสูบที่สูงกว่าในตัวอย่างนี้ได้เลือกใช้ เครื่องสูบน้ำ 4 ตัว ตัวละ 6 ลบ.ม ต่อนาที

จากนั้นทำการวิเคราะห์ลำดับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ โดยในตัวอย่างนี้กำหนดให้ใช้ระยะเวลาประมาณ 21 นาทีในการสูบน้ำที่เกิดจากฝนตกที่มีค่า tc = 10 นาที หรือ ค่าอัตราการไหลสู่บ่อสูบสูงสุดเท่ากับ0.353 ลบ.ม ต่อวินาที โดยในการออกแบบได้เลือกใช้ค่าที่สูงกว่าเพื่อสามารถระบายน้ำที่สูงกว่าเล็กน้อยคือเท่ากับ 0.388 ลบ.ม โดยตารางการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2.4-11** แสดงการการวิเคราะห์ลำดับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

**TABLE 6 : ANALYSIS PUMP RATE**

Ananlysis of Initiation Times for 6 cum/min Pumps

| Duration (min) | inflow rate (cum/s) | increment (cum) | Acc Inflow (cum) | Pump 1 Start(cum) | Remin in Sump (cum) | Pump 2 Start(cum) | Remin in Sump (cum) | Pump 3 Start(cum) | Remin in Sump (cum) | Pump 4 Start(cum) | Remin in Sump (cum) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.000 | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.035 | 1.059 | 1.059 | | | | | | | | |
| 2 | 0.071 | 3.177 | 4.236 | | | | | | | | |
| 3 | 0.106 | 5.295 | ***9.531*** | 6 | 3.531 | | | | | | |
| 4 | 0.141 | 7.413 | 16.944 | 12 | 4.944 | | | | | | |
| 5 | 0.177 | 9.531 | 26.475 | 18 | 8.475 | | | | | | |
| 6 | 0.212 | 11.649 | 38.124 | 24 | ***14.124*** | 6 | 8.124 | | | | |
| 7 | 0.247 | 13.767 | 51.891 | 30 | 21.891 | 12 | 9.891 | | | | |
| 8 | 0.282 | 15.885 | 67.776 | 36 | 31.776 | 18 | 13.776 | | | | |
| 9 | 0.318 | 18.003 | 85.779 | 42 | 43.779 | 24 | ***19.779*** | 6 | 13.779 | | |
| 10 | 0.353 | 20.121 | 105.900 | 48 | 57.900 | 30 | 27.900 | 12 | 15.900 | | |
| 11 | 0.388 | 22.239 | 128.139 | 54 | 74.139 | 36 | 38.139 | 18 | 20.139 | | |
| 12 | 0.388 | 23.298 | 151.437 | 60 | 91.437 | 42 | 49.437 | 24 | ***25.437*** | 6 | 19.437 |
| 13 | 0.388 | 23.298 | 174.735 | 66 | 108.735 | 48 | 60.735 | 30 | 30.735 | 12 | 18.735 |
| 14 | 0.388 | 23.298 | 198.033 | 72 | 126.033 | 54 | 72.033 | 36 | 36.033 | 18 | 18.033 |
| 15 | 0.353 | 22.239 | 220.272 | 78 | 142.272 | 60 | 82.272 | 42 | 40.272 | 24 | 16.272 |
| 16 | 0.318 | 20.121 | 240.393 | 84 | 156.393 | 66 | 90.393 | 48 | 42.393 | 30 | 12.393 |
| 17 | 0.282 | 18.003 | 258.396 | 90 | 168.396 | 72 | 96.396 | 54 | 42.396 | 36 | 6.396 |
| 18 | 0.247 | 15.885 | 274.281 | 96 | 178.281 | 78 | 100.281 | 60 | 40.281 | 42 | -1.719 |
| 19 | 0.212 | 13.767 | 288.048 | 102 | 186.048 | 84 | 102.048 | 66 | 36.048 | 48 | -11.952 |
| 20 | 0.177 | 11.649 | 299.697 | 108 | 191.697 | 90 | 101.697 | 72 | 29.697 | 54 | -24.303 |
| 21 | 0.141 | 9.531 | 309.228 | 114 | 195.228 | 96 | 99.228 | 78 | 21.228 | 60 | -38.772 |

# บทที่ 3
# การสำรวจข้อมูลเพื่อออกแบบอาคารระบายน้ำงานทางหลวง

การออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทางเพื่อเปิดช่องน้ำตามสายทางต่างๆนั้นมีความสำคัญซึ่งจะทำให้งานออกแบบถูกต้องตามหลักการ วัตถุประสงค์ และไม่เป็นผลเสียหายต่องานทางก็คือ ข้อมูลต่างๆที่ได้จากการสำรวจสถานที่ก่อสร้างในสนามและบริเวณข้างเคียงนั่นเอง การสำรวจให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดถูกต้องย่อมเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำมาพิจารณาประกอบเพื่อการออกแบบโครงสร้างที่ถูกต้อง ให้ได้ชนิดและขนาดของช่องเปิดที่เหมาะสมกับสภาพของทางน้ำ แนวทาง ลักษณะของดินที่จะก่อสร้างโครงสร้างทาง โดยสอดคล้องกับภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อม ในทางกลับกันหากการสำรวจในสนามไม่ละเอียดพอ มีคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง โดยการสำรวจอย่างขาดหลักการหรือได้รับข้อมูลมาอย่างไม่ถูกต้อง อาจจะทำให้การออกแบบอาคารระบายน้ำงานทาง ณ จุดนั้นผิดพลาด ชนิดอาคารอาจไม่เหมาะสมโครงสร้างอาจมีขนาดเล็กไปหรือใหญ่เกินความจำเป็น ซึ่งทำให้เป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณโดยไม่ได้รับประโยชน์ อาจจะทำให้เสียหายต่อคันทางและโครงสร้างนั้นๆ ในอนาคตได้ เป็นต้น

ดังนั้น การสำรวจเพื่อเก็บรายละเอียดข้อมูลต่างๆ สำหรับนำมาประกอบการออกแบบโครงสร้างอาคารระบายน้ำในงานทาง มีข้อแนะนำที่จำเป็นต้องสำรวจและพิจารณาข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

## 3.1 รายละเอียดการสำรวจ

### 3.1.1 แนวทางที่ถูกต้องบริเวณคอสะพานทั้งสองข้าง

การสำรวจแนวทางที่ถูกต้องบริเวณคอสะพานทั้งสองข้าง เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบสะพานให้เหมาะสม จะต้องระบุทิศทางที่แน่นอน มุมหักเบนมากน้อยเพียงใด ตำแหน่งจุดตัดกันของโค้ง (P.I.), Curve Data ทิศทางของแนวทางกับลำน้ำ กับแนวทางนั้นๆ ได้ ซึ่งแทนที่ที่จะออกแบบเป็นสะพานในแนวตรงธรรมดา อาจต้องยกระดับโค้ง (Super elevation) อาจอยู่ในช่วงแปรเปลี่ยน (Transition) หรืออาจต้องขยายช่องทางวิ่ง (Roadway) ให้กว้างขึ้นเพราะรัศมีแคบ และที่สำคัญที่สุดคือไม่ควรสร้างสะพานในแนวทางเปลี่ยนทิศทางอย่างกะทันหันระยะสั้นก่อนหรือหลังข้ามลำน้ำซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ทาง แต่หลังจากที่ได้มีการปรับปรุงถนนให้ดีขึ้นสภาพการจราจรคล่องตัวขึ้น อาจทำให้ผู้ใช้ทางขาดความระมัดระวังจนทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย (ควรพิจารณา เปลี่ยนแนวทางข้ามลำน้ำใหม่ หรือเปลี่ยนแนวทางที่ต่อจากสะพานออกไป แล้วแต่กรณีใดจะเหมาะสมกว่า)

### 3.1.2 แนวศูนย์กลางสะพาน

ในกรณีที่สำรวจรายละเอียดช่องน้ำ โดยไม่ได้ทำการสำรวจแนวทางทั้งสายไปในขณะเดียวกัน เพื่อที่จะสามารถควบคุมแนวศูนย์กลางที่จะทำการก่อสร้าง เพื่อจะก่อสร้างสะพานก่อนให้ทำการสำรวจแนวทางออกไปทั้งสองข้างไม่น้อยกว่า 300 เมตร ในทางราบ และไม่น้อยกว่า 500 เมตร สำหรับทางลูกเนินหรือทางเขา เพื่อประกอบการพิจารณากำหนดระดับหลังทาง (Grade line) และออกแบบสะพานหรือ ท่อระบายน้ำคอนกรีตแบบเหลี่ยม (Box Culvert)

ท่อระบายน้ำคอนกรีตแบบเหลี่ยม (Box Culvert) ให้ถูกต้องเหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในเวลาต่อไปที่จะทำการก่อสร้างปรับปรุงทางภายหลัง ซึ่งขณะนี้มีปัญหาอยู่หลายแห่งที่ก่อสร้างสะพาน หรือ Box Culvert ไปแล้ว เมื่อออกแบบแนวทางทั้งสายเพื่อก่อสร้างภายหลังไม่สามารถขีด Grade line ให้รับกับสะพานหรือ Box Culvert ได้ เนื่องจากข้อมูลที่ส่งมาออกแบบสะพาน หรือ Box Culvert ครั้งแรกน้อยเกินไป แนวทางทั้งสองข้างต้องทำจุดควบคุม (Control Point) ไว้ไม่น้อยกว่าข้างละ 2 แห่ง พร้อมหมุดพยาน โดยให้อยู่ใกล้ริมฝั่งข้างละ 1 แห่ง

ในกรณีที่จำเป็นต้องทำการก่อสร้างสะพาน ซึ่งแนวทางยังไม่ได้มาตรฐาน (อยู่ในโค้งสั้นเอียงทำมุมกับลำน้ำ เปลี่ยนทิศทางกะทันหันบริเวณคอสะพาน ฯลฯ) และมีสะพานชั่วคราวเดิมอยู่ก่อนแล้ว ให้ศึกษาแนวทางเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้วว่าสามารถที่จะแก้ไขปรับปรุงแนวทางเดิมให้ดีขึ้นได้หรือไม่ ถ้าสามารถแก้ไขทำได้ควรจะแก้ไขก่อนเพราะการก่อสร้างสะพานถาวรบนแนวทางเดิม จะทำให้เป็นการยากหรือไม่สามารถแก้ไขแนว ทางให้ดีขึ้นได้อีกเมื่อมีการปรับปรุงถนนในภายหลังเพราะแนวสะพานถาวรที่สร้างไปแล้วจะกำหนด (Control) แนวทางไป และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายต่อการจราจรในบริเวณนี้มากขึ้น แต่หลังจากที่ได้มีการปรับปรุงถนนให้ดีขึ้นสภาพการจราจรคล่องตัวขึ้นอาจทำให้ผู้ใช้ทางขาดความระมัดระวังจนทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย

### 3.1.3 การเลือกแนวสะพานข้ามลำน้ำ

สำหรับสะพานข้ามลำน้ำขนาดใหญ่ สะพานบริเวณชุมชนหรือแนวทางที่ผ่านลำน้ำซึ่งตัดกับหลายสายหรือสะพานในบริเวณลุ่มชลประทาน เป็นต้น การเลือกแนวสะพานให้เริ่มทำการสำรวจจากลำน้ำออกไปโดยเลือกแนวสะพานเสียก่อน เช่น Skew เกิน limit โดยทั่วไป มุม Skew ไม่ควรเกิน 30° ถ้าเป็นลำน้ำใหญ่ Skew ไม่ควรเกิน 20°, แนวที่ผ่านย่านชุมชนหรืออาคารสำคัญที่มีราคาแพงโดยไม่จำเป็นบ้าง, แนวเข้าอยู่ระหว่างคุ้งน้ำที่เป็นลุ่มบ้าง สะพานยาวโดยไม่จำเป็นบ้าง เป็นต้น จะทำให้ไม่ได้แนวสะพานที่เหมาะสมและมีค่าก่อสร้างโครงการสูงขึ้น

### 3.1.4 รายละเอียดของลำน้ำ

การเขียนรายละเอียดของลำน้ำให้ถูกต้องชัดเจน บอกทิศทางน้ำไหล บอกมุม Skew ให้ถูกต้อง สำรวจรายละเอียดของลำน้ำที่ผ่านแนวทางออกไปอย่างถูกต้องภายในบริเวณที่ห่างแนวสำรวจออกไปทางต้นน้ำ 100 ม. และทางท้ายน้ำ 50 ม. โดยเฉพาะแนวริมตลิ่งลำน้ำ ถ้าจำเป็นให้วางแนว

เพิ่มเติมออกไปจากแนวศูนย์กลางจนเพียงพอสำหรับเก็บรายละเอียด สำหรับงานเขาควรสำรวจระดับภูมิประเทศเพื่อเขียนเส้นชั้นความสูง (Contour line) ประกอบเพื่อประโยชน์ในการพิจารณาการกัดเซาะตลิ่ง การออกแบบเปลี่ยนแนวทางน้ำและมุม Skew ควรระมัดระวังในการสเกตภาพแนวลำน้ำเพื่อกันความผิดพลาดเกี่ยวกับมุม Skew กลับทางเนื่องจากจำผิด ซึ่งมักเกิดขึ้นบ่อย ๆ ทำให้เกิดเสียหายในการออกแบบได้

### 3.1.5 หมุดหลักฐานทางดิ่ง (B.M.)

การระบุ B.M. ควรระบุตำแหน่งให้ชัดเจนว่าอยู่ตรงไหน อยู่ที่ Sta.ใด ทำด้วยอะไร ซ้ายหรือขวาทาง ค่าระดับต้องใช้ค่าจริง M.S.L. หรือสัมพันธ์ต่อเนื่องกับค่าระดับของสายทางนั้นๆ ถ้ามีการสำรวจไว้แล้ว ถ้าจำเป็นจึงต้องใช้ค่าสมมุติ และให้ระบุที่มาด้วยว่าเป็นค่าจากไหน

B.M. ควรทำ 2 ตัว ในบริเวณใกล้เคียงกันคนละฝั่งของลำน้ำ เพื่อความสามารถในการตรวจสอบค่าระดับที่ถูกต้องได้เมื่อก่อสร้าง หรือในกรณีที่ทำการสำรวจไว้เป็นเวลานาน ก่อนการก่อสร้างจะสามารถถ่ายค่าระดับจาก B.M. ตัวใดตัวหนึ่งที่ยังเหลืออยู่ได้

### 3.1.6 รายละเอียดอาคารบริเวณคอสะพานทั้งสองข้าง

การเก็บรายละเอียดบ้านเรือนโครงสร้างอื่นๆ ต้องระบุตำแหน่ง ขนาด ชนิดว่าเป็นตึกหรือไม้ กี่ชั้น มีกี่ห้อง รวมทั้งเขตทางบริเวณคอสะพานทั้งสองข้างมาด้วยเพื่อประกอบการพิจารณาในการออกแบบ (ในบางครั้ง การย้ายตำแหน่งสะพานไปสร้างที่อื่นใกล้เคียงกันจะสิ้นเปลืองน้อยกว่าหรือเหมาะสมกว่าถ้าในบริเวณแนวสะพานมีการสร้างอาคาร บ้านเรือนหนาแน่น)

### 3.1.7 ระดับน้ำ

- ระดับน้ำสูงสุด เป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบโครงสร้างสะพานเพราะจะควบคุมความยาวของสะพานและกำหนดขนาดของช่องลอดเกี่ยวกับการสัญจรทางน้ำ หากข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำสูงสุดคลาดเคลื่อนไป เช่น บอกสูงกว่าที่เป็นจริง สะพานจำเป็นต้องยกสูงขึ้น เพื่อให้มีช่องลอดที่เหมาะสม สะพานจะยาวขึ้นตามซึ่งก็หมายความว่าจะมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสะพานข้ามลำน้ำแห่งนี้มากขึ้น

สำหรับที่ราบทั่วๆไปความลาด (Slope) ของดินสองข้างคลองจะค่อย ๆ ลาดขึ้น หากเสถียรภาพของดินไม่ดี ความสูงของดินถมคอสะพานมีขีดความสูงจำกัด (Critical height) ถ้าสูงมากเกินกำหนดจะทำให้คันทางเสียหาย ดังนั้นสะพานจะต้องต่อความยาวออกไปอีกมากทั้งสองข้างจนกว่าดินถมคอสะพานจะไม่สูงเกินกำหนดนี้

ถ้าค่าระดับน้ำสูงสุดต่ำไปจากเป็นจริง เมื่อก่อสร้างสะพานเสร็จแล้วน้ำอาจท่วม ช่องลอดไม่พอ เกิดการติดขัดในการสัญจรทางน้ำ และถ้ามีสิ่งที่ลอยมาตามน้ำ เช่น ขอนไม้หรือสวะมาติดทำความเสียหายให้สะพานพังได้ ดังนั้นในการสำรวจหาระดับน้ำสูงสุดจะต้องทำโดยความรอบคอบ หา

ข้อเท็จจริงให้แน่นอน ถ้าเป็นการได้โดยการสอบถามต้องตรวจสอบหลาย ๆ ทางเพื่อความแน่นอนและถูกต้อง โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้รับจากแขวงการทางฯ หรือหมวดการทางฯ ที่ควบคุมเส้นทางสายนั้น

- ระดับน้ำต่ำสุด เป็นสิ่งที่จะกำหนดการก่อสร้างฐานรากสะพาน ว่าจะต้องสร้างในน้ำหรือไม่

**3.1.8 การจราจรทางน้ำ**

การให้รายละเอียดต้องระบุให้ชัดเจนถึงประเภทของการสัญจรทางน้ำว่าเป็นแบบใด เป็นเรือชนิดใด ขนาดใด มีจำนวนกี่เที่ยวต่อวัน การให้รายละเอียดเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบ ***อย่าเดา*** เพราะการกำหนดความสูงของช่องลอดตามข้อมูลที่ได้รับจะควบคุมความยาวของสะพานในการออกแบบ ถ้าบอกเรือซึ่งมีความสูงมาก ทั้งที่ข้อเท็จจริงไม่มีอันจะทำให้ความยาวของสะพานยาวมากเกินไปจนทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากโดยไม่จำเป็น เช่น กำหนดช่องลอดให้สูงขึ้น 1 เมตร อาจจะทำให้ความยาวสะพานเพิ่มขึ้นถึง 20 เมตร ซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์

**3.1.9 ระดับดินเดิม**

การสำรวจต้องทำรายละเอียด Profile ของท้องคลองและดินเดิมทั้งสองฝั่ง ถ้าทำการสำรวจรายละเอียดเฉพาะร่องน้ำ เพื่อทำแบบ อ.1-02 สำหรับออกแบบสะพานหรือ Box Culvert ต้องทำ Profile ออกไปอย่างน้อย 300 ม.สำหรับทางราบ และ 500 ม. สำหรับทางเขาเช่นเดียวกับแนวศูนย์กลางเพราะเมื่อนำรายละเอียดต่าง ๆ มาออกแบบแล้ว มีบ่อยครั้งที่จำเป็นต้องออกแบบให้สะพานยาวกว่าที่จำเป็น จึงต้องทราบ Profile ของท้องคลอง ค่าระดับหลังทางเดิม รวมทั้งค่าระดับดินเดิมเพื่อนำมากำหนดความยาวของสะพานได้ถูกต้องและเหมาะสม

**3.1.10 รายละเอียดของสะพานและถนนเดิม**

ในกรณีที่สำรวจเพื่อก่อสร้างสะพานตามแนวถนนและสะพานเดิม ต้องกำหนดตำแหน่งของตอม่อสะพานเดิมให้ละเอียดส่งข้อมูลนั้นเข้ามาด้วย เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบตอม่อสะพานใหม่โดยไม่เป็นอุปสรรคกับตอม่อเดิมหรือออกแบบแก้ไขให้เหมาะสมกับของเดิมได้

**3.1.11 ลักษณะดินท้องคลอง**

ระบุชนิดของดินให้ชัดเจน ว่าเป็นดินหรือหินชนิดใด สีและลักษณะดิน ว่าเป็นดินหรือหินหรือวัสดุชนิดใดที่ท้องคลองและบริเวณใกล้เคียง ในแนวทางถนนและสะพานนั้น

**3.1.12 เขตชลประทาน**

ถ้าปรากฏมีโครงการชลประทานซึ่งควบคุมการไหลของกระแสน้ำในลำน้ำที่ทำการสำรวจนั้น หรือบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะเป็นผลกระทบกระเทือนต่อกระแสน้ำ ให้แจ้งรายละเอียดมาด้วยทั้งทางต้นน้ำ ท้ายน้ำ ควบคุมระดับน้ำอย่างไร จะดำเนินการเมื่อใด หรือให้ขอข้อมูลจากกรมชลประทานเพิ่มเติมด้วย

**3.1.13 การเขียนแผนที่**

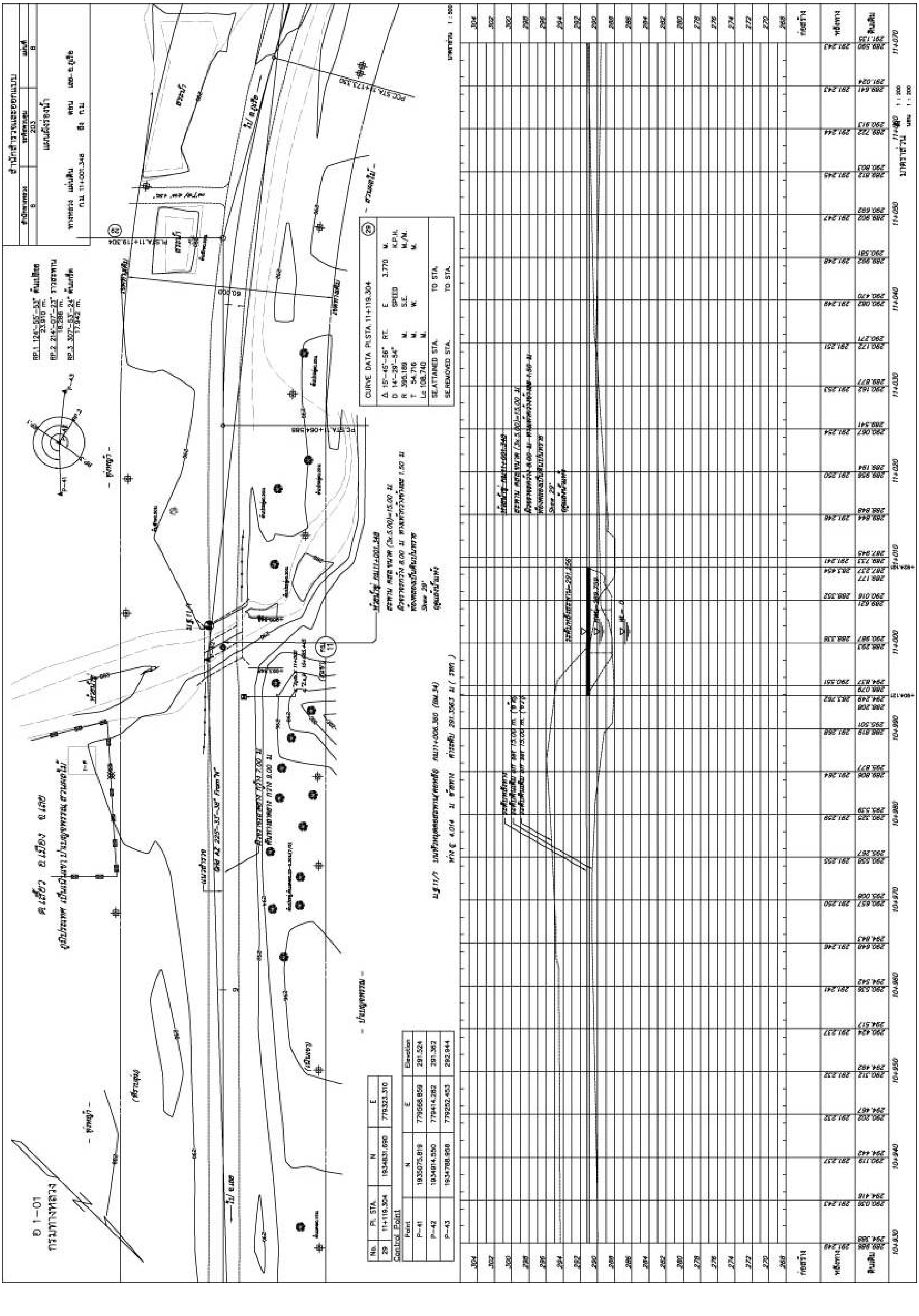
ในกรณีที่ร่องน้ำมีความกว้างเกินกว่า 20 ม. ให้จัดทำแบบขยายร่องน้ำเพื่อใช้ในการออกแบบ สะพาน หรือ Box Culvert

## 3.2. การสำรวจรายละเอียดช่องน้ำ (อ.1-01) และ (อ.1-02)

การสำรวจรายละเอียด ช่องน้ำ เพื่อนำไปออกแบบท่อหรือสะพาน มีวิธีการปฏิบัติ ดังต่อไปนี้

- สำรวจหาข้อมูลต่าง ๆ ให้ครบถ้วน พยายามให้ถูกต้องและใกล้เคียงที่สุดเท่าที่จะทำได้
- การทำ Profile ต้องซอยแบ่งหาค่าระดับในช่องน้ำให้ละเอียดขึ้น และใกล้คอสะพานควรสำรวจรายละเอียดเป็นบริเวณห่างจากแนวมากหน่อย และ บอกทิศทางน้ำไหลด้วย
- ถ้าภูมิประเทศเป็นภูเขา ต้องสำรวจรูปร่างของห้วยว่าคดโค้งอย่างไร และหาค่าระดับของห้วยออกไปจากแนวทางให้พอที่จะเขียนเส้นชั้นความสูง ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยเฉพาะด้านเหนือน้ำ
- ถ้ามีสะพานข้ามลำน้ำนั้นอยู่ใกล้เคียงต้องหาค่าระดับหลังสะพาน ชนิด ขนาด กว้าง ยาว ช่องห่างของตอม่อมา เพื่อประกอบการออกแบบด้วย
- สำรวจดูว่าบริเวณใกล้เคียง จะมีสิ่งอำไรบ้างที่จะทำให้ทางน้ำนั้นผิดปรกติไป เช่น เขื่อนทำนบ ฝาย ประตูน้ำ เป็นต้น
- ช่องน้ำทีมีสะพานคอนกรีตได้มาตรฐานแล้ว ไม่ต้องทำ อ. 1-01 และ อ. 1-02 นอกจากจะได้รับคำสั่งเป็นพิเศษ

จดรายละเอียดต่าง ๆ ที่จะต้องลงใน อ.1-02 ไว้ในสมุด เพื่อเป็นหลักฐานของลำน้ำนั้น



**คำอธิบาย**

1. ผังบริเวณจะต้องแสดงรายละเอียด ดังต่อไปนี้

เส้นชั้นความสูง (Contour) ของพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้างโดยละเอียด เส้นศูนย์กลางแนวทาง ( Center line ) พร้อมด้วยทิศทาง (Magnetic Azimuth หรือ Grid Azimuth ) รายการโค้ง ( Curve Data) ในกรณีที่ลำน้ำอยู่ในโค้ง ความกว้างของเขตทางทั้งสองข้าง มุมที่ลำน้ำเฉียงกับแนวทาง ( ถ้าไม่ได้ตั้งฉาก) และทิศทางน้ำไหล

ในการสำรวจให้จัดทำหมุด P.O.T. และหมุดพยานทั้งสองฝั่งของลำน้ำ โดยจัดทำฝั่งละ 2 ตำแหน่ง และให้แสดงไว้ในผังบริเวณด้วย เพื่อประโยชน์ในการวางแนวศูนย์กลาง เมื่อดำเนินการก่อสร้าง

ในกรณีที่ลักษณะภูมิประเทศเป็นลูกเนินหรือภูเขา ให้ทำรูปตัดลำน้ำขนานกับแนวทางอย่างน้อย 2 แนว โดยห่างจากศูนย์กลางของแนวสะพานข้างละ 15 เมตร หรือตามที่เห็นเหมาะสม

2. รูปตัดลำน้ำให้ทำตามแนวศูนย์กลางของทาง โดยแสดงระดับดินเดิม ระดับหลังทางปัจจุบัน และระดับก่อสร้างที่กำหนด ในกรณีที่มีสะพานใกล้เคียงให้ทำระดับแนวทาง (Profile)

3. ในกรณีที่ลำน้ำอยู่ใน Sag Vertical Curve หรือในกรณีที่จะพิจารณาเปลี่ยนแปลงระดับหลังสะพานและดินถมคอสะพาน ให้เขียนระดับแนวทาง ( Profile ) ให้ยาวอย่างน้อยข้างละ 2.00 เมตร

4. ให้ระบุหมายเลข ตำแหน่ง และค่าระดับของหมุดหลักฐาน (Bench Mark)

5. มาตราส่วน สำหรับรูปตัดลำน้ำ ให้ใช้มาตราส่วนตั้งและนอนอย่างเดียวกัน 1 : 100 หรือ 1 : 200 สำหรับผังบริเวณ ให้ใช้มาตราส่วน 1 : 500 หรือ 1 : 100

6. ในกรณีที่เปลี่ยนแนวทางใหม่ ให้สำรวจรูปตัดลำน้ำ และระดับหลังสะพานตรงตำแหน่งสะพานเดิมด้วย ทั้งนี้ เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาออกแบบช่องน้ำ ( ถ้ามีแผนที่และรูปตัดของแนวทางเดิมก็ให้ส่งมาด้วย )

**สำนักสำรวจและออกแบบ**

**แบบสำรวจข้อมูลอาคารระบายน้ำ**

ก.ม. 0,000+000.000 ลำน้ำ คลอง ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 0000

ตอน 0 ~ 0 สำนักทางหลวงที่ 15 แขวงการทาง นครศรีธรรมราช

ค่าพิกัด UTM. พื้นหลักฐาน Indian 1975 Zone 48 N = 0,000,000.000 E = 000,000.000

1. ลักษณะดินฐานรากริมฝั่ง ดินปนทราย ท้องน้ำ ดินเหนียวปนทราย
2. เรือประจำ กว้าง - ม. ยาว - ม. สูง - ม. จำนวน - เที่ยว/วัน
3. เรือพิเศษ กว้าง - ม. ยาว - ม. สูง - ม. จำนวน - เที่ยว/
4. แพ ซุง กว้าง - ม. ยาว - ม.
5. ขอนไม้และสิ่งลอยน้ำอื่นๆ ขนาด - ม. มีหนาแน่น ☑ มีบ้าง ☑ ไม่มี ☑
6. ความเร็วกระแสน้ำ - ม./นาที
7. ระดับน้ำสูงสุด - ม. ระดับน้ำต่ำสุด - ม. ระดับน้ำขณะสำรวจ - ม.
   ระดับน้ำท่วมผิดปกติ - ม.
8. น้ำจืด ☑ น้ำเค็ม ☑ น้ำกร่อย ☑ ไหลขึ้นลงประจำวัน ☑ ไม่ขึ้นลงประจำวัน ☑
9. น้ำเซาะตลิ่งด้านซ้าย ☑ น้ำเซาะตลิ่งด้านขวา ☑
10. อาคารระบายน้ำเดิมชนิด - ขนาด -
11. ผิวทางชนิด ลาดยาง ระดับหลัง ทาง/สะพาน - ม.
12. ลำน้ำตั้งฉากกับแนวทาง ☑ ลำน้ำตั้งเฉียงกับแนวทาง (Skew) - องศา ☑
13. มีที่ว่างสำหรับทำทางเบี่ยง ☑ มีที่ว่างจำกัด ☑ ไม่มีที่ว่าง ☑
14. ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปเป็น ที่ลุ่ม ☑ ที่ราบ ☑ ลูกเนิน ☑ ภูเขา ☑

ผู้สำรวจ

..........................................................

(                                        )

......... / ............................ / ..............

**คำอธิบาย**

1. ข้อ 1. ลักษณะดินฐานราก ให้บอกลักษณะของดินริมฝั่งและท้องน้ำ หากทำได้ให้ขุดหลุมตรวจลักษณะของดินให้ลึกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ให้ชี้แจงโดยละเอียด ในกรณีซึ่งท้องน้ำเป็นหินให้ระบุให้ชัดเจนว่าเป็นหินพืดหรือหินก้อน
2. ข้อ 2. เรือประจำ หมายถึง ยานพาหนะทางน้ำขนาดใหญ่ที่สุดสัญจรเป็นประจำ
3. ข้อ 3. เรือพิเศษ หมายถึง ยานพาหนะทางน้ำที่มีขนาดใหญ่พิเศษ เช่น เรือขุดของกรมชลประทาน ให้แจ้งจำนวนเที่ยวต่อปีหรือเดือน
4. ข้อ 5. ขอนไม้ให้บอกขนาดกว้าง ยาว และสูงด้วย สิ่งลอยน้ำอื่น ๆ หมายถึง ผักตบชวา เป็นต้น
5. ข้อ 9. น้ำเซาะตลิ่งด้านซ้ายหรือด้านขวา ให้ถือการหันหน้าไปตามกระแสน้ำลงเป็นเกณฑ์ในการบอกทิศทาง
6. ข้อ 11. ชนิดของผิวทาง ให้บอกลักษณะผิวทางโดยทั่วไปช่วงใกล้สะพาน เป็นชนิดคอนกรีต แอลฟัลต์คอนกรีต , Penetration Macadam, Surface treatment หรือ Soil Aggregate
7. ข้อ 12. ลำน้ำเฉียงกับแนวทาง คือ มุมซึ่งลำน้ำทำกับเส้นตั้งฉากกับแนวทางให้กาเครื่องหมาย ( ✓ ) ลงในช่องที่ต้องการ

**การสำรวจและตรวจสอบข้อมูลสะพานที่ กม. ..........................................**

**แบบฟอร์มข้อมูลการบำรุงรักษาอาคารระบายน้ำ**

สำนักทางหลวงที่ ................ แขวงการทาง ..................................... ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข ..............

ตอน ........................................................................ ลำน้ำ ........................................................................

วัน ........... เดือน .............................. ปี .............. ที่กรอกข้อมูล ชื่อผู้กรอกข้อมูล ....................................

1. ชื่อของสะพาน / สิ่งที่สะพานข้าม ........................................ บริเวณที่สะพาน

   ☐ ห้วย ☐ คลอง ☐ แม่น้ำ ☐ ทางรถไฟ ☐ อื่นๆ (ระบุ) ..........................

2. ชนิดของผิวสะพาน ☐ Asphalt ☐ Concrete ☐ อื่นๆ (ระบุ) ..................................................

3. ชนิดของสะพาน ☐ Slab type ☐ Plank Girder ☐ Box-Girder ☐ I-Girder

   ☐ Multe-Beam ☐ RC T-Girder ☐ ชนิดผสม

4. ความยาวของตัวสะพาน ................................................................................ รวม ............................ ม.

5. ความกว้างของผิวทางสะพาน ......................... ม. Skew ............° ( รวมราวสะพานข้างละ 0.50 ม. แล้ว )

   ขอบ / ทางเท้า ด้านซ้าย ............. ม. ด้วยขวา ............. ม. รวม ................. ม.

6. ชนิดของราวสะพาน ☐ ราว คสล. Type 1 ☐ ราว คสล. และท่อเหล็ก Type 2 ☐ ราวทางเท้า คสล. Type 3

   ☐ ราวทางเท้า คสล. Type 4 ☐ ราวทางเท้าและราวสะพาน Type 5 ☐ ราวสามชั้นคาน คสล.

   ☐ ราวเดี่ยวคาน คสล. ☐ ราวเดี่ยวคาน คสล. แบบเตี้ย ☐ ราวเดียวคาน คสล. แบบเก่า

   ☐ อื่น ๆ (ระบุ) ..................................................

7. ชนิดของตอม่อ ☐ Pile-Bent ☐ Pier-Wall ☐ อื่น ๆ (ระบุ) ..................................................

8. Slope Protection ☐ Rip-Rap ☐ Concrete ☐ Paving Box ☐ ไม่มี ☐ อื่นๆ (ระบุ) ......................

9. ข้อมูลการจราจร จำนวนช่องจราจร .................. ปริมาณจราจร ..................... (คัน / วัน)

   จำนวนรถบรรทุกมากกว่า 6 ล้อ ................. คัน / วัน คิดเป็น ................% ปีที่สำรวจจราจร......................

10. อายุสะพาน ปี พ.ศ. ที่สร้าง ...................... อายุ .............. ปี

11. สะพานมีการบูรณะปรับปรุงหรือไม่ ☐ ไม่มี ☐ มี ปี พ.ศ. ที่ปรับปรุง ......................

    ลักษณะการบูรณะปรับปรุง ☐ ต่อความยาวของสะพาน ☐ ขยายความกว้างของสะพาน

    ☐ ยกระดับสะพาน ☐ เสริมความแข็งแรงสะพาน ☐ อื่นๆ (ระบุ) ...........................................

12. ระดับน้ำท่วมพิเศษ ................. ม. (จากหลังสะพาน) ปี พ.ศ. .........................

    ขณะน้ำท่วมมีขอนไม้และสิ่งลอยน้ำ ☐ มี ☐ ไม่มี

13. สภาพของลำน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงในรัศมี 300 ม. จากเขตทาง ☐ ไม่มี ☐ มี ปี พ.ศ. ..................

14. คำแนะนำอื่น ๆ

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

..........................................................................................................................................................

### 3.3. งานสำรวจน้ำใต้ดิน (Groundwater Investigation)

งานสำรวจน้ำใต้ดินเป็นงานสำคัญอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์และออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดินในงานทางหลวง งานสำรวจน้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ งานสำรวจเบื้องต้น (Preliminary Investigation) และงานสำรวจภาคสนาม (Field Investigation)

งานสำรวจเบื้องต้นเป็นการตรวจสอบแหล่งที่มาของน้ำใต้ดินเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาถึงความเหมาะสมและความจำเป็นของระบบระบายน้ำใต้ดิน โดยมีประเด็นสำคัญในการตรวจสอบดังต่อไปนี้

- พบความเสียหายหรือการพิบัติของโครงสร้างถนนและคันทางหรือไม่
- มีคราบน้ำใต้ดินหรือคราบฝุ่นจากการอัดทะลักตามรอยแตก (Cracks) และ/หรือรอยต่อ (Joints) บนผิวทางหรือไม่
- มีการเสียรูปของผิวทางหรือไม่
- มีร่องน้ำไหลผ่านเชิงลาดหรือบนภูเขาหรือไม่
- มีต้นวัชพืชขึ้นตามรางระบายน้ำหรือเชิงลาดหรือไม่
- พบการไหลซึมของน้ำใต้ดินจากลาดตัด (Back Slope) หรือลาดธรรมชาติหรือไม่
- พบรอยการพิบัติ แนวการเคลื่อนตัว หรือการเอียงตัวของต้นไม้และเสาไฟฟ้าหรือไม่

หากการตรวจสอบพบว่า มีข้อใดข้อหนึ่งดังที่ได้ระบุไว้ข้างต้น ก็ควรปรึกษาวิศวกรปฐพีหรือผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีเทคนิคเพื่อทำการวิเคราะห์และประเมินสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไป อนึ่งแหล่งข้อมูลสภาพการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ดีที่สุดสามารถหาได้จากการสอบถามกับผู้ที่อยู่อาศัยหรือมีความใกล้ชิดกับพื้นที่นั้นมาเป็นเวลานาน อาทิ หมวดการทาง ประชาชนที่พักอาศัยใกล้เคียง เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบระบายน้ำที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความละเอียดและความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลการสำรวจภาคสนาม งานสำรวจภาคสนามโดยทั่วไปจะดำเนินการโดยวิศวกรธรณีเทคนิค ซึ่งประกอบด้วยงานเจาะสำรวจชั้นใต้ดิน (Soil Boring) และ/หรือ การขุดเปิดบ่อทดสอบ (Test Pit) เพื่อตรวจวัดระดับน้ำใต้ดิน ความแปรปรวนของระดับน้ำใต้ดิน ชั้นกักเก็บน้ำหรือชั้นทึบน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้การตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินสามารถทำได้ทันทีขณะเจาะ ตลอดจนการติดตามตรวจวัดภายหลังการเจาะหลุม (Boring) หรือขุดบ่อทดสอบ (Test Pit) หลุมเจาะควรมีความลึกไม่น้อยกว่า 20 เมตร หรือจนถึงระดับชั้นวัสดุทึบน้ำ เจาะสำรวจทุกระยะ 500 เมตร หรือตามความเหมาะสมของลักษณะทางภูมิศาสตร์และชลศาสตร์ บ่อทดสอบควรมีความลึกประมาณ 1.0-1.5 เมตร โดยทั่วไปจะขุดตรงบริเวณ Toe Slope ทิ้งไว้ และสังเกตว่ามีน้ำใต้ดินซึมออกมาหรือไม่

การสำรวจภาคสนามควรดำเนินการในช่วงฤดูฝน หรือช่วงที่มีการใช้น้ำในกรณีที่พบน้ำใต้ดินไหลซึมจากอ่างเก็บน้ำ บ่อเก็บน้ำ หรือลำคลอง เพื่อให้การตรวจสอบน้ำใต้ดินสอดคล้องกับสภาพจริงที่เกิดขึ้น และมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด หากพบว่าระดับน้ำใต้ดินมีความแปรปรวน อาจต้องติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ (Observation หรือ Monitoring Well) เพื่อติดตามระดับน้ำใต้ดินอย่างต่อเนื่องจนได้ข้อมูลอย่างเพียงพอ ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม มีดังต่อไปนี้

1. สภาพชั้นใต้ดิน (Soil Condition) และน้ำใต้ดิน (Groundwater) ได้จากการเจาะสำรวจชั้นใต้ดินในพื้นที่ที่จะทำการออกแบบก่อสร้างระบบระบายน้ำใต้ดิน อาทิ ตำแหน่งและระดับความลึกของน้ำใต้ดินถาวร (Permanent Groundwater) และน้ำใต้ดินชั่วคราว (Perched Groundwater)
2. ภาพถ่ายพื้นที่ก่อสร้าง (Photogrammetry) แสดงลักษณะทางเรขาคณิต ขอบเขต สภาพผิวดิน สภาพแวดล้อมข้างเคียง อาทิ ต้นไม้ ความลาดชัน การกัดเซาะ การพังทลาย พื้นที่การเกษตร การระบายน้ำ หุบเขา โกร่งเขา เป็นต้น
3. คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ข้อมูลคุณสมบัติของดินในพื้นที่สำรวจได้จากการทดสอบภาคสนามและห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างข้อมูลดินที่จำเป็นในการออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดิน ได้แก่ ขนาดคละ (Grain Size Distribution) พิกัด Atterberg ความแน่น (Density) ปริมาณความชื้น (Natural Water Content) สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Coefficient of Permeability) เป็นต้น

# บทที่ 4
# การรออกแบบระบบระบายน้ำในงานทาง

รายละเอียดในบทนี้เป็นการนำทฤษฎีและหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 และ บทที่ 3 มาประยุกต์ ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทาง ตามลำดับขั้นตอนการออกแบบ พร้อมตัวอย่างประกอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจและเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารระบายน้ำต่อไป

การออกแบบสายทางในแต่ละสายทาง จำเป็นต้องออกแบบอาคารระบายน้ำสำหรับช่วยระบายน้ำจากผิวจราจรและในพื้นที่โครงการเพื่อไม่ให้เกิดน้ำท่วมสายทางหรือท่วมพื้นที่โครงการจนได้รับความเสียหายได้ อาคารระบายน้ำในงานทางแบ่งออกตามการไหลของน้ำผ่านสายทางได้ 2 ประเภท คือ

1. อาคารระบายน้ำตามแนวตั้งฉากกับแนวของสายทาง (ตามแนวขวาง) ตัวอย่างอาคารระบายน้ำ เช่น ท่อกลม, ท่อเหลี่ยม, สะพาน เป็นต้น

2. อาคารระบายน้ำตามแนวขนานกับแนวของสายทาง (ตามแนวยาว) ตัวอย่างอาคารระบายน้ำ เช่น รางตื้น, ร่องระบายน้ำด้านข้าง, U-DITCH, ท่อระบายน้ำและบ่อพัก เป็นต้น

### 4.1 หลักเกณฑ์และข้อดี ข้อเสีย การเลือกใช้อาคารระบายน้ำ

#### 4.1.1 ระบบระบายน้ำตามแนวขวาง

- การเลือกใช้อาคารระบายน้ำตามแนวขวางแต่ละประเภทมีดังนี้

**ตารางที่ 4.1-1** การเลือกใช้อาคารระบายน้ำตามแนวขวางแต่ละประเภท

| ชนิดอาคารระบายน้ำ | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| 1. ท่อกลม ค.ส.ล. | ขนาดท่อมีตั้งแต่ 0.30 - 1.50 เมตร เหมาะสำหรับทางน้ำขนาดเล็ก ๆ ฤดูแล้งน้ำแห้งและไม่มีสิ่งลอยน้ำ อาจพิจารณาจากปริมาณน้ำออกแบบมีจำนวน 0 – 5 ลบ.ม./วินาที ก่อสร้างได้ง่ายและมีขั้นตอนการก่อสร้างไม่ยุ่งยาก รวมทั้งมีราคาค่าก่อสร้างต่ำที่สุด | เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมีขนาดไม่ใหญ่มากนักจึงมีศักยภาพในการระบายน้ำต่ำสุด และไม่สามารถให้การสัญจรทางน้ำผ่านได้ |
| 2. ท่อเหลี่ยม ค.ส.ล. | ขนาดท่อมีตั้งแต่ 0.60 x 0.60 เมตร ไปจนถึงขนาด 3.60 x 3.60 เมตร ลักษณะการเลือกใช้งานคล้ายกับท่อกลม แต่เหมาะกับทางน้ำที่ใหญ่เกินกว่าที่จะใช้ท่อกลมได้และไม่มีสิ่งลอยน้ำหนาแน่นหรือมีขนาดใหญ่เกินไป อาจพิจารณาจากปริมาณน้ำออกแบบจำนวน 5 – 30 ลบ.ม./วินาที | ไม่สามารถให้การสัญจรทางน้ำผ่านได้ เช่น เรือ หรือสิ่งลอยน้ำได้แก่ ขอนไม้ แพ ไหลผ่าน |
| 3. สะพาน | ใช้ในลำน้ำที่มีขนาดใหญ่มีน้ำไหลตลอดปีมีการสัญจรทางน้ำมีสิ่งลอยน้ำขนาดใหญ่อาจพิจารณาจากปริมาณน้ำออกแบบมากกว่า 30 ลบ.ม./วินาที | ราคาค่าก่อสร้างสูง |

### 4.1.2 ระบบระบายน้ำตามแนวขนาน

- การเลือกใช้อาคารระบายน้ำตามแนวขนานแต่ละประเภทมีดังนี้

**ตารางที่ 4.1-2** การเลือกใช้อาคารระบายน้ำตามแนวขนานแต่ละประเภท

| ชนิดอาคารระบายน้ำ | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| 1. รางตื้น ค.ส.ล. พร้อมฝังท่อกลมส่วนใต้ | เหมาะสำหรับย่านชุมชนที่เขตทางแคบมาก มีการเข้าออกสองข้างทางมาก โดยไม่สามารถควบคุมการเข้าออกเป็นจุดๆได้ ใช้สำหรับภูมิประเทศเป็นที่ราบเท่านั้น | อันตรายสำหรับการสัญจรของรถมอเตอร์ไซด์หรือจักรยาน และไม่เหมาะกับบริเวณที่มีปริมาณการจราจรรถมาก และความเร็วสูง |
| 2. รางระบายน้ำ ค.ส.ล. แบบฝาปิดรถทับได้ | เหมาะสำหรับย่านชุมชนที่เขตทางแคบมาก โดยไม่สามารถควบคุมการเข้าออกเป็นจุดๆได้ ใช้ได้ในทุกลักษณะภูมิประเทศ | ราคาค่าก่อสร้างสูง |
| 3. รางระบายน้ำ ค.ส.ล. แบบฝาปิดรถทับไม่ได้ | เหมาะสำหรับบริเวณหน้าอาคารที่ไม่มีรถเข้าออกหรือต่างระดับกับถนนสายหลัก และบริเวณหน้าบ้านพักอาศัยโดยสามารถจัดเป็นช่องจอดรถได้ | เสียพื้นที่การจราจรเนื่องจากรถไม่สามารถผ่านได้ |
| 4. รางเปิด | เหมาะกับงานปรับปรุงในขั้นต้น สามารถเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมได้ง่าย มีเขตทางกว้าง ราคาถูก | ไม่สะดวกต่อการเข้าออกข้างทาง |
| 5. รางระบายน้ำ ค.ส.ล. แบบ Curb ในตัว ฝาปิดอยู่ในทางเท้า | ใช้ในย่านชุมชน หรือที่ต้องการทางเท้าแต่มีเขตทางแคบ | ราคาค่าก่อสร้างสูง |

| | | |
|---|---|---|
| 6. ท่อกลมระบายน้ำ | ใช้ในกรณีเป็นย่านชุมชนขนาดใหญ่ ต้องก่อสร้างพร้อมบ่อพักทุกระยะที่กำหนดเพื่อใช้ระบายน้ำ พร้อม CURB & GUTTER ระบายน้ำได้มาก และก่อสร้างได้เร็ว | เสียพื้นที่มากทั้งด้านกว้างและด้านลึก การทำความสะอาดทำได้ลำบาก |
| 7. ท่อเหลี่ยมระบายน้ำ | ใช้ในกรณีเป็นย่านชุมชนขนาดใหญ่ มีขนาดหลากหลายกว่าแบบท่อกลม ทำให้ใช้งานได้สะดวกมากกว่า | เสียพื้นที่มากทั้งด้านกว้างและด้านลึก การทำความสะอาดทำได้ลำบาก |
| 8. ระบบระบายน้ำในเกาะกลางในช่วงยกโค้งราบ | ช่วยระบายน้ำในบริเวณเกาะกลางแบบเกาะยกสูง โดยทั่วไปนิยมฝังท่อกลมใต้พื้นที่เป็นเกาะกลางแล้วต่อท่อระบายน้ำทิ้งอออกทางด้านข้าง | ราคาค่าก่อสร้างสูง |

## 4.2 ขั้นตอนการออกแบบอาคารระบายน้ำ

### 4.2.1 ระบบระบายน้ำตามแนวขวาง

มีขั้นตอนการออกแบบอาคารระบายน้ำโดยสรุปดังนี้

1) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลรายละเอียดต่างๆในพื้นที่ที่ออกแบบ เช่น ขนาดของทางน้ำเดิม ข้อมูลทางอุทกวิทยา ข้อมูลทางธรณีวิทยา เป็นต้น

2) หาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าหาถนน โดยมีสูตรที่ใช้คำนวณดังนี้

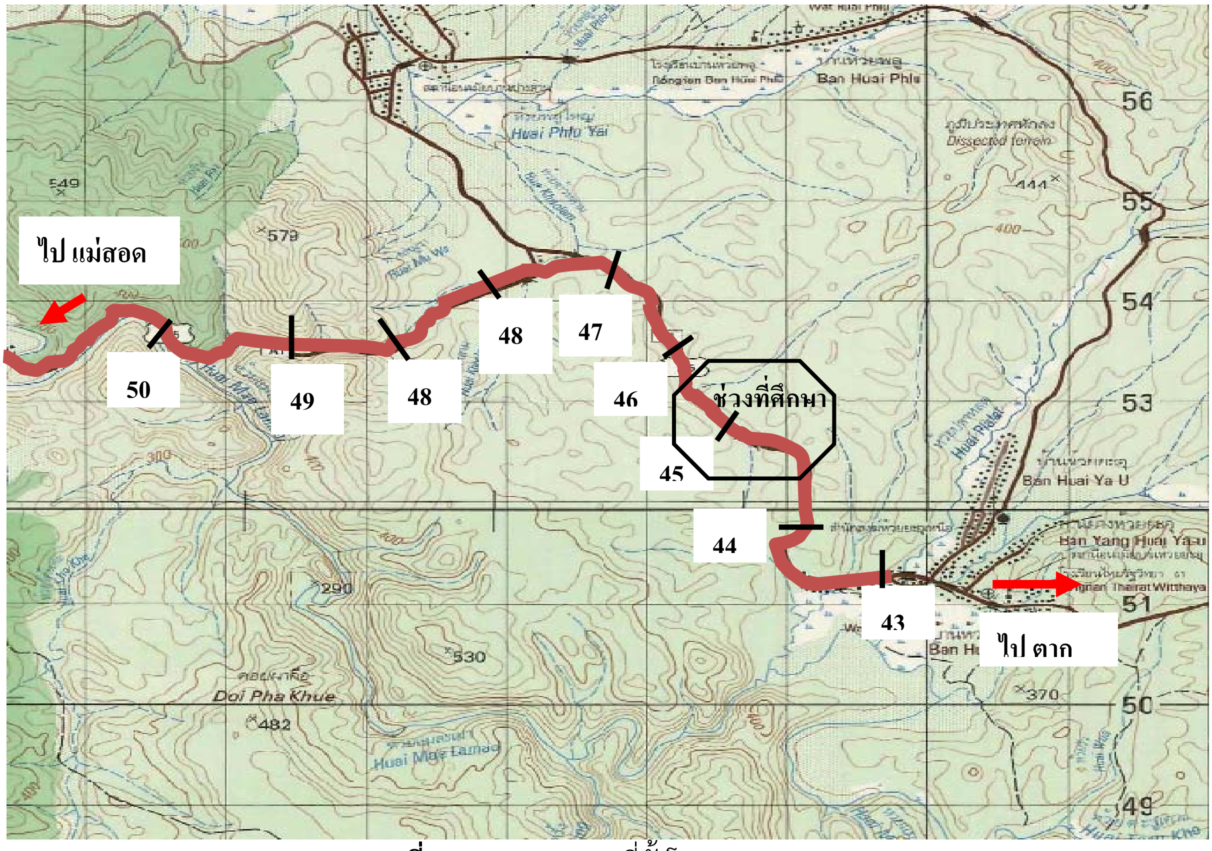
- ในกรณีที่แบ่งพื้นที่รับน้ำไม่เกิน 25 ตร.กม. ใช้สูตร Rational Method
- ในกรณีที่แบ่งพื้นที่รับน้ำเกิน 25 ตร.กม. ถึง 1,000 ตร.กม. ใช้สูตร Snyder’s Equation

3) ออกแบบประเภทและกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ จากปริมาณน้ำที่ได้

4) คำนวณตรวจสอบขนาดช่องเปิดของอาคารระบายน้ำที่กำหนดไว้เพียงพอหรือไม่

5) ออกแบบทางชลศาสตร์ (Hydraulics) ของท่อกำหนดไว้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถและความเหมาะสมในการไหลของน้ำผ่านท่อ

**<u>ตัวอย่างที่ 1</u>** การคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเข้าหาถนน เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำ โครงการก่อสร้างทางหลวงขนาด 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก – อ.แม่สอด ตอนที่ 4 ดังแสดงตามแผนที่ด้านล่าง โดยยกตัวอย่างการออกแบบอาคารระบายน้ำช่วง กม.44+650.000 – กม. 45+900.000




**รูปที่ 4.2-1** แสดงแผนที่ตั้งโครงการ

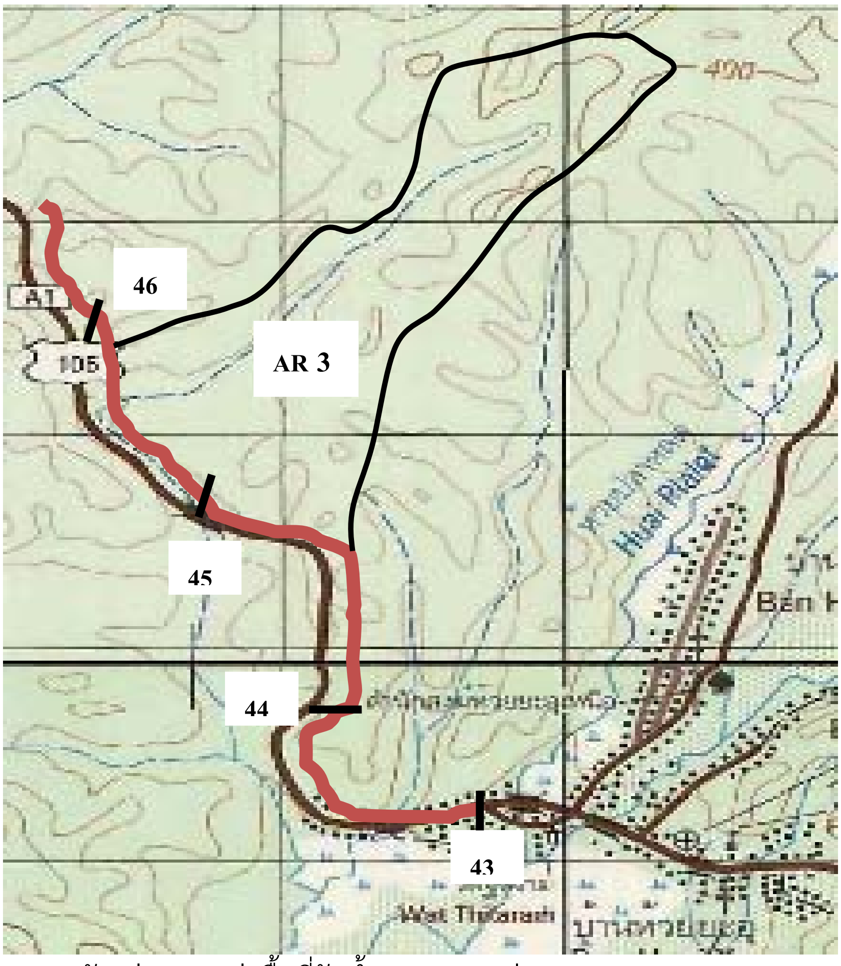
**ขั้นตอนการคำนวณออกแบบอาคารระบายน้ำ**

**1. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลรายละเอียดต่างๆในพื้นที่ที่ออกแบบ และ คำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าหาถนน เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ**

**1.1 แบ่งขอบเขตเพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำ**

โดยพิจารณาแนวทางของถนนที่จะออกแบบตามข้อมูลการสำรวจ เปรียบเทียบแนวทางตามที่ปรากฏอยู่ในแผนที่ 1:50,000 ตรวจสอบจุดที่แนวทางตัดกับลำน้ำตามแบบแผนที่แนวทางและระดับจากนั้นแบ่งพื้นที่รับน้ำโดยพิจารณาจากเส้นชั้นความสูง (Contour) ให้แทนพื้นที่รับน้ำฝนด้วยสัญลักษณ์ AR สำหรับพื้นที่ด้านขวาทาง และ AL สำหรับพื้นที่ด้านซ้ายทาง

ตัวอย่างเช่น พื้นที่รับน้ำฝน AR3 (ตามรูปด้านล่าง) คำนวณหาพื้นที่ได้ 1.521 ตร.กม.




**รูปที่ 4.2-2** แสดงตัวอย่างการแบ่งพื้นที่รับน้ำฝน (AR3) ช่วง กม. 44+650 –กม. 45+900

## 2. การหาปริมาณการไหลของน้ำเข้าหาถนน

### 2.1. กรณีพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 25 ตร.กม.

การหาปริมาณการไหลของน้ำในพื้นที่รับน้ำฝน สามารถหาได้จากการคำนวณหาปริมาณน้ำที่มากที่สุดซึ่งไหลในช่วงพื้นที่รับน้ำนั้น ตามตัวอย่างนี้พื้นที่รับน้ำฝน AR3 มีพื้นที่น้อยกว่า 25 ตร.กม. จึงสามารถหาปริมาณการไหลของน้ำโดยใช้วิธี Rational Method

$$Q = 0.278\ CIA$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | Q | = | ปริมาณน้ำที่มากที่สุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที |
| | C | = | ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำ |
| | I | = | ความเข้มของฝน (มม./ชม.) |
| | A | = | พื้นที่รับน้ำ มีหน่วยเป็น ตร.กม. |

ความเข้มของฝน (I) สามารถอ่านได้จากกราฟ ความเข้ม – ช่วงเวลา – ความถี่ของฝน (Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curves) ได้จากผลการศึกษาของหน่วยงานราชการที่ได้มีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเข้ม - ช่วงเวลา – ความถี่ของฝน ไว้แล้ว คือ ผลการวิเคราะห์ของกรมชลประทาน จากข้อมูลฝนที่สถานี อ.เมือง จ.ตาก -คาบเวลาของฝนที่ใช้ในการคำนวณคือระยะเวลาที่สั้นที่สุดของน้ำฝนที่ตก ณ จุดไกลสุดไหลมาสมทบกันถึงบริเวณที่เป็นจุดระบายของทางหลวง ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$T_C = \left\{0.87\frac{L^3}{H}\right\}^{0.385}$$

เมื่อ L = ระยะทางจากจุดไกลสุดของพื้นที่รับน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

H = ผลต่างของระดับความสูงระหว่างจุดไกลสุดกับจุดระบายน้ำ มีหน่วยเป็นเมตร หรือหาได้

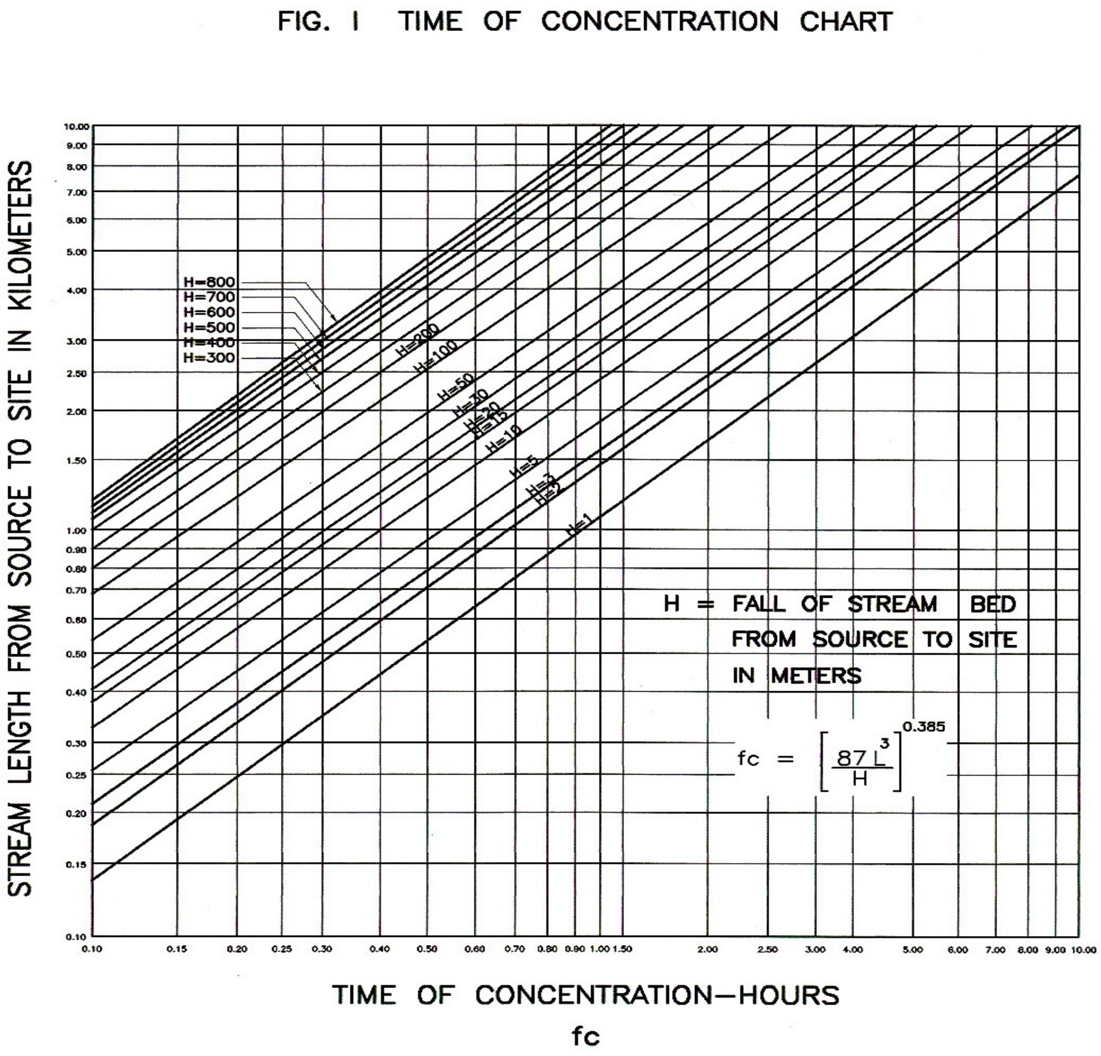
จากตัวอย่างพื้นที่รับน้ำฝน AR3 จากแผนที่ 1: 50,000 จะได้ค่า L และ H ดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| L | = | 3 | กิโลเมตร |
| H | = | 60 | เมตร |
| Tc | = | (0.87 $L^3$/H) 0.385 | |
| | = | (0.87 $(3)^3$/60) 0.385 | |
| | = | 0.70 | ชั่วโมง |

.

หรือสามารถหาค่า Tc ได้จากกราฟในรูปที่ 1โดยค่า Tc ที่ได้จากการคำนวณหรือจากกราฟในรูปที่ 1 มีหน่วยเป็นชั่วโมงซึ่งหลังจากได้ค่า Tc แล้วนำค่า Tc นี้ไปหาค่า i (ปริมาณน้ำฝนที่ตก) จาก Intensity & Frequency Curve ของจังหวัด จากกราฟรูปที่ 2

I (เมื่อใช้ รอบปีการเกิดซ้ำที่ 50 ปี) = 135 มม. / ชม




**รูปที่ 4.2-3** กราฟแสดง ค่า Time of Concentration : Tc

**รูปที่ 4.2-4** กราฟความเข้มฝน – ช่วงเวลา - รอบปีการเกิดซ้ำ

**การกำหนดกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำบนดิน C**

ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ชนิดของดินและสภาพของสิ่งปกคลุมบนพื้นดิน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 BAND ตามกราฟรูปที่ 4.2-5

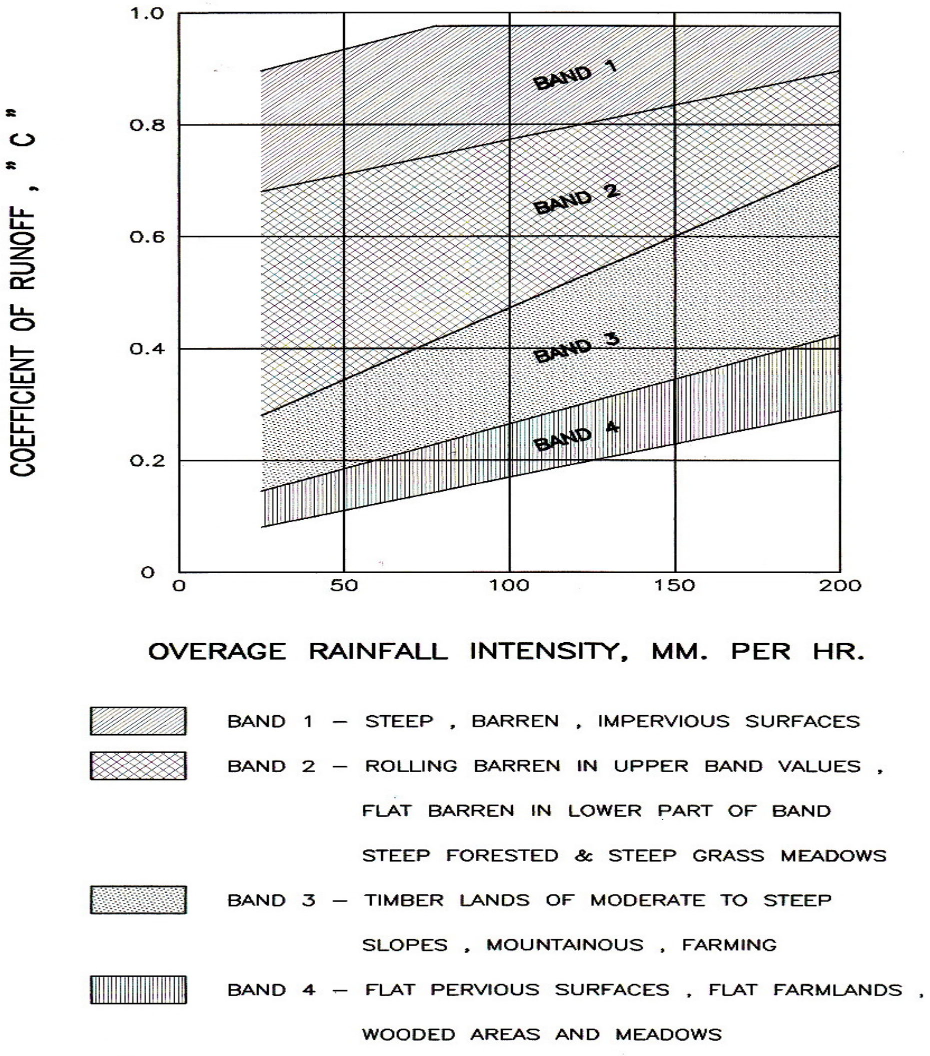



FIG. II. RUNOFF COEFFICIENT C RELATED TO RAINFALL INTENSITY AND TOPOGRAPHY

**รูปที่ 4.2-5** กราฟค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C)

การหาค่า C ทำได้โดยนำค่า ได้จากข้อที่2ที่ได้จากข้อ1.2และสภาพลักษณะภูมิประเทศ มาหาค่า C จากกราฟรูปที่ 4.2-5 สภาพลักษณะภูมิประเทศ ชนิดของดินและสภาพของสิ่งปกคลุมบนพื้นดิน อยู่ในช่วง BAND 2

ค่า I = 135 มม. / ชม.

ค่า C จากรูปที่ 4.2-5 = 0.40

จากสมการ Q = 0.278 CIA

จากข้อมูลตามขั้นตอนการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

C = 0.40 กิโลเมตร

I = 135 มม. / ชม.

A = 100 ตร. กม.

Q = 0.278 (0.40) (135) (1.521)

= 18.78 ลบ.ม. / วินาที

**ตารางที่ 4.2-1** ตัวอย่างรายการคำนวณปริมาณการไหลของน้ำ

| ลำดับที่ | พื้นที่รับน้ำ | ระยะทาง กม. | - | กม. | พื้นที่รับน้ำ (A) ตร.กม. | ความยาวทางน้ำ (L) กม. | ความต่างของระดับ ๖ (H) ม. | Tc ชม. | C | i (มม./ชม) | อัตราการไหล (Q) ลบ.ม/วินาที |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | <u>ด้านขวาทาง</u> | | | | | | | | | | |
| 1 | AR1 | 42+900.000 | - | 43+400.000 | 2.3 | 3.4 | 49 | 0.87 | 0.4 | 100 | 25.64 |
| 2 | AR2 | 43+400.000 | - | 44+250.000 | 1.0 | 0.64 | 35 | 0.14 | 0.4 | 160 | 17.79 |
| 3 | AR3 | 44+650.000 | - | 45+900.000 | 1.5 | 3 | 60 | 0.70 | 0.4 | 135 | 18.78 |
| 4 | AR4 | 45+900.000 | - | 47+550.000 | 0.4 | 0.5 | 34 | 0.11 | 0.4 | 160 | 6.51 |
| 5 | AR5 | 49+140.000 | - | 49+650.000 | 0.0 | 0.5 | 80 | 0.08 | 0.4 | 160 | 0.73 |
| 6 | AR6 | 49+650.000 | - | 49+375.000 | 0.2 | 0.7 | 190 | 0.08 | 0.4 | 160 | 3.49 |
| | <u>ด้านซ้ายทาง</u> | | | | | | | | | | |
| 7 | AL1 | 44+650.000 | - | 47+550.000 | 0.4 | 0.4 | 40 | 0.08 | 0.4 | 160 | 6.95 |
| 8 | AL2 | 47+250.000 | - | 47+875.000 | 0.1 | 0.5 | 60 | 0.09 | 0.4 | 160 | 2.37 |
| 9 | AL3 | 47+875.000 | - | 47+700.000 | 0.1 | 0.4 | 40 | 0.08 | 0.4 | 160 | 1.60 |
| 10 | AL4 | 47+700.000 | - | 47+875.000 | 2.3 | 1.7 | 60 | 0.36 | 0.4 | 150 | 37.97 |
| 11 | AL5 | 47+875.000 | - | 49+100.000 | 0.2 | 0.2 | 40 | 0.04 | 0.4 | 160 | 2.92 |

### 2.2. กรณีที่พื้นที่รับน้ำมากกว่า 25 ตร.กม.

การประเมินหาปริมาณน้ำหลากสูงสุดจากพื้นที่รับน้ำสามารถจะหาได้หลายวิธี เช่นการใช้ Unit hydrograph โดยใช้ สมการของ Snyder ในการคำนวณหา Critical rainfall duration time ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ ประมาณ 25 – 1,000 ตารางกิโลเมตร และอีกวิธีหนึ่งคือ หาปริมาณน้ำสูงสุด โดยวิธี Specific Yield of Flood โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำต่างๆ ทั่วประเทศไทยกับปริมาณน้ำท่าสูงสุดของแต่ละลุ่มน้ำ ในรอบ 50 ปี ทั้งนี้ การออกแบบจะพิจารณาระดับน้ำสูงสุดประกอบด้วยเพื่อความถูกต้อง

**<u>ตัวอย่างที่ 2</u>** การคำนวณปริมาณอัตราการไหลของน้ำ ของโครงการก่อสร้างทางหลวงขนาด 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก – อ.แม่สอด ในกรณีพื้นที่รับน้ำฝน มากกว่า 25 ตร.กม. โดยใช้วิธี สมการของ Snyder โดยสามารถคำนวณหาพื้นที่รับน้ำฝนได้ 97.9054 ตร.กม.

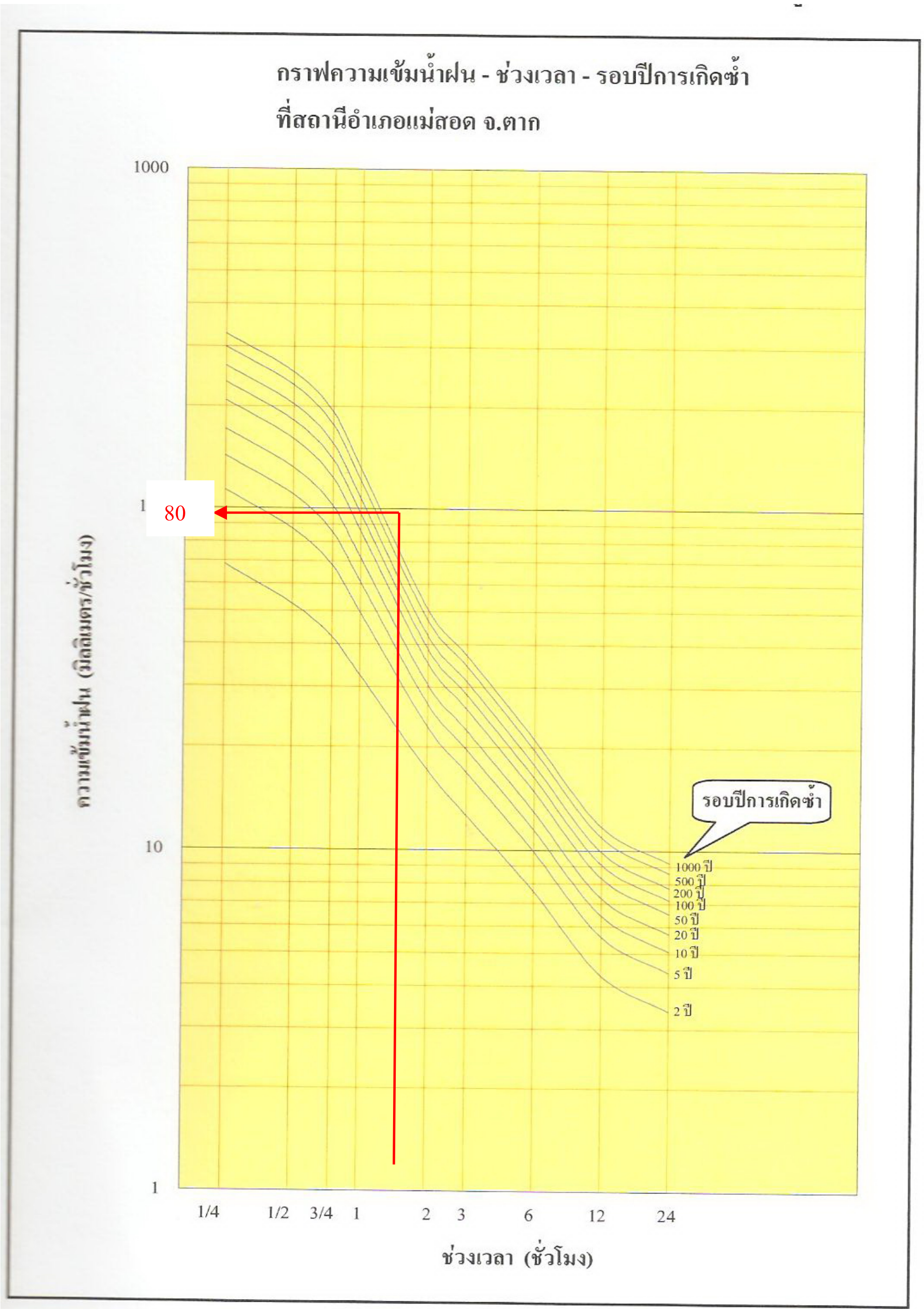
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| จากสูตร | tr | = | $(1.5 / 5.5)\ L^{0.6}\ L_1^{0.3}$ | |
| หาพื้นที่รับน้ำฝน | A | = | 97.9054 | ตร.กม. |
| ความยาวของลำน้ำที่ยาวที่สุด | L | = | 15.6 | กิโลเมตร |

ความยาวของลำน้ำจากจุดที่ใกล้ที่สุดของศูนย์กลางพื้นที่รับน้ำถึงอาคารระบายน้ำ

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Lc | = | 11.2 | กิโลเมตร |
| จาก | L1 | = | Lc / L | |
| | | = | 11.2 / 15.6 | |
| | | = | 0.72 | |
| | tr | = | $(1.5 / 5.5)\ (15.6)^{0.6}\ (0.72)^{0.3}$ | |
| | | = | 1.28 | ชม. |

นำค่า tr ที่คำนวณได้นี้ไปหาค่า I (ปริมาณน้ำฝนที่ตก) จากกราฟ Intensity & Frequency Curve ของจังหวัด จากกราฟรูปที่ 1

I (เมื่อใช้รอบปีการเกิดซ้ำที่ 50 ปี) = 80 มม. / ชม

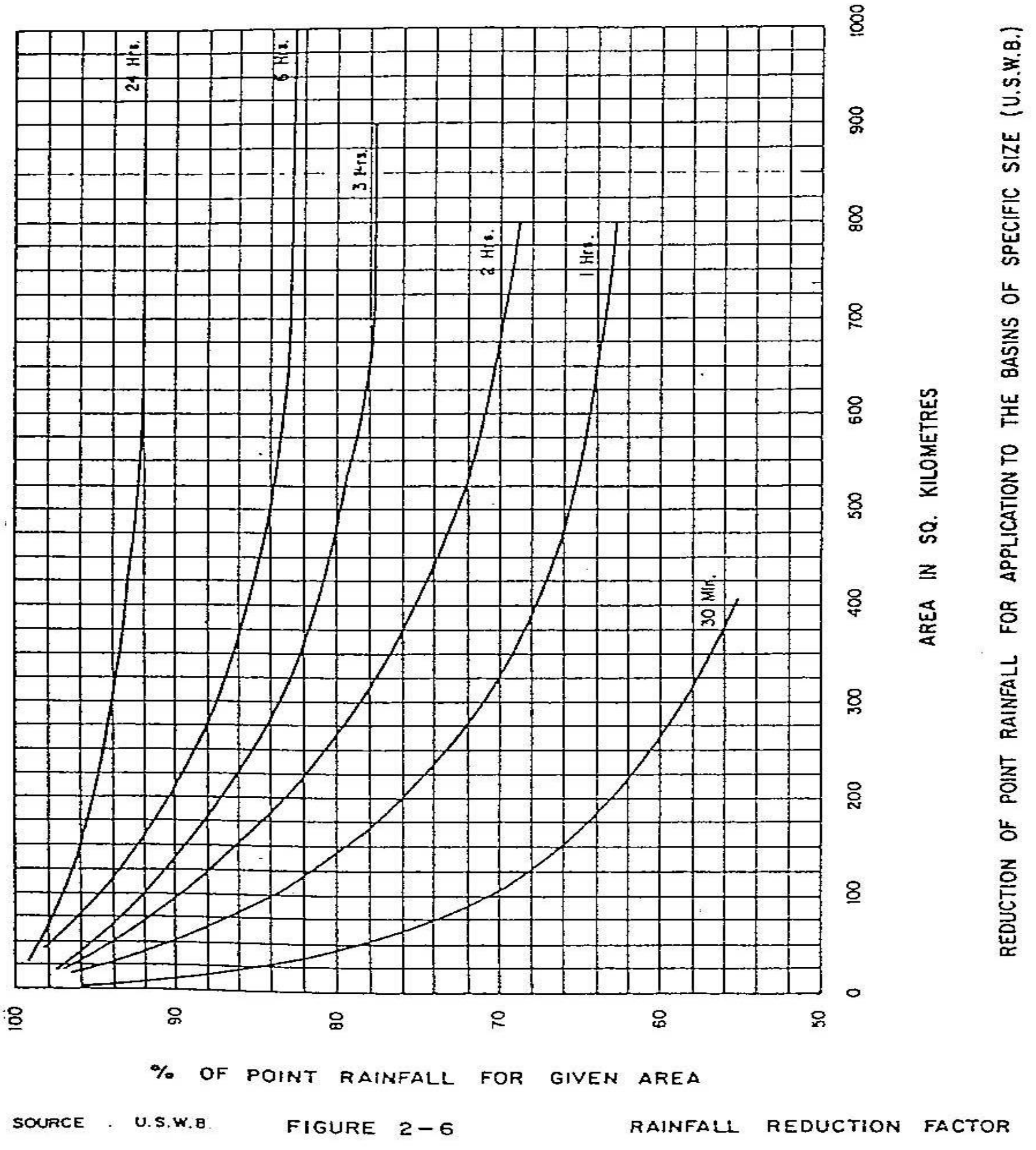



**รูปที่ 4.2-6** กราฟความเข้มฝน – ช่วงเวลา - รอบปีการเกิดซ้ำ

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| เมื่อรู้ค่า | A | = | 97.9054 | ตร.กม. |
| และได้ | tr | = | 1.28 | ชม. |

จึงเปิดกราฟ รูปที่ 4.2-7 หาค่า $\alpha$ (reduction of point rainfall intensity for large catchment areas)

$\alpha$ = 85.90 % = 0.859




**รูปที่ 4.2-7** กราฟแสดงค่า $\alpha$

(reduction of point rainfall intensity for large catchment areas)

หลังจากเปิดตารางได้ค่า $\alpha$ แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนการหาค่า Kp (ค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและสิ่งปกคลุม) จากตารางที่ 1 และหาค่า $\phi$ (Infiltration capacity) จากตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

เนื่องจากพื้นที่เป็นเนินภูเขาเตี้ยจึงกำหนด Kp จากตารางที่ 1 ดังนี้

ตามตาราง ที่ 1 ได้ค่า Kp = 28

เนื่องจากพื้นถูกปกคลุมเป็นป่าไม้และมีเงื่อนไขต่างๆของค่า Cover Factor อยู่ในช่วง 4.0 - 8.0 ตามตาราง ที่ 3 จึงสามารถจึงสามารถหาค่า $\phi$ (Infiltration capacity) และตารางที่ 2

ได้ค่า $\phi$ = 25

TABLE 1 UNIT HYDROGRAPH PEAK DISCHARGE COEFFICIENTS

| Catchment Topography | Peak Discharge Coefficient $K_p$ |
|---|---|
| Foothills and gently undulating slopes with forest or grass cover | 28 - 30 |
| Steep forested terrain in the headwaters; foothills and plain with a cover of forest or grass in the lower reaches | 30 - 32 |
| Steep forested slopes of high hills and low mountains | 32 - 34 |

Infiltration capacity may also be estimated using cover factors together with various soil types. Table 2 gives a range of $\phi$ and cover factors for rainfall duration varying from 10 minutes to 3 hours, which normally occurs.

TABLE 2 COVER FACTORS AND INFILTRATION CAPACITY FOR PERMANENT FOREST AND GRASS

| | | $\phi$ (mm/hr) | | |
|---|---|---|---|---|
| Cover Factor | Type | Clays | Clay Loams | Sandy Loams |
| 1.0 - 2.0 | Poor | 2 - 9 | 4 - 13 | 5 - 20 |
| 2.0 - 4.0 | Medium | 5 - 17 | 8 - 27 | 13 - 45 |
| 4.0 - 8.0 | Good | 10 - 35 | 15 - 55 | 25 - 90 |

Table 3 gives a more detailed descriptions of cover factors which may be used with Table 2 to determine $\phi$.

TABLE 3 INFILTRATION COVER FACTORS

| Vegetation | Condition | Cover Factor |
|---|---|---|
| Forest | Good-dense canopy, thick undergrowth, plant litter and humus more than 25 mm in thickness. | 4.0 - 8.0 |
| | Medium-thin forest, sparse undergrowth of shrubs and grasses, litter and humus 5-25 mm thick, slight soil erosion. | 2.0 -4.0 |
| | Poor-isolated clumps of trees and bamboo, little grass between clumps, humus less than 5 mm thick, area eroded or overgrazed. | 1.0 - 2.0 |
| Grasses (Including Rice) | Good-dense vegetal cover of high quality grass, area in grass for several years, not overgrazed; inundated rice at all stages of growth. | 4.0 -8.0 |
| | Medium-vegetal density 30-80 percent of that of good areas, area in grass at least 2 years, not overgrazed. | 2.0 - 4.0 |
| | Poor-density of vegetation less than 30 percent of that of good areas, sparse growth of poor quality grass, area overgrazed. | 1.0 - 2.0 |
| Close Growing Crops (Small Grains) | Good-high plant density, soil fertility at a high level. | 2.5 - 3.0 |
| | Medium-density and fertility 30-80 percent of that of good areas. | 1.5 - 2.0 |
| | Poor-sparse cover, density and fertility less than 30 percent of that of good areas. | 1.0 - 1.5 |
| Row Crops | Good-flourishing vegetation, high soil fertility, land in best rotation, good farming practices followed. | 1.3 - 1.5 |
| | Medium-vegetation good, fertility 30-80 percent of that of good areas, land in fair rotation, conservative farming practices followed. | 1.1 - 1.3 |
| | Poor-vegetation poor, fertility less than 30 percent of that of good areas, row crops grown continuously, poor farming practices followed. | 1.0 - 1.1 |

จากสมการ $Q = (0.001)\ (qp)\ \{(\alpha)(I) - \phi\}\ (tr)\ (A)$

เมื่อ $qp = Kp / tr$

ดังนั้น $Q = (0.001)\ (Kp / tr)\ \{(\alpha)(I) - \phi\}\ (tr)\ (A)$

สามารถแทนค่าได้ดังนี้

$Kp = 28$

$tr = 1.28$ ชม.

$\alpha = 0.859$

$I = 80$ มม./วินาที

$\phi = 25$

$A = 97.9054$ ตร.กม.

ดังนั้น $Q = (0.001)(28 / 1.28)\ \{(0.859)(80) – (25)\}\ (1.28)(97.9054)$

$Q = 119.85$ ลบ.ม. / วินาที

**ตารางที่ 4.2-2** ตัวอย่างรายการคำนวณปริมาณการไหลของน้ำ

| ลำดับที่ | ระยะทาง ( km.) | ( km.) | พื้นที่รับน้ำ (A) ( $km.^2$) | ความยาวของลำน้ำที่ยาวที่สุด (L) ( km.) | ความยาวของลำน้ำ (Lc) ( km.) | (Lc) /(L) ($L_1$) ( km.) | ระยะเวลาเกิดปริมาณน้ำมากที่สุด (Tr) (hr) | ปริมาณน้ำฝนที่ตก (I) (mm/hr) | $K_p$ | α | Ø | อัตราการไหล (Q) (mm/hr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 23+900 | 24+700 | 97.9054 | 15.6 | 11.2 | 0.7 | 77.0 | 80 | 28 | 0.859 | 25.0 | 119.85 |
| 2 | 34+913 | 34+913 | 49.8866 | 14.6 | 7.6 | 0.5 | 67.2 | 107 | 31 | 0.915 | 17.5 | 124.42 |
| 3 | 39+091 | 39+091 | 32.3794 | 10.0 | 5.6 | 0.6 | 54.7 | 115 | 31 | 0.916 | 17.5 | 88.16 |
| 4 | 59+250 | 60+750 | 30.8973 | 12.0 | 6.8 | 0.6 | 61.3 | 112 | 31 | 0.937 | 17.5 | 83.75 |
| 5 | 63+000 | 64+120 | 88.6488 | 26.4 | 13.5 | 0.5 | 95.4 | 85 | 31 | 0.886 | 17.5 | 158.88 |
| 6 | 67+500 | 68+500 | 110.1311 | 29.0 | 20.4 | 0.7 | 111.0 | 72 | 31 | 0.880 | 17.5 | 156.46 |
| 7 | 68+500 | 70+150 | 39.1535 | 18.0 | 11.6 | 0.6 | 81.2 | 96 | 31 | 0.937 | 17.5 | 87.99 |

**3. การคำนวณหาพื้นที่ช่องเปิดของการไหล**

ในการคำนวณเพื่อหาขนาดของช่องเปิดของอาคารระบายน้ำในเบื้องต้นสามารถกำหนดได้โดยการใช้สูตร

$$A = Q/V$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | V | = | ความเร็วของน้ำไหล หน่วยเป็นเมตร/วินาที โดยกำหนดความเร็วของน้ำในอาคารระบายน้ำไว้อยู่ในช่วง1.7-2.0 ม./วินาที |
| | A | = | พื้นที่หน้าตัดของการไหล หน่วยเป็นตารางเมตร |
| | Q | = | อัตราการไหลที่ออกแบบ หน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที |

**<u>ตัวอย่างที่ 3</u>** การคำนวณพื้นที่หน้าตัดและชนิดของอาคารระบายน้ำโครงการก่อสร้างทางหลวงขนาด 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก – อ.แม่สอด ตอนที่ 4 ล่าง ตัวอย่างการออกแบบอาคารระบายน้ำช่วง กม.44+650.000 – กม.45+900.000 ซึ่งคำนวณต่อเนื่องโดยใช้ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 1

**<u>ขั้นตอนการคำนวณ</u>**

**(1) คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำ**

จากตัวอย่างที่1หลังจากคำนวณปริมาณน้ำสูงสุดที่จะใช้ในการออกแบบได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปผู้ออกแบบสามารถคำนวณพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ได้จากสมการ

$$A = Q/V$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | A | = | พื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ต้องการ เมตร |
| | Q | = | ปริมาณน้ำไหลมากที่สุด ลบ.ม. / วินาที |
| | V | = | ความเร็วของน้ำในลำน้ำซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.7 – 2.0 ม. /วินาที |

จากตัวอย่างที่ 1 พื้นที่รับน้ำฝน AR3 ซึ่งมีปริมาณน้ำไหลมากที่สุด 16.92 ลบ.ม. / วินาที

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Q | = | 16.92 | ลบ.ม. / วินาที |
| ให้ | V | = | 1.7 | ม. / วินาที |

ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ A = (16.92) / (1.7)

= 9.95 ตร.ม.

**(2) ตรวจสอบขนาดของอาคารระบายน้ำ**

โดยให้มีพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ออกแบบ(Design Opening Area) มากกว่าพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ต้องการ (Required Opening Area) หรือพิจารณาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ออกแบบหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ต้องการต้องมีค่ามากกว่า 1

ตัวอย่างพื้นที่รับน้ำฝน AR3 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ต้องการ

A (Required) = 9.95 ตร.ม.

โดยในช่วงพื้นที่รับน้ำฝนดังกล่าวมีข้อมูลอาคารระบายน้ำเดิมในสายทางดังนี้

1. กม. 45+186.975 มีท่อขนาด 3-Ø 1.50x30.240

A (Design) = (¶ (D)$^2$ / 4 ) N สำหรับท่อกลม

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

N = จำนวนช่องน้ำเปิด (Cell)

A1 = ¶ (1.5)$^2$ / 4 x 3

= 5.30 ตร.ม.

2. กม.45+524.707 มีท่อขนาด 3-Ø 1.50x24.60

A2 = ¶ (1.5)$^2$ / 4 x 3

= 5.30 ตร.ม.

3. กม.45+661.745 มีท่อขนาด 1-Ø 1.50x23.460

A3 = ¶ (1.5)$^2$ / 4 x 1

= 1.77 ตร.ม.

พื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำ (Design Opening Area) สำหรับพื้นที่รับน้ำฝน AR3 มีพื้นที่หน้าตัดรวมทั้งสิ้น A = A1 + A2 + A3

= (5.30) + (5.30) + (1.77)

= 12.37 ตร.ม.

สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย (Factor of Safety) F.S. = $\frac{\text{A (Design)}}{\text{A (Required)}}$

= 12.37 / 9.95

= 1.24 ≥ 1.00

**ตารางที่ 4.2-3** ตัวอย่างรายการคำนวณปริมาณการไหลของน้ำ

| ลำดับที่ | พื้นที่รับน้ำ | ตำแหน่งโครงสร้าง (กม.) | ประเภทอาคาร | พื้นที่ช่องเปิดของอาคารระบายน้ำเดิม (ตร.ม.) | อัตราการไหล (ลบ.ม/วินาที) | ความเร็วออกแบบ (ม./วินาที) | พื้นที่ช่องเปิดที่ต้องการ (ตร.ม.) | F.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AR1 | คลองไม่ทราบชื่อ | สะพาน | 35.50 | 25.64 | 1.70 | 15.08 | 2.35 |
| 2 | AR2 | 43+606.900 | BC.2-2.400x2.40x36.00 | 11.52 | 17.79 | 1.70 | 10.47 | 1.10 |
| 3 | AR3 | | | 12.37 | 16.92 | 1.70 | 9.95 | 1.24 |
| 3.1 | | 45+188.430 | 3-Ø 1.50x30.240 | 5.30 | | | | |
| 3.2 | | 45+524.707 | 3-Ø 1.50x24.60 | 5.30 | | | | |
| 3.3 | | 45+663.200 | 1-Ø 1.50x23.460 | 1.77 | | | | |
| 4 | AR4 | | | 11.73 | 6.51 | 1.70 | 3.83 | 3.06 |
| 4.1 | | 45+965.314 | 1-Ø 1.20x20.884 | 1.13 | | | | |
| 4.2 | | 46+271.975 | 3-Ø 1.50x18.508 | 5.30 | | | | |
| 4.3 | | 46+377.862 | 3-Ø 1.50x21.492 | 5.30 | | | | |
| | | | | | | | | |

## 4 การออกแบบชลศาสตร์ของท่อลอด (Culvert)

เมื่อออกแบบท่อลอดได้ตามขนาดพื้นที่ช่องเปิดที่ต้องการแล้ว ต่อมาต้องออกแบบชลศาสตร์ของท่อลอดเพื่อหาการไหลของน้ำผ่านท่อลอดที่เกิดขึ้นซึ่งมีได้หลายลักษณะ โดยการออกแบบต้องพิจารณาให้ลักษณะของน้ำที่ไหลในท่อสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ โดยการไหลของน้ำผ่านท่อลอดมีลักษณะการไหลผ่านท่อลอด 2 แบบคือ การไหลแบบถูกควบคุมด้วยทางเข้า (Flow with Inlet Control) และการไหลแบบควบคุมด้วยทางออก (Flow with Outlet Control) โดยแสดงตัวอย่างการออกแบบดังนี้

**ตัวอย่างที่ 4** การคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารระบายน้ำโครงการก่อสร้างทางหลวงขนาด 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก – อ.แม่สอด ตอนที่ 4 ยกตัวอย่างการออกแบบอาคารระบายน้ำ กม. 45+188.430 ดังนี้

| ลำดับที่ | พื้นที่รับน้ำ | ตำแหน่งโครงสร้าง (กม.) | ประเภทอาคาร | พื้นที่ช่องเปิดของอาคารระบายน้ำเดิม (ตร.ม.) | อัตราการไหล (ลบ.ม/วินาที) | ความเร็วออกแบบ (ม./วินาที) | พื้นที่ช่องเปิดที่ต้องการ (ตร.ม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AR3 | | | 12.37 | 16.92 | 1.70 | 9.95 |
| 1.1 | | 45+188.430 | 3-Ø 1.50x30.240 | 5.30 | | | |
| 1.2 | | 45+524.707 | 3-Ø 1.50x24.60 | 5.30 | | | |
| 1.3 | | 45+663.200 | 1-Ø 1.50x23.460 | 1.77 | | | |

**<u>ขั้นตอนการคำนวณ</u>**

**1. <u>คำนวณหาปริมาณอัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลอด</u>**

จากตัวอย่างที่ 1 พื้นที่รับน้ำฝน AR3 ช่วง กม.44+650.000 – กม.45+900.000

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| มีปริมาณน้ำที่ไหลมากที่สุด | Q | = | 16.92 | ลบ.ม. / วินาที |
| มีพื้นที่หน้าตัดรวมของท่อลอดรวมทั้งหมด | A | = | 12.37 | ตร.ม. |
| หาความเร็วของกระแสน้ำผ่านท่อลอด | V | = | Q/A | |
| | | = | 16.92 / 12.37 | |
| | | = | 1.37 | ม. /วินาที |

หลังจากที่สามารถคำนวณหาความเร็วของกระแสน้ำผ่านท่อลอดโดยรวมได้แล้ว สามารถคำนวณหา อัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลอดแต่ละตำแหน่งได้ดังนี้

- กม. 45+188.430 ท่อลอดขนาด 3-Ø 1.50x44

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| มีพื้นที่หน้าตัดของท่อลอด | A1 | = | 5.30 | ตร.ม. |
| มีความเร็วของกระแสน้ำผ่านท่อลอด | V | = | 1.37 | ม. / วินาที |
| ปริมาณอัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลอด | Q | = | A1V | |
| | | = | (5.30) x (1.37) | |
| | | = | 7.26 | ลบ.ม. / วินาที |

**2. <u>หาระดับน้ำ (Headwater) ที่ใช้ควบคุมการไหลของน้ำผ่านท่อลอด</u>**

โดยพิจารณาใน 2 กรณี ได้แก่

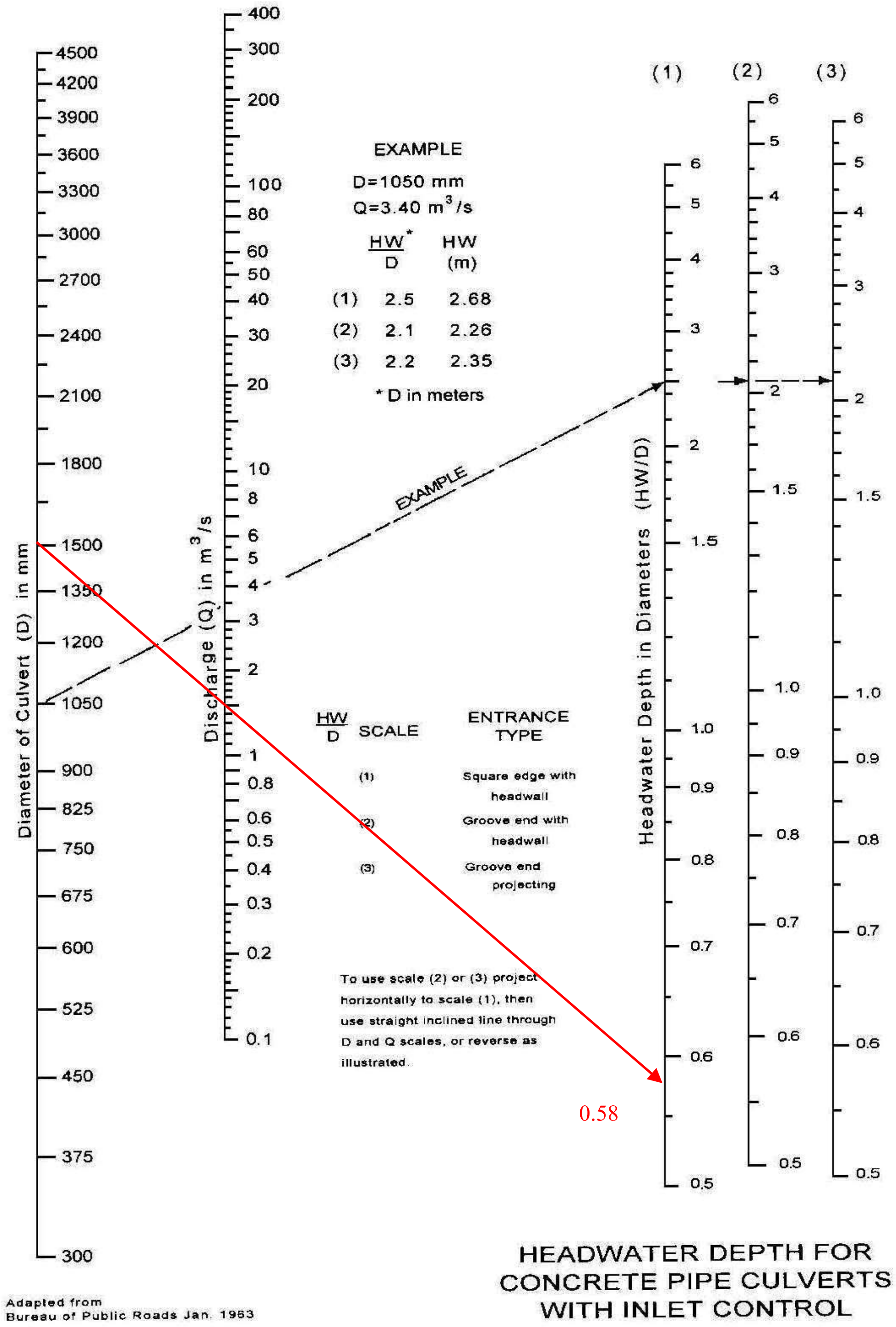
2.1 ควบคุมด้วยระดับน้ำหน้าท่อ (Inlet Control) การคำนวณความลึกของต้นน้ำ (Depth of Headwater, Hw) โดยใช้ Nomograph แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของต้นน้ำและอัตราการไหลผ่านท่อลอด

- กม. 45+186.975 ท่อลอดเดิมขนาด 3-Ø 1.50x44

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลอด | Q | = | 7.26 | ลบ.ม. / วินาที |
| จำนวนช่องระบายน้ำ (Cell) | N | = | 3 | |
| เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ | D หรือ B | = | 1.50 | เมตร |
| หา | Q / (NB) | = | (7.26) / (3x1.50) | |
| | | = | 1.61 | |

กำหนด Inlet Type (1) Headwall With square edge

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| จากกราฟรูปที่ 1 ได้ค่า | Hw / D | = | 0.58 | |
| เมื่อ | D | = | 1.50 | เมตร |
| ดังนั้น | Hw | = | (0.58x1.50) | |
| | | = | 0.87 | เมตร |




**แผนภูมิคำนวณหาความลึกของระดับน้ำปากท่อ สำหรับท่อคอนกรีตกลม ลักษณะการไหลแบบ Inlet Control**

**ที่มา :** Urban Drainage Design Manual, FHWA-NHI-01-021,2001

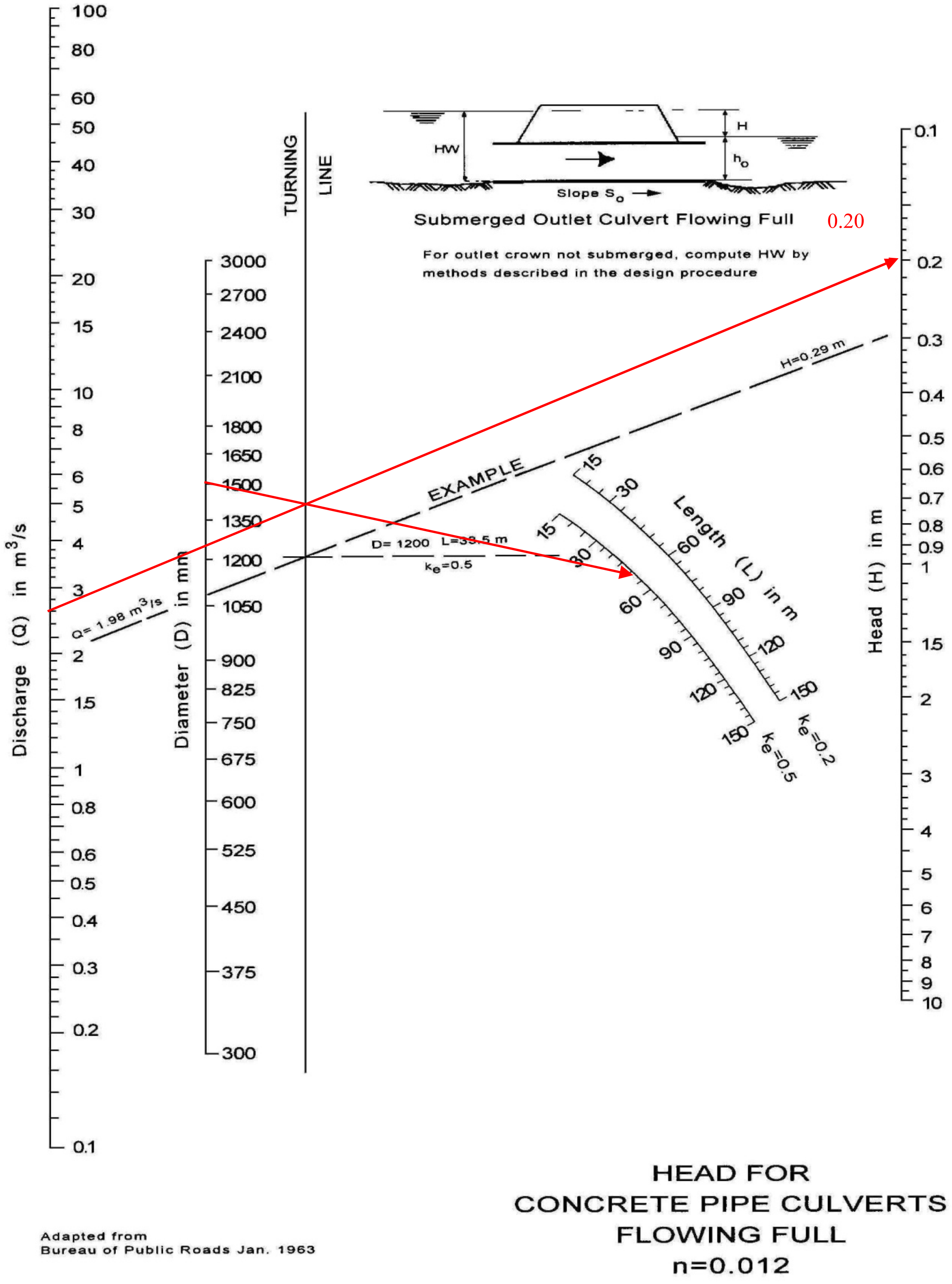
2.2 ควบคุมด้วยระดับน้ำทางออก (Outlet Control) โดยการคำนวณหาความสูงของท้ายน้ำ(Ho) ด้วย Nomograph , หาความลึกวิกฤต (dc) จากกราฟรูปที่ 6 แล้วหา ho = (dc+D) / 2 และหาค่าการสูญเสียเนื่องความเสียดทานในเส้นท่อ (Ls)

ดังนั้นความลึกของท้ายน้ำ Ho = H + ho - Ls

จากตัวอย่างของข้อมูลท่อลอดเดิมสามารถคำนวณความลึกของท้ายน้ำ ได้ดังนี้

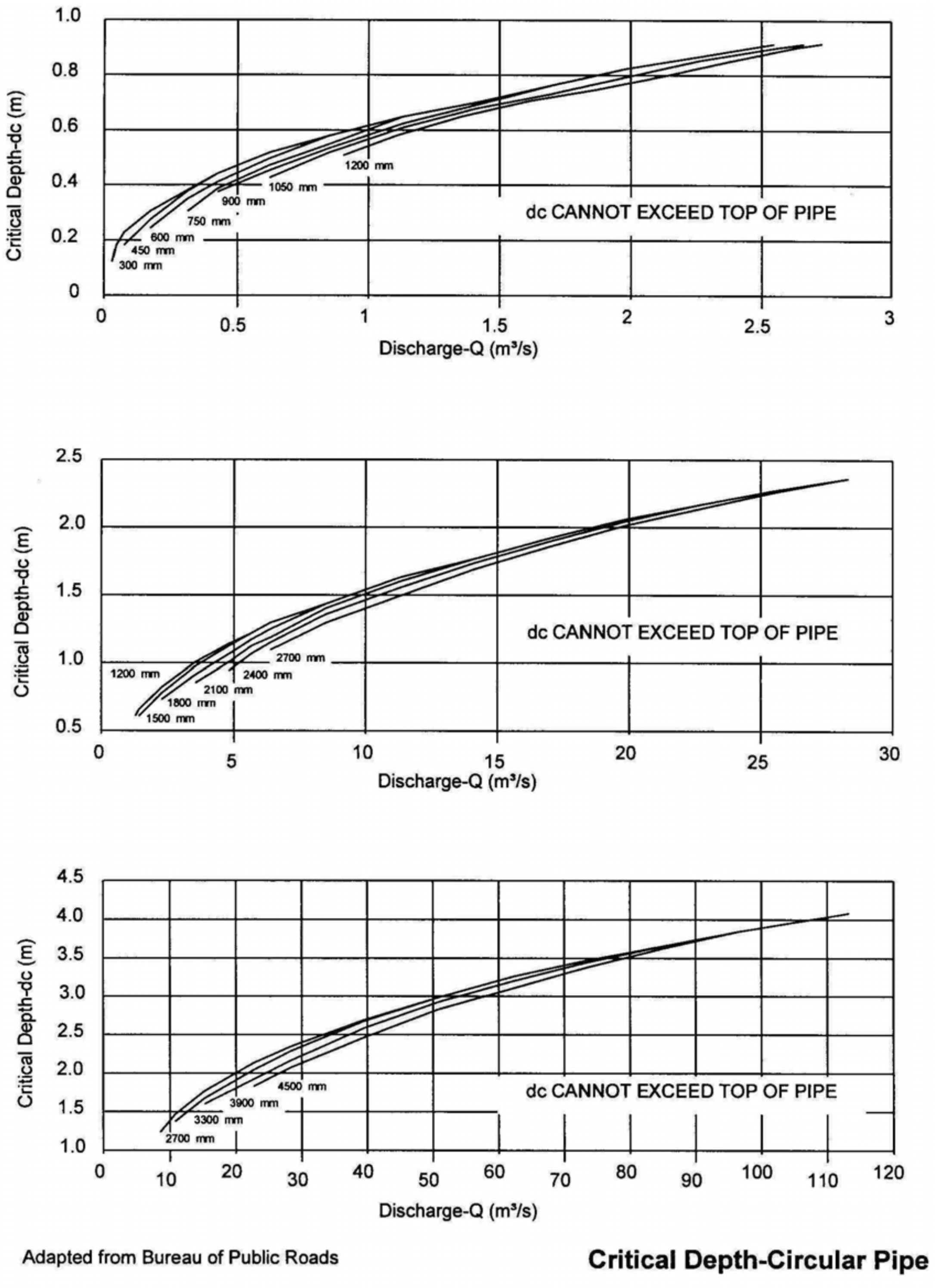
- กม. 45+188.430 ท่อลอดเดิมขนาด 3-Ø 1.50x44.00

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ปริมาณอัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลอด | Q | = | 7.26 | ลบ.ม. / วินาที |
| จำนวนช่องระบายน้ำ (Cell) | N | = | 3 | |
| หา | Q / (N) | = | (7.26) / (3) | |
| | | = | 2.42 | |
| เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ | D | = | 1.50 | เมตร |
| ความยาวของแนวท่อที่ออกแบบ | L | = | 44.00 | เมตร |
| ให้ Wingwall angle& edge finish | Ke | = | 0.5 | |
| จากกราฟ ได้ค่า | H | = | 0.20 | เมตร |
| จากกราฟ ได้ค่า | dc | = | 0.84 | เมตร |
| หา | ho | = | (dc + D) / 2 | |
| | | = | (0.84 + 1.50) / 2 | |
| | | = | 1.17 | เมตร |
| กำหนดให้ความลาดชันของท่อ | S | = | 0.0022 | (หรือ 0.22%) |
| หา | Ls | = | (44.00)x(0.0022) | |
| | | = | 0.097 | เมตร |
| ความลึกของท้ายน้ำ | Ho | = | H + ho – Ls | |
| | | = | 0.20 + 1.17 -0.097 | |
| | | = | 1.273 | เมตร |




**แผนภูมิคำนวณหา Outlet ผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ**
**สำหรับท่อคอนกรีตกลม ลักษณะการไหลแบบ Control**

**ที่มา :** Hydraulic Design of Highway Culverts, FHWA-NHI-01-020,2001




**แผนภูมิคำนวณหาค่า Critical Depth สำหรับท่อกลม (Pipe Culverts)**

**ที่มา :** Urban Drainage Design Manual, FHWA-NHI-01-021,2001

## 2 หาพฤติกรรมของการไหลในเส้นท่อที่เกิดขึ้น

คำนวณหาได้จากการการการเปรียบเทียบระดับน้ำ (Headwater) กรณีควบคุมด้วยระดับน้ำหน้าท่อ (Inlet Control) กับกรณีควบคุมด้วยระดับน้ำทางออก (Outlet Control) ระดับน้ำที่มากกว่าจะแสดงลักษณะพฤติกรรมของการไหลในเส้นท่อที่เกิดขึ้น

จากตัวอย่างที่คำนวณระดับน้ำในขั้นตอนที่2.1และ2.2สามารถสรุปดังนี้

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. กม. 45+186.975 ท่อลอดเดิมขนาด | 3 - Ø 1.50 x 44.00 | | | |
| - กรณีควบคุมด้วยระดับน้ำหน้าท่อ (Inlet Control) | Hw | = | 0.87 | เมตร |
| - กรณีควบคุมด้วยระดับน้ำทางออก (Outlet Control) | Ho | = | 1.273 | เมตร |
| | Hw | < | Ho | |

สรุประดับน้ำควบคุมด้วยระดับน้ำทางออก (Outlet Control)

## 3 คำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของการไหลที่ท้ายท่อ

ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อ ไม่ควรจะให้สูงจนทำให้เกิดการกัดเซาะพื้นขึ้นได้ เว้นเสียแต่จะมีการทำโครงสร้างเพื่อใช้ป้องกันการกัดเซาะ

ความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่พื้นดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| หินขนาด 30 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 6.0 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 25 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 5.0 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 15 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 3.0 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 10 ซม. | ความเร็วไม่ควรเกิน | 2.5 | เมตร/วินาที |
| หินขนาด 5 ซม.หรือปลูกหญ้า | ความเร็วไม่ควรเกิน | 2.0 | เมตร/วินาที |
| ดินเหนียงแข็ง (Firm Loam)<br>(or very stiff coarse clay | ความเร็วไม่ควรเกิน | 1.2 | เมตร/วินาที |
| ดินทรายหรือดินตะกอน<br>(Sandy or Silty Clay) | ความเร็วไม่ควรเกิน | 1.0 | เมตร/วินาที |

สำหรับในตัวอย่างนี้ เนื่องจากพื้นที่อยู่ในภูเขาจึงกำหนดชนิดของวัสดุที่พื้นเป็นหินขนาด 15 ซม. กำหนดความเร็วของการไหลด้านท้ายน้ำสูงไม่เกิน 2.5 ม./วินาที

- กม. 45+188.430 ท่อลอดเดิมขนาด 3-Ø 1.50x44.00

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| จาก | Q | = | 7.26 | ลบ.ม./วินาที |
| ดังนั้น | Q ต่อช่องระบาย | = | 7.26 / 3 | |
| | | = | 2.42 | ลบ.ม./วินาที |

หาพื้นที่การไหลของท่อ Flow Area (circle) จาก

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | = | $BD^{2}1$ | |
| เมื่อ | D | = | 1.5 | เมตร |
| | B | = | 1/8 (2 cos((D/2) - dc) /(D/2))) | |
| | | | – (sin (2 cos((D/2) - dc) /(D/2))) | |
| เมื่อ | dc | = | 0.84 | เมตร |
| ได้ | B | = | 0.45 | |
| แทนค่า | A | = | $0.45 \times 1.5^{2}$ | |
| | | = | 1.0125 | ตร.ม. |
| หา | V | = | Q /A | |
| | | = | 2.42 / 1.0125 | |
| | | = | 2.39 ม. / วินาที < 2.5 ม. / วินาที | |

ดังนั้นไม่เกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ

**<u>คำนวณชลตารางแสดงศาสตร์ของท่อการลอด</u>**

| Item | Sta. | Qd | Structure | Q/(NB) | Q/ N | Head Water Computations | | | | | | | | | | Controlling Hw | Outlet Velocity Vo | comment |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Inlet Control | | Outlet Control = Hwo =H+ho-SoL | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Hw/D | Hw | Ce | H | dc | (dc+D)/2 | Tw | ho | SoL | Hw | | | |
| 1 | 45+186.975 | 7.25 | 3-Ø 1.50x44 | 1.61 | 2.42 | 0.58 | 0.87 | 0.5 | 0.2 | 0.84 | 1.17 | - | 1.17 | 0.097 | 1.27 | outlet 1.273 | 2.39 | No Protect. |
| 2 | 45+523.252 | 7.25 | 3-Ø 1.50x29 | 1.61 | 2.42 | 0.58 | 0.87 | 0.5 | 0.18 | 0.84 | 1.17 | - | 1.17 | 0.325 | 1.03 | outlet 1.025 | 2.39 | No Protect. |
| 3 | 45+661.745 | 2.42 | 1-Ø 1.50x32 | 1.61 | 2.42 | 0.58 | 0.87 | 0.5 | 0.185 | 0.8 | 1.15 | - | 1.15 | 0.874 | 0.46 | inlet 0.87 | 1.70 | No Protect. |

### 4.2.2 การคำนวณออกแบบร่องระบายน้ำตามแนวยาว

4.2.2.1 พิจารณาดูรูปตัดตามแนว Profile ของถนน เพื่อกำหนดแนวการไหลของน้ำที่เกิดขึ้น

4.2.2.2 พิจารณาที่จุดเกิดความลาดชันสูงสุด (Maximum Slope) เพื่อหาพื้นที่รับน้ำที่จุดนี้ หรือพิจารณาดูตำแหน่งของอาคารระบายน้ำตามแนวขวางเดิมที่มีอยู่แล้ว แล้วคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำโดยใช้สูตร Rational Formula

4.2.2.3 ออกแบบร่องระบายน้ำและคำนวณหาค่าความเร็วของกระแสน้ำ

4.2.2.4 เปรียบเทียบความเร็วของกระแสน้ำ ถ้ามากกว่าความเร็วของกระแสน้ำที่ยอมให้ จะต้องคำนวณหาความลึกที่ต้องออกแบบป้องกันระบายน้ำ และจากนั้นให้หา อัตราการไหลที่ความเร็วเท่ากับความเร็วของกระแสน้ำที่ไม่เกิดการกัดเซาะ

4.2.2.5 จากอัตราการไหลที่เท่ากับหรือน้อยกว่าความเร็วของกระแสน้ำที่ไม่เกิดการกัดเซาะแล้วคำนวณหาพื้นที่รับน้ำ รวมทั้งกำหนดตำแหน่งที่คูระบายน้ำต้องระบายน้ำตามพื้นที่ที่คำนวณได้ใหม่นี้

4.2.2.6 ระยะที่ต้องดาดผิวคูระบายน้ำคือตำแหน่งที่เริ่มจาก ความเร็วเท่ากับความเร็วของกระแสน้ำที่ไม่เกิดการกัดเซาะที่ได้จากข้อ5. ไปจนถึงจุดที่ Max. Slope ตามข้อ2. ดังกล่าวมาแล้ว ทั้งนี้การดาดผิวควรจะใช้จากค่าสูงสุดทีได้จาก Cross Section

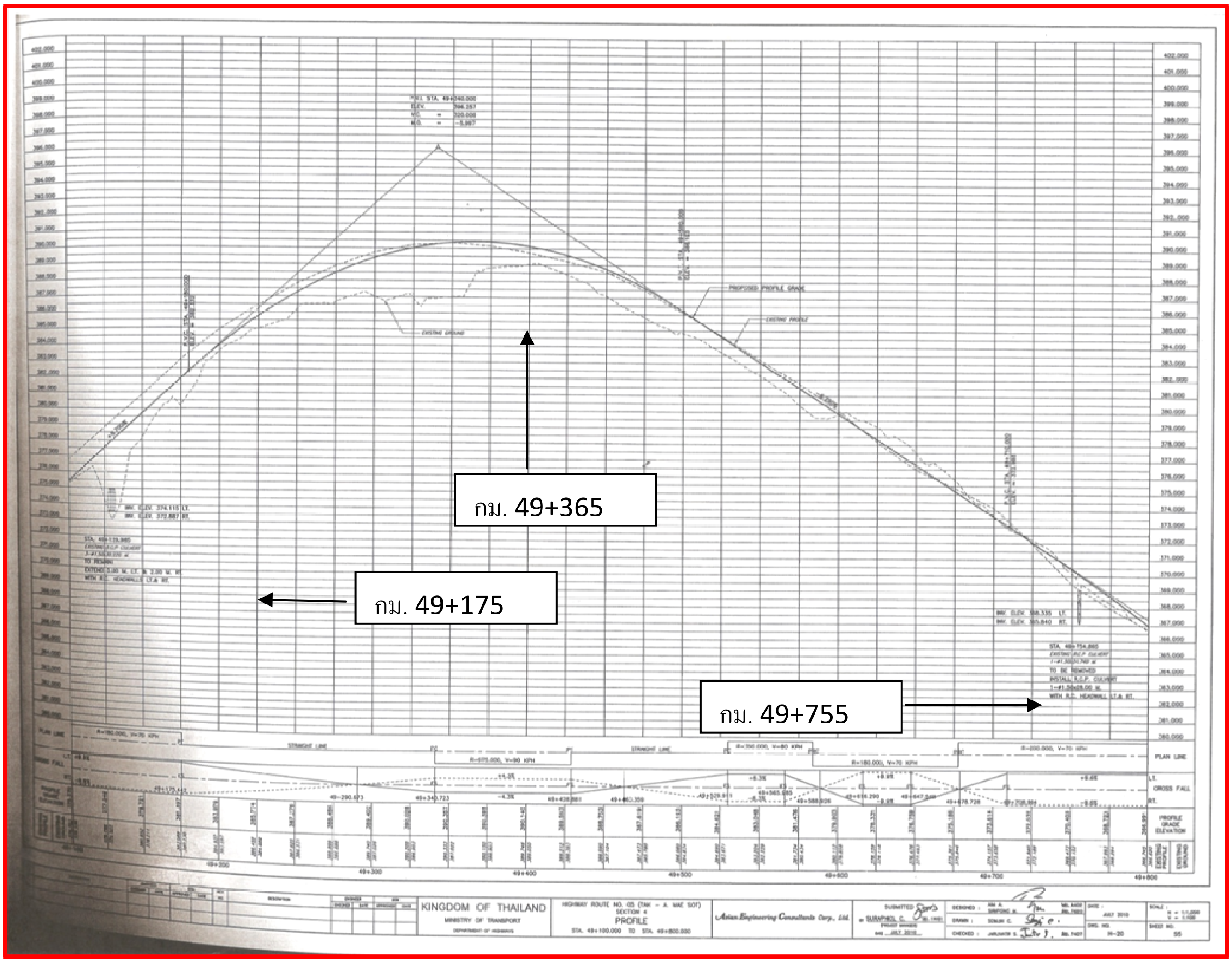
ตารางแสดงความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุที่พื้น

| ชนิดของดิน | ความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ (เมตร / วินาที) |
|---|---|
| Sand | น้อยกว่า 0.6 |
| Loam | 0.6 – 0.9 |
| Grass | 0.6 – 0.9 |
| Clay | 0.9 – 1.5 |
| Clay and Gravel | 1.2 – 1.5 |
| Good Sod , Coarse Gravel, Cobbles , Soft Shale | 1.2 – 1.8 |
| Conglomerates , Hard Shale, Soft Rock | 1.8 – 2.5 |
| Hard Rock, Concrete Lining | 2.5 – 5.0 |

**<u>ตัวอย่างที่ 5</u>** การออกแบบร่องระบายน้ำด้านข้างของโครงการก่อสร้างทางหลวงขนาด 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก – อ.แม่สอด ตอนที่ 4 โดยยกตัวอย่างการออกแบบอาคารระบายน้ำช่วง กม. 49+200.000 – กม.45+800.000 ด้านซ้ายทาง และกำหนดความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะไม่เกิน 1.5 เมตร/วินาที พื้นดินเป็น Clay หรือ Gravel

**<u>ขั้นตอนการคำนวณ</u>**

1. <u>พิจารณาดูรูปตัดตามแนว Profile ของถนน ตามรูปที่แสดงข้างล่าง</u>




จากรูปกำหนดแบ่งช่วงพื้นที่ดังนี้

- กม.49+365 (เป็นจุดเริ่มต้น) - กม.49+755 (ตำแหน่งของท่อลอดตามแนวขวาง)
- กม.49+175 (ตำแหน่งของท่อลอดตามแนวขวาง) - กม.49+365 (เป็นจุดเริ่มต้น)

2. <u>คำนวณหาปริมาณอัตราการไหลของน้ำ (Discharge)</u>

ในช่วงที่ออกแบบร่องระบายน้ำ โดยพิจารณารูปตัดตามยาว Profile ของถนนใช้ และใช้จุดที่มีความลาดของคูระบายน้ำมีค่ามากที่สุด (max of slope) หรือพิจารณาดูตำแหน่งของอาคารระบายน้ำตามแนวขวางเดิมที่มีอยู่แล้ว เพื่อแบ่งหาพื้นที่รับน้ำ และใช้วิธี Rational Method ซึ่งมีสูตรดังนี้

The Rational Formula $Q = 0.278\, C_{(ave)}\, IA$ (ระบบเมตริก)

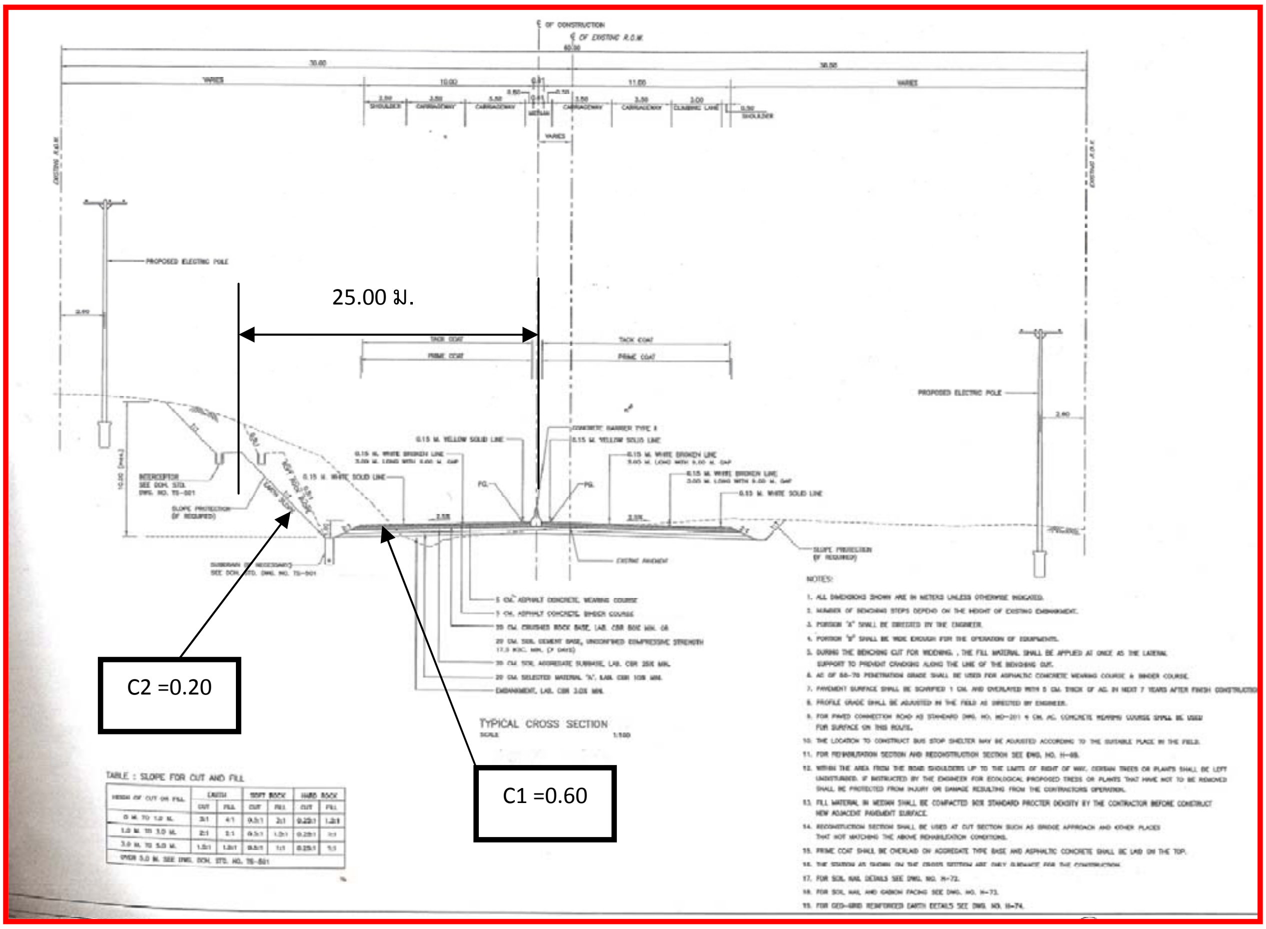
เมื่อ $Q$ = ปริมาณน้ำที่ไหล มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

$C_{(ave)}$ = ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำท่าบนพื้นที่รับน้ำฝน เนื่องจากปกติการไหลของน้ำผ่านพื้นที่ต่างกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลต่างๆกัน ดังนั้นจึงให้นำค่ามาเฉลี่ยก่อนใช้

$I$ = ความเข้มของฝนตกที่ตกในพื้นที่รับน้ำ (มม./ชม.) ขึ้นกับช่วงเวลาที่ฝนตกที่ใช้สำหรับหาความเข้มของฝนดังกล่าวจะใช้ค่า Time of Concentration (Tc) = 0.25 ชม.

$A$ = พื้นที่รับน้ำฝน มีหน่วยเป็น ตร.กม.

ดังนั้นพิจารณาออกแบบร่องระบายน้ำ ด้านขวาทาง ดังนี้



1. กม.49+365 - กม.49+755 มีระยะทางยาว 390 เมตร

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| หาค่า | A | = | 0.390 x 0.025 | = | 0.00975 ตร.กม. |
| | $C_{(ave)}$ | = | (C1+C2)/2 | = | (0.60 + 0.20) / 2 = 0.4 |
| | I | = | 115 | มม./ชม | (เมื่อกำหนด Tc =0.25 ชม.) |
| จาก | Q | = | 0.278 $C_{(ave)}$ IA | | |
| | | = | 0.278 (0.4) (115) (0.00975) | | |
| | | = | 0.125 | ลบ.ม./วินาที | |

2. กม.49+175 - กม.49+365 มีระยะทางยาว 190 เมตร

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| หาค่า | A | = | 0.190 x 0.025 | = | 0.00475 ตร.กม. |
| | $C_{(ave)}$ | = | (C1+C2)/2 | = | (0.60 + 0.20) / 2 = 0.4 |
| | I | = | 115 | มม./ชม | (เมื่อกำหนด Tc =0.25 ชม.) |
| จาก | Q | = | 0.278 $C_{(ave)}$ IA | | |
| | | = | 0.278 (0.4) (115) (0.00475) | | |
| | | = | 0.061 | ลบ.ม./วินาที | |

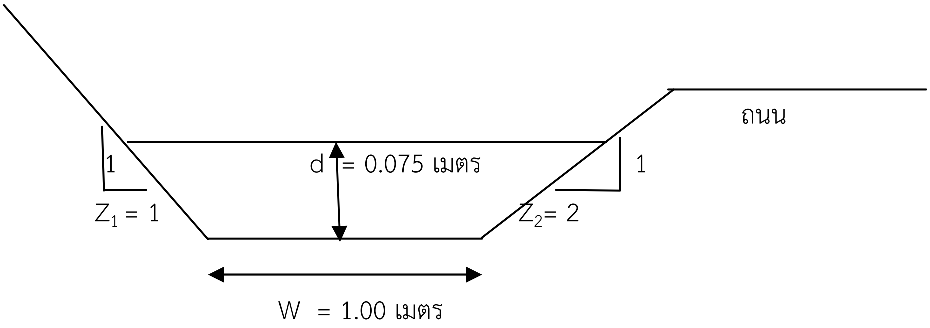
3. ออกแบบรูปร่างของร่องระบายน้ำ และตรวจสอบความเร็วของกระแสน้ำ

ให้มีปริมาณน้ำที่ไหลในร่องระบายน้ำมากกว่าปริมาณน้ำที่คำนวณได้ในข้อ 2 โดยใช้สมการของ Manning Formula ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$Q = (1/n)\,(A)\,(R)^{2/3}\,S^{(1/2)}$$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| เมื่อ | Q | = | ปริมาณน้ำที่ไหล มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที | | |
| | n | = | ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ | | |
| | R | = | รัศมีชลศาสตร์ | = | A/P |
| | A | = | พื้นที่หน้าตัดของการไหล | | ตร.ม. |
| | P | = | เส้นรอบรูปของพื้นที่หน้าตัดของร่องน้ำสัมผัสกับผิวน้ำ | | เมตร |
| | S | = | ความลาดเอียงของร่องระบายน้ำ | | เมตร / เมตร |

ออกแบบร่องระบายน้ำ ในช่วงกม.49+365 - กม.49+755 ได้ดังนี้




<u>รูปแสดงหน้าตัดของร่องระบายน้ำ</u>

หา A = $(W+((Z_1+Z_2)/2)d)d$

= $(1+((2+1)/2)0.075))0.075$

= 0.083 ตร.ม.

P = $(W + d ( (1+Z_1^2)0.5+ (1+Z_2^2)0.5))$

= $(1 + 0.075 ( (1+2^2)0.5+ (1+1^2)0.5))$

= 1.274 เมตร

R = A/P

= (0.083) / (1.274)

= 0.066

S = 0.0629 เมตร / เมตร

n = 0.025

Q = $(1/0.025)(0.083) (0.066)^{2/3} (0.0629)^{1/2}$

= 0.136 ลบ.ม./วินาที

ตรวจสอบความเร็วของกระแสน้ำ

V = Q/A

= 0.136 / 0.083 = 1.638 ม./ วินาที > 1.5 ม./ วินาที

ต้องดาดคอนกรีต

กำหนดความลึกของน้ำใหม่ d = 0.065

A = $(W+((Z_1+Z_2)/2)d)d$

= 0.0713

P = 1.237

R = 0.058

Q = $(1/0.025)(0.0713) (0.058)^{2/3} (0.0629)^{1/2}$

= 0.107 ลบ.ม./วินาที

ตรวจสอบความเร็วของกระแสน้ำ

V = Q/A

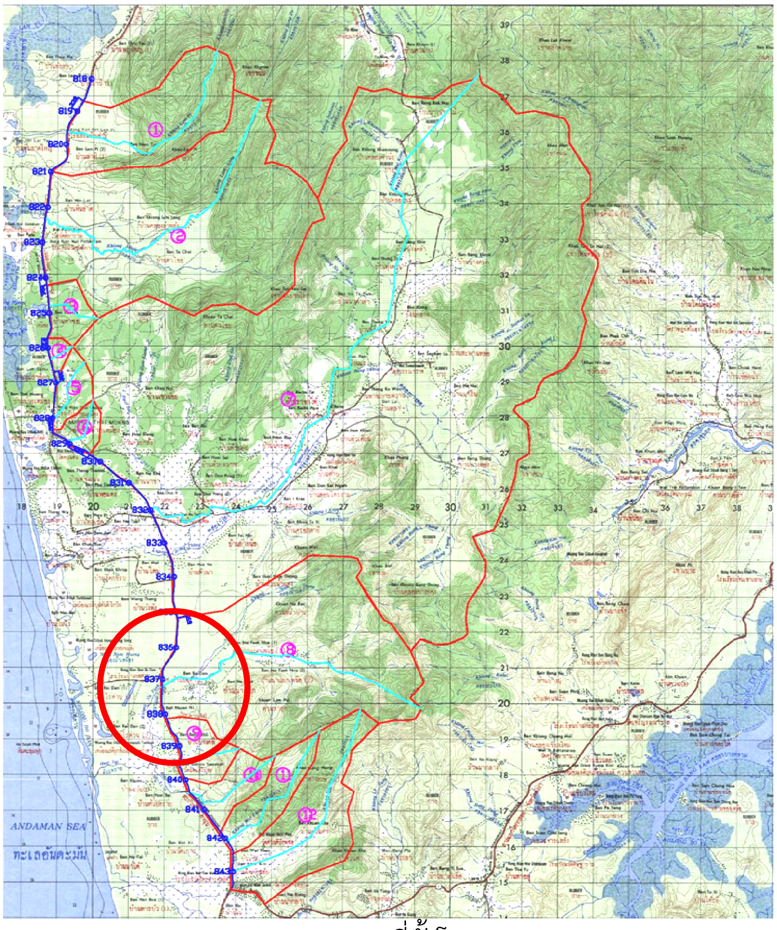
= 0.107 / 0.0713 = 1.5 ม./ วินาที

กำหนดระยะทางที่ต้องดาดคอนกรีต กม.49+421 –กม.49+755 = 334 เมตร ลึก 0.075 เมตร

# ตารางแสดงการคำนวณการดดาดคูระบายน้ำ

| กม. | | ด้าน | พื้นที่รับน้ำ | "C" | A*C | I | Q d | S max. | Y = V ≥ 1.5 | ดาดลึก | คำนวณพื้นที่ | | กม. ที่ดาด | | depth | A | P | R | S | n | Q try | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จุดเริ่ม | จุดปลาย | ซ้าย,ขวา | A ( กม.$^2$) | Ave | ( กม.$^2$) | ( มม./ชม.) | ( ม$^3$/วิ. ) | or S ave. | or N = V < 1.5 | ( ม.) | *Q V=1.5 ( ม$^3$/ วิ. ) | A = $Q_{V1.5}$ ( กม.$^2$) | จุดเริ่ม | จุดปลาย | ( m.) | ( m.$^2$) | ( m.) | ( m.) | | | ( cms.) | ( m./s.) |
| 49+175 | 49+365 | ซ้าย | 0.006 | 0.4 | 0.0023 | 115 | 0.073 | 8.703% | N | - | | | | | 0.050 | 0.054 | 1.183 | 0.045 | 0.087 | 0.025 | 0.081 | 1.50 |
| 49+365 | 49+755 | ซ้าย | 0.010 | 0.4 | 0.0039 | 115 | 0.125 | 6.290% | y | 0.08 | 0.107 | 0.008 | | | 0.075 | 0.083 | 1.274 | 0.066 | 0.063 | 0.025 | 0.136 | 1.63 |
| 49+421 | 49+755 | ซ้าย | 0.008 | 0.4 | 0.0033 | 115 | 0.107 | 6.290% | | | | | 49+421 | 49+755 | 0.065 | 0.071 | 1.237 | 0.058 | 0.063 | 0.025 | 0.107 | 1.50 |
| 49+755 | 49+874 | ซ้าย | 0.004 | 0.4 | 0.0014 | 115 | 0.046 | 6.290% | N | - | | | | | 0.040 | 0.042 | 1.146 | 0.037 | 0.063 | 0.025 | 0.047 | 1.11 |
| 49+874 | 50+032 | ซ้าย | 0.005 | 0.4 | 0.0019 | 115 | 0.061 | 9.515% | N | - | | | | | 0.044 | 0.047 | 1.161 | 0.040 | 0.095 | 0.025 | 0.068 | 1.45 |
| 50+052 | 50+375 | ซ้าย | 0.010 | 0.4 | 0.0039 | 115 | 0.124 | 9.515% | y | 0.06 | 0.075 | 0.006 | | | 0.063 | 0.069 | 1.230 | 0.056 | 0.095 | 0.025 | 0.125 | 1.81 |
| 50+032 | 50+375 | ซ้าย | 0.009 | 0.4 | 0.0034 | 115 | 0.110 | 9.515% | | | | | 50+032 | 50+375 | 0.047 | 0.050 | 1.170 | 0.043 | 0.095 | 0.025 | 0.075 | 1.50 |
| 50+425 | 50+500 | ซ้าย | 0.008 | 0.4 | 0.0030 | 115 | 0.096 | 4.758% | N | - | | | | | 0.067 | 0.074 | 1.245 | 0.059 | 0.048 | 0.025 | 0.098 | 1.33 |
| 50+775 | 50+800 | ซ้าย | 0.0004 | 0.4 | 0.0002 | 115 | 0.005 | 1.942% | N | - | | | | | 0.020 | 0.021 | 1.073 | 0.019 | 0.019 | 0.025 | 0.008 | 0.40 |
| 50+800 | 50+875 | ซ้าย | 0.0011 | 0.4 | 0.0005 | 115 | 0.014 | 1.942% | N | - | | | | | 0.030 | 0.031 | 1.110 | 0.028 | 0.019 | 0.025 | 0.016 | 0.52 |
| 50+910 | 50+925 | ซ้าย | 0.0002 | 0.4 | 0.0001 | 115 | 0.003 | 3.883% | N | - | | | | | 0.010 | 0.010 | 1.037 | 0.010 | 0.039 | 0.025 | 0.004 | 0.36 |

**<u>ตัวอย่างที่</u>** 6 การออกแบบสะพาน ประกอบด้วย การคำนวณปริมาณน้ำเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำ โครงการก่อสร้างทางหลวงขนาด 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 4 ตอน อ.ตะกั่วป่า – บ.เขาหลัก –บ.โคกกลอย จ.พังงา ดังแสดงตามแผนที่ด้านล่าง โดยยกตัวอย่างการออกแบบอาคารระบายน้ำช่วง กม.829+600 – กม.835+150



**รูป** แสดงแผนที่ตั้งโครงการ

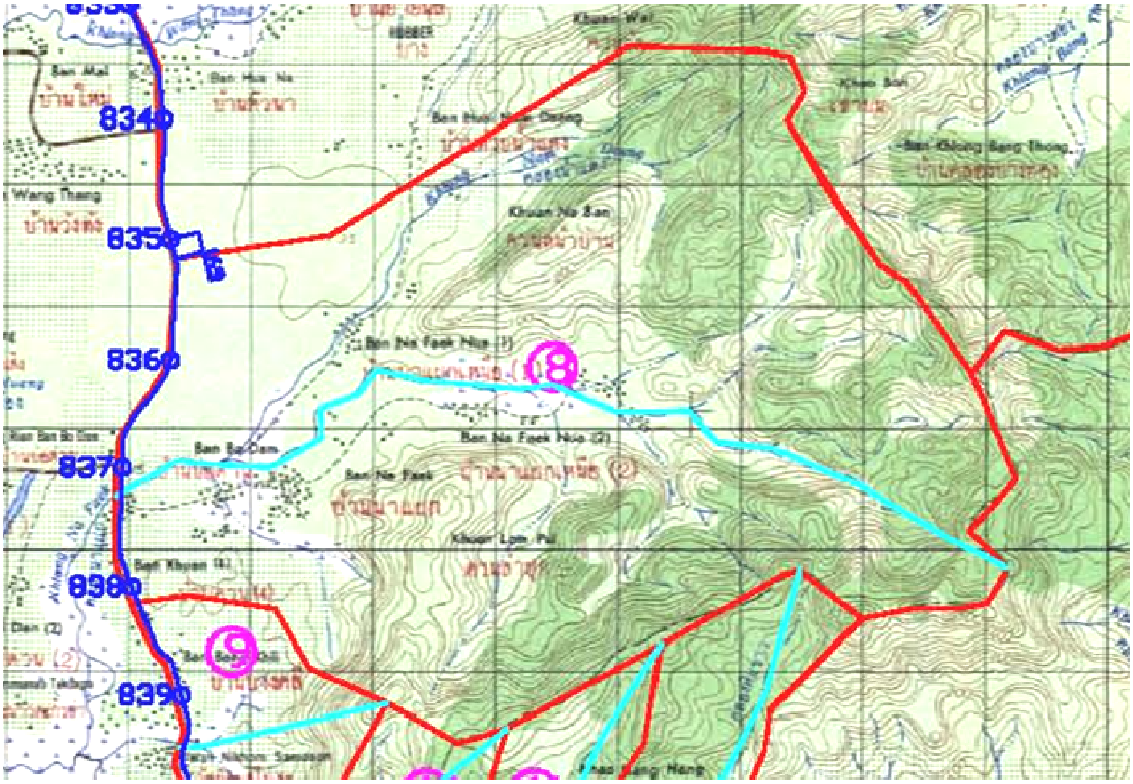
**ขั้นตอนการคำนวณออกแบบอาคารระบายน้ำ**

**1. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ในพื้นที่ที่ออกแบบ และ คำนวณหาปริมาณน้ำ เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ**

**1.1 แบ่งขอบเขตเพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำ**

โดยพิจารณาแนวทางของถนนที่จะออกแบบตามข้อมูลการสำรวจ เปรียบเทียบแนวทางตามที่ปรากฏอยู่ในแผนที่ 1:50,000 ตรวจสอบจุดที่แนวทางตัดกับลำน้ำตามแบบแผนที่แนวทางและระดับจากนั้นแบ่งพื้นที่รับน้ำโดยพิจารณาจากเส้นชั้นความสูง (Contour) ให้แทนพื้นที่รับน้ำฝนด้วยสัญลักษณ์ AR สำหรับพื้นที่ด้านขวาทาง และ AL สำหรับพื้นที่ด้านซ้ายทาง

ตัวอย่างเช่น พื้นที่รับน้ำฝน AL8 (ตามรูปด้านล่าง) คำนวณหาพื้นที่ได้ 24.8 ตร.กม.




**รูป** แสดงตัวอย่างการแบ่งพื้นที่รับน้ำฝน (AL8) ช่วง กม.829+600 – กม.835+150

## 2. การหาปริมาณการไหลของน้ำ

### 2.1. กรณีพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 25 ตร.กม.

การหาปริมาณการไหลของน้ำในพื้นที่รับน้ำฝน สามารถหาได้จากการคำนวณหาปริมาณน้ำที่มากที่สุดซึ่งไหลในช่วงพื้นที่รับน้ำนั้น ตามตัวอย่างนี้พื้นที่รับน้ำฝน AL8 มีพื้นที่น้อยกว่า 25 ตร.กม. จึงสามารถหาปริมาณการไหลของน้ำโดยใช้วิธี Rational Method

$$Q = 0.278\ CIA$$

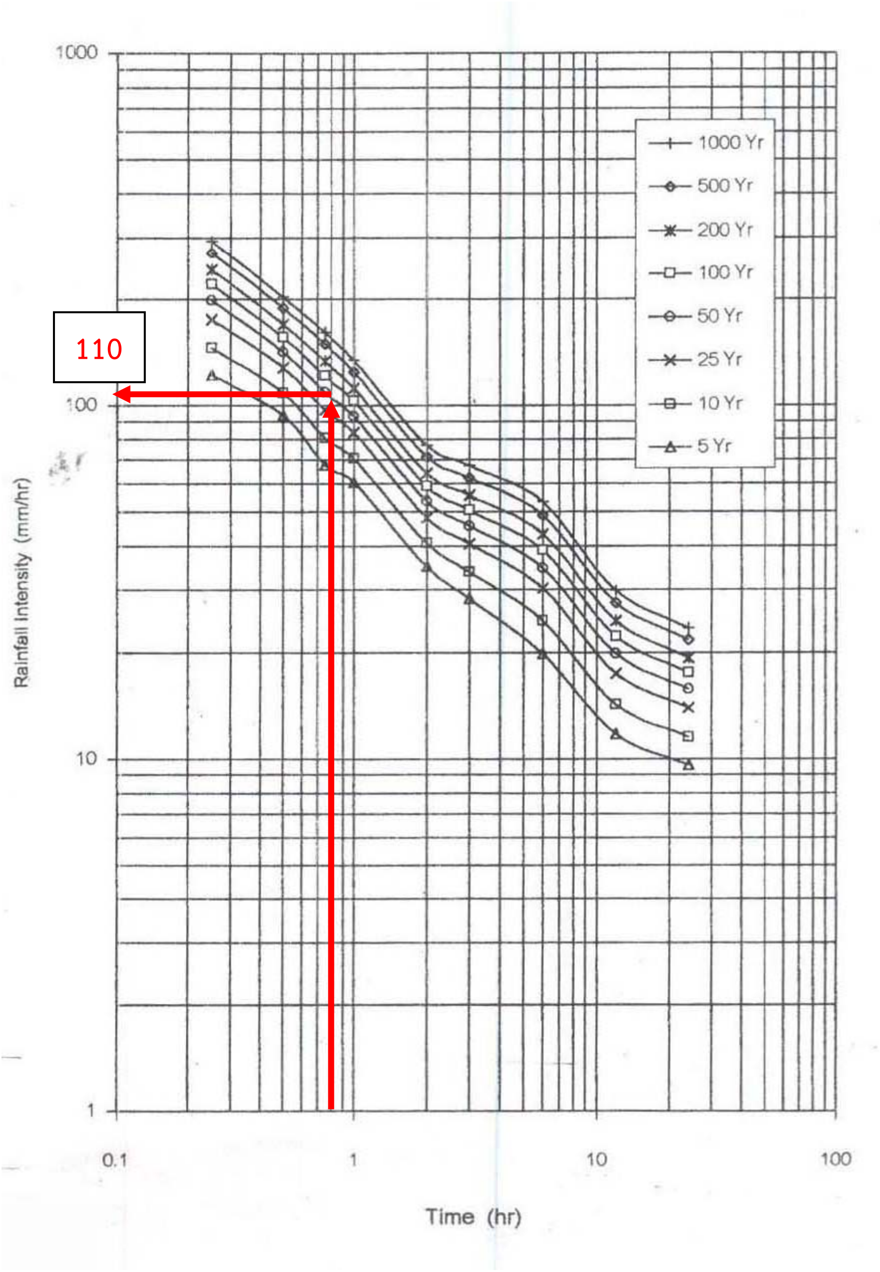
ความเข้มของฝน (I) สามารถอ่านได้จากกราฟ ความเข้ม – ช่วงเวลา – ความถี่ของฝน (Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curves จากข้อมูลฝนที่สถานี อ.เมือง จ.ระนอง

คาบเวลาของฝนที่ใช้ในการคำนวณคือ ระยะเวลาที่สั้นที่สุดของน้ำฝนที่ตก ณ จุดไกลสุดไหลมาสมทบกันถึงบริเวณที่เป็นจุดระบายของทางหลวง ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$T_C = \left\{0.87\frac{L^3}{H}\right\}^{0.385}$$

จากตัวอย่าง พื้นที่รับน้ำฝน AL8 จากแผนที่ 1: 50,000 จะได้ค่า L และ H ดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| L | = | 6.60 | กิโลเมตร |
| H | = | 450 | เมตร |
| Tc | = | $(0.87\ L^3/H)^{0.385}$ | |
| | = | $(0.87\ (6.6)^3/450)^{0.385}$ | |
| | = | 0.80 | ชั่วโมง ( 47.86 นาที) |
| I (รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี) | = | 110 | มม. / ชม |




**รูป** กราฟความเข้มฝน – ช่วงเวลา - รอบปีการเกิดซ้ำ

**การกำหนดกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำบนดิน C**

ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ชนิดของดินและสภาพของสิ่งปกคลุมบนพื้นดิน ดังแสดงในตาราง

| **คุณลักษณะของพื้นผิว** | **รอบปีการเกิดซ้ำ – ปี** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2** | **5** | **10** | **25** | **50** | **100** | **500** |
| **พื้นที่พัฒนา** | | | | | | | |
| ลาดยาง | 0.73 | 0.77 | 0.81 | 0.86 | 0.90 | 0.95 | 1.00 |
| คอนกรีต/หลังคา | 0.75 | 0.80 | 0.83 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.00 |
| **พื้นที่ยังไม่พัฒนา** | | | | | | | |
| พื้นที่เพาะปลูก | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.57 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.60 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.61 |
| ทุ่งหญ้า / ทุ่งหญ้าปศุสัตว์ | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.33 | 0.39 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| **ป่าโปร่ง / ป่าละเมาะ** | | | | | | | |
| 1) เรียบ 0-2 % | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.39 | 0.48 |
| 2) เฉลี่ย 2-7 % | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.56 |
| 3) ชันเกิน 7 % | 0.35 | 0.39 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.52 | 0.58 |

การหาค่า C โดยการประเมินพื้นที่และสภาพลักษณะภูมิประเทศจากตาราง ความลาดชันและรอบปีการเกิดซ้ำ (50 ปี) ลักษณะพื้นที่ ยังไม่พัฒนา เป็นป่าโปร่ง ความชัน 2-7%

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ค่า | I | = | 110 | มม. / ชม. |
| ค่า | C | = | 0.43 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| จากสมการ | Qp | = | 0.278 CIA | |

จากข้อมูลตามขั้นตอนการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| C | = | 0.43 | กิโลเมตร |
| I | = | 110 | มม. / ชม. |
| A | = | 24.8 | ตร. กม. |
| Qp | = | 0.278 (0.43) (110) (24.8) | |
| | = | 326.10 | ลบ.ม./วินาที |

**3. การคำนวณหาพื้นที่ช่องเปิดของการไหล**

**(1) คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำ**

หลังจากคำนวณปริมาณน้ำสูงสุดที่จะใช้ในการออกแบบได้แล้ว ขั้นตอนต่อไป ผู้ออกแบบสามารถคำนวณพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำที่ได้จากสมการ

Areq = Qp/V

จากตัวอย่าง พื้นที่รับน้ำฝน Areq ซึ่งมีปริมาณน้ำไหลมากที่สุด 16.92 ลบ.ม. / วินาที

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Qp | = | 326.10 | ลบ.ม. / วินาที |
| ให้ | V | = | 2.00 | ม. / วินาที |
| ดังนั้น | Areq | = | (326.10) / (2.00) | |
| | | = | 163.05 | ตร.ม. |

ตรวจสอบค่าระดับน้ำจากรูปตัดขวางของลำน้ำ จากระดับน้ำตามข้อมูลสำรวจ

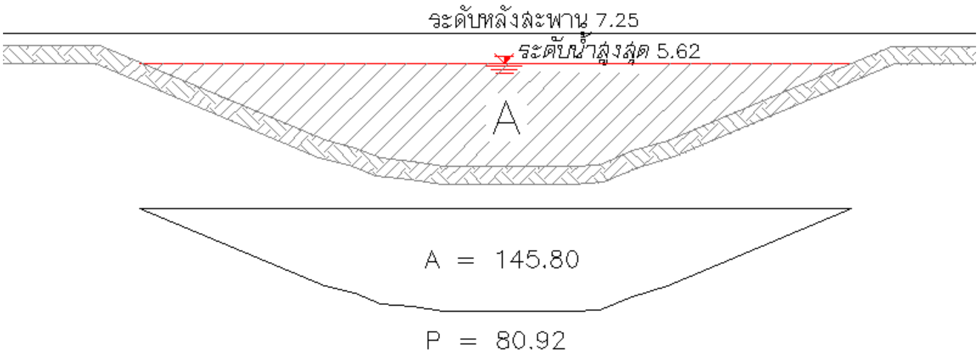
$$Q = \frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A | = | 145.80 | | ตร.ม. |
| R | = | A/P | = | 145.80/80.92 |
| | = | 1.80 | | ม. |
| n | = | 0.035 | | |
| S | = | 1/300 | | |

Q = $1/0.035 \times (145.8)(1.80)^{2/3}(1/300)^{1/2}$

= 355.88 ลบ.ม. / วินาที

เพื่อเป็นการตรวจสอบค่าระดับน้ำสูงสุดจากสนาม และจากการคำนวณ ถ้าค่า Q ที่ได้น้อยกว่าค่า Qp ก็ให้เพิ่มค่าระดับน้ำ ถ้าค่า Q ที่ได้มากกว่า Qp ก็ให้ลดค่าระดับน้ำลง จนกว่า Q จะเท่ากับ Qp ซึ่งผู้ออกแบบพิจารณาหาระดับน้ำได้ตามหลักเกณฑ์ดังกล่าว

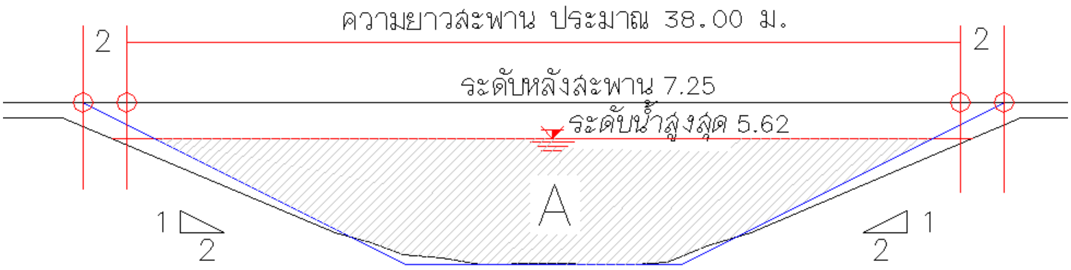



**รูป** ตัดขวางลำน้ำ จากข้อมูลสำรวจ

เมื่อเปรียบเทียบ ปริมาณน้ำจากระดับน้ำสูงสุดของพื้นที่หน้าตัดจากการสำรวจ มีค่ามากกว่า ระดับน้ำจากการหาปริมาณการไหลของน้ำโดยใช้วิธี Rational Method ดังนั้นจึงใช้ค่าปริมาณน้ำจากระดับน้ำสูงสุดจากการสำรวจเป็นตัวกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำได้ เนื่องจาก พื้นที่หน้าตัดดังกล่าวสามารถรับปริมาณน้ำจากการคำนวณปีที่ออกแบบได้

**(2) กำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ**

- ลากเส้นลาดตลิ่ง 2 : 1 จากก้นคลองขึ้นไปตัดกับเส้น Profile ของหลังทาง ทั้ง 2 ข้างของลาดตลิ่ง
- ความยาวรวมโดยประมาณของสะพานหาได้ โดยการวัดจากจุดตัด ทั้งสองฝั่งเข้าไปในลำน้ำ เป็นระยะเท่ากับความหนาของโครงสร้างพื้นสะพานบวกความลึกของ Cross Beam ตอม่อริมฝั่ง คูณด้วย 2

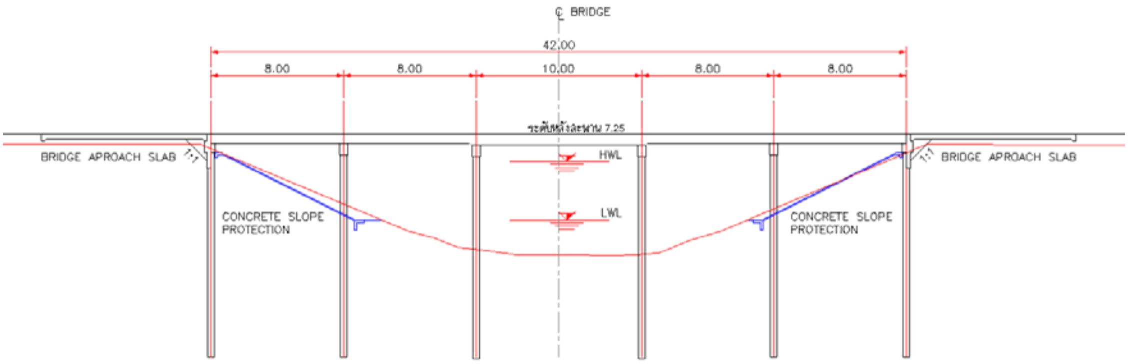



**รูป** ตัดขวางลำน้ำ แสดงการหาความยาวสะพาน

- กำหนดให้สะพานมีขนาดความยาว (2x8.00)+(1x10.00)+(2x8.00) = 42.00 ม. ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำจึงกำหนดความยาวช่วงกลางเป็น 10.00 ม.

- กำหนดให้พื้นสะพาน เป็น คอนกรีตเสริมเหล็ก ชนิด SLAB TYPE หรือ PRESTRESSED CONCRETE TYPE ตามแบบมาตรฐาน

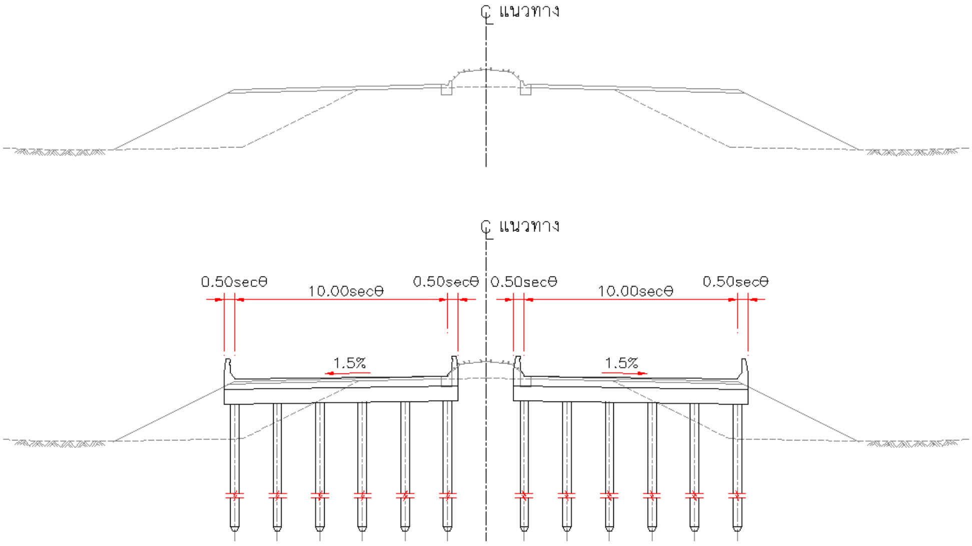
- กำหนดให้มี Concrete Slope Protection และ Bridge Approach Slab ตามแบบมาตรฐาน




**รูป** แสดงรูปตัดตามยาวสะพาน

### (3) กำหนดความกว้างของสะพาน

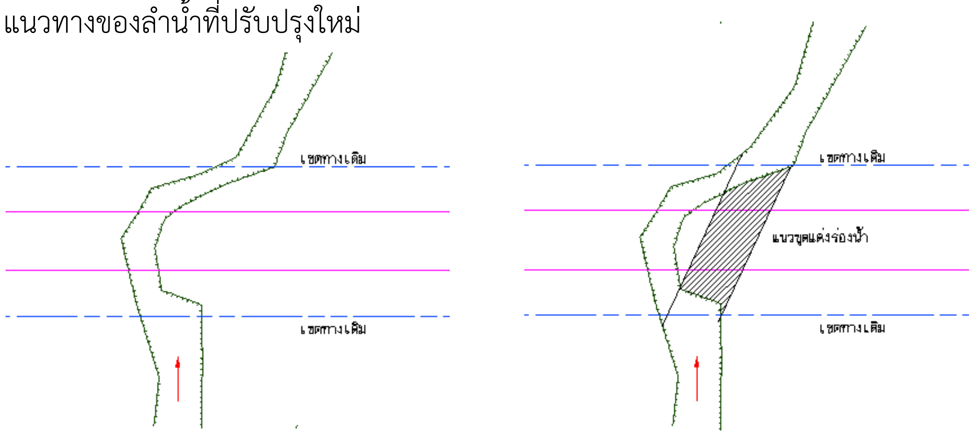
- กำหนดความกว้างของสะพาน ตามรูปตัดของถนน ขนาด 4 ช่องจราจร ของช่วงดังกล่าว โดยกำหนดให้เป็น สะพานคู่ มีทางรถกว้าง 10.00 ม. ขอบทางกว้างข้างละ 0.50 ม.




**รูป** แสดงรูปตัดตามขวางสะพาน

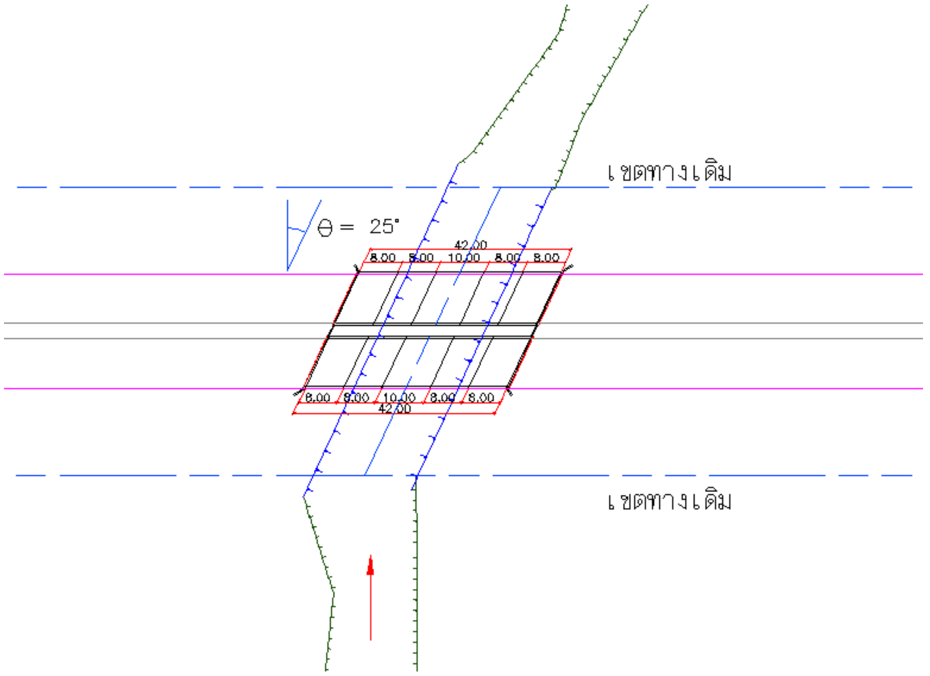
### (4) การกำหนดมุมเฉียง ของสะพาน

- การพิจารณามุมเฉียงของลำน้ำต้องพิจารณาแนวโดยรวมของลำน้ำ จนสุดเขตทางทั้ง 2 ข้าง กรณีที่ลำน้ำมีการคดเคี้ยวในเขตทางอาจจำเป็นต้องปรับแนวลำน้ำภายในเขตทางจนสุดเขตทางโดยอาศัยจุดที่น้ำไหลเข้าสู่เขตทาง และไหลออกจากเขตทางเป็นตัวกำหนดแนวทางของลำน้ำที่ปรับปรุงใหม่




**รูป** แสดงผังร่องน้ำและการขุดแต่งร่องน้ำ

- กำหนดมุมเฉียงของสะพาน เท่ากับ 25 องศา RT และ กำหนดตำแหน่งของสะพานให้สอดคล้องกับมุมเฉียงลำน้ำ โดยตำแหน่งตอม่อจะต้องไม่อยู่บริเวณกึ่งกลางของร่องน้ำหลัก

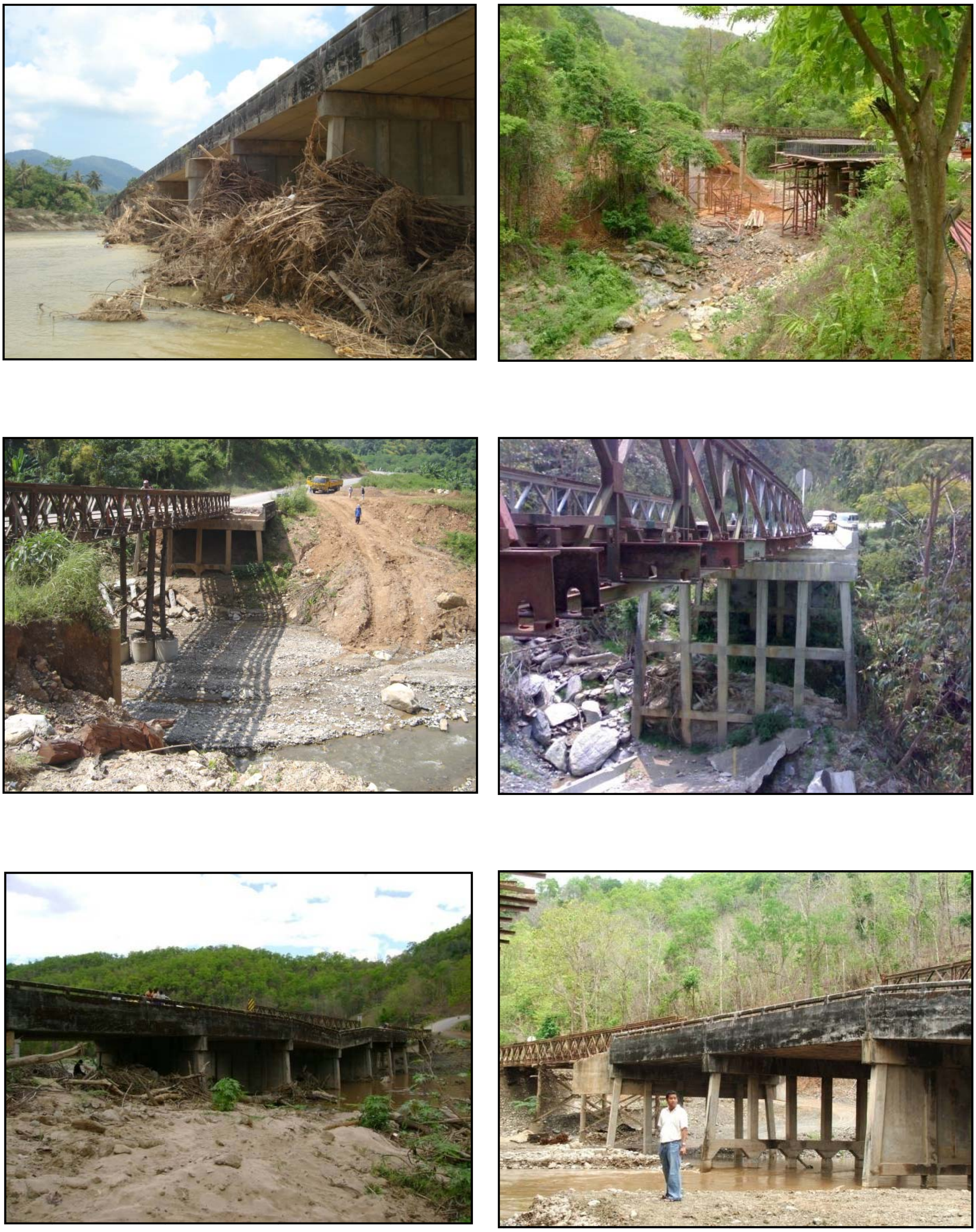



**รูป** แสดงการกำหนดมุมเฉียงสะพาน

## 4.3. ข้อพิจารณาในการออกแบบสะพานในเส้นทางภูเขา

ในการออกแบบสะพานในเส้นทางภูเขาที่มีเศษรากไม้และตอไม้ไหลมาตามลำน้ำ พบว่าสะพานเดิมกรณีเป็นสะพานช่วง 10.00 ม. ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง ตอม่อเป็นแบบ Pile Bent มีแผงกันซุง ในอดีตสะพานเดิมอยู่ได้ เนื่องจากไม่มีเศษรากไม้และตอไม้ แต่ปัจจุบันสภาพพื้นที่เปลี่ยนไปมีการตัดต้นไม้ ทิ้งรากไม้และตอไม้ไว้ เมื่อเกิดน้ำหลากจากฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน กระแสน้ำจะพัดพาเศษรากไม้และตอไม้ดังกล่าวไหลมาตามลำน้ำและมาติดตอม่อสะพาน(เนื่องจากสะพานเดิมใช้ช่วง Span สั้นไม่เหมาะสม) เศษรากไม้และตอไม้สะสมปริมาณมากขึ้นกลายเป็นอุปสรรคขวางทางน้ำและเกิดแรงกระทำทางด้านข้างของสะพานจากแรงดันน้ำเพิ่มมากขึ้น เมื่อสะพานไม่สามารถรับแรงที่เพิ่มขึ้นได้ ทำให้สะพานเกิดความเสียหายและพังทลายได้ในที่สุด ทั้งนี้เมื่อมีการขวางทางน้ำของสะพานจะทำให้เกิดการกัดเซาะกับตอม่อสะพานและบริเวณคอสะพาน ซึ่งกรณีดังกล่าวสามารถสร้างความเสียหายต่อสะพานและคันทางบริเวณคอสะพานได้เช่นเดียวกัน

ซึ่งในเส้นทางภูเขาการออกแบบสะพานกรณีใช้ช่วง Span 10.00 ม. ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวงในอดีต ปัจจุบันสภาพพื้นที่เปลี่ยนไปดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สะพานจะเริ่มพังเสียหายในพื้นที่ภูเขาภาคเหนือเนื่องจากเกิดอุทกภัยในหลายจังหวัด เช่น เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และแพร่ ดังแสดงในรูปที่ 4.3-1 โดยเฉพาะ จ.แม่ฮ่องสอน สาย 1095 ตอน ปาย-แม่ฮ่องสอน เกิดอุทกภัยในปี 2548 สะพานเดิมใช้ช่วง Span 10.00 ม. พังตลอดทั้งสาย และในปี 2554 เกิดอุทกภัยในหลายจังหวัดในภาคใต้ ในเส้นทางที่เป็นภูเขาที่มีเศษรากไม้และตอไม้ไหลมาตามลำน้ำ สะพานที่ใช้ช่วง Span 10.00 ม. พังเสียหายแล้วเช่นกัน



รูปที่ 4.3-1 ตัวอย่างสะพานที่เกิดความเสียหาย

รูปที่ 4.3-1 ตัวอย่างสะพานที่เกิดความเสียหาย (ต่อ)

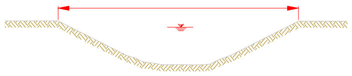
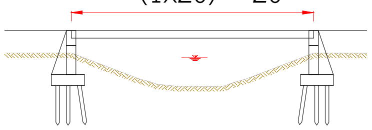
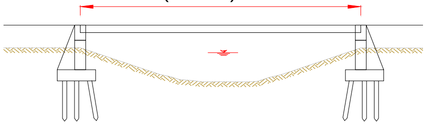
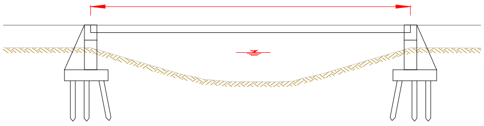
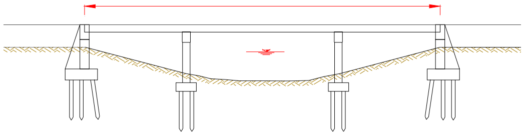
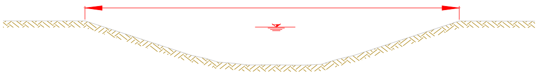
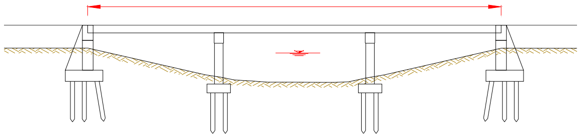
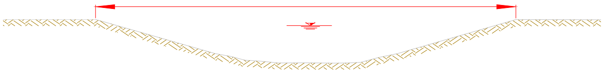
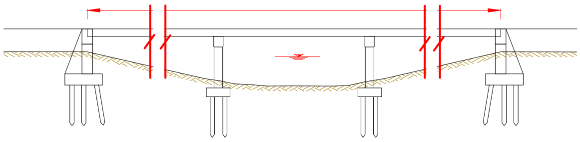
ในการออกแบบสะพานในเส้นทางภูเขาที่มีเศษรากไม้และตอไม้ไหลมาตามลำน้ำจึงจำเป็นต้องใช้สะพานที่ช่วงกว้าง และตอม่อที่แข็งแรง จากการตรวจสอบสะพานเดิมที่มีช่วง Span $\geq$ 20.00 ม. และมีช่องลอดไม่น้อยกว่า 1.50 ม. ในเส้นทางภูเขาภาคเหนือปรากฏว่าไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากเศษรากไม้และตอไม้ไหลผ่านสะพานไปได้ ไม่ติดตอม่อสะพาน จึงมีแนวทางในการออกแบบสะพานในเส้นทางภูเขาที่มีเศษรากไม้และตอไม้ไหลมาตามลำน้ำต้องจัดช่วง Span $\geq$ 20.00 ม. และมีช่องลอดไม่น้อยกว่า 1.50 ม. เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

การออกแบบตอม่อในเส้นทางภูเขาที่มีเศษรากไม้และตอไม้ไหลมาตามลำน้ำจึงจำเป็นต้องออกแบบลักษณะเสาตอม่อกลมหรือเป็นแผงวงรี เพื่อป้องกันเศษรากไม้หรือตอไม้จะไม่มาติดตอม่อสะพาน ทำให้แก้ปัญหาได้โดยตรงจากสาเหตุการพังของสะพาน

**ข้อแนะนำสำหรับการจัดความยาวช่วงสะพานในเส้นทางภูเขา**

สำหรับเส้นทางที่เกิดปัญหาดังกล่าว ควรจัด Span ช่วงกลางน้ำมากกว่า 20 เมตร และมีความยาวสะพานไม่น้อยกว่าความกว้างของร่องน้ำที่พิจารณา ดังแสดงในตารางที่ 4.3-1

**ตารางที่ 4.3-1** ข้อแนะนำสำหรับการจัดความยาวช่วงสะพานในเส้นทางภูเขา

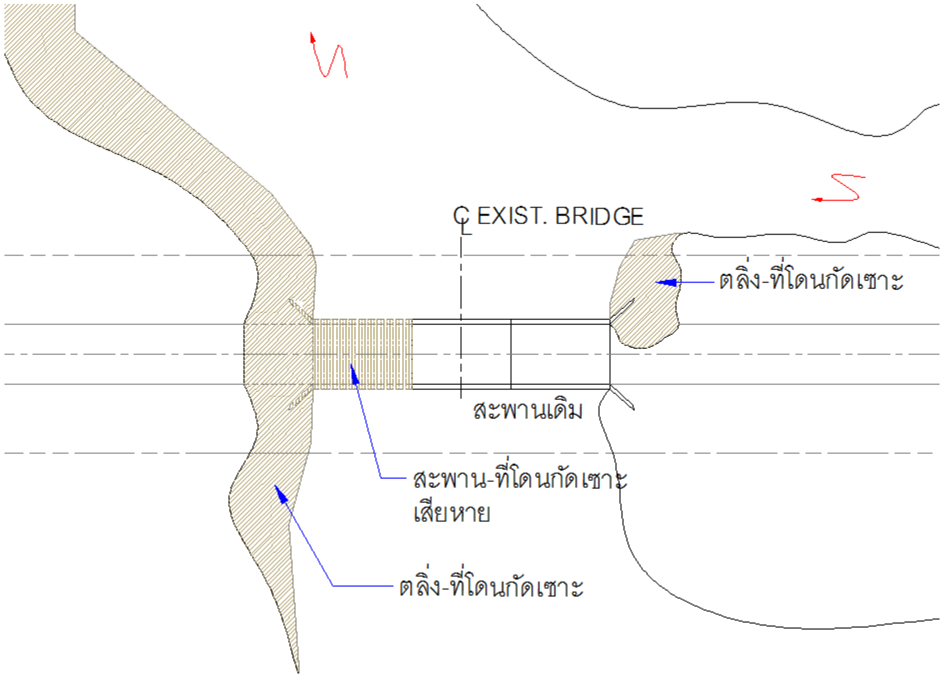
| ความกว้างร่องน้ำ (ม.) | การจัด ขนาดช่วง Span แนะนำ (จำนวนช่วง x ความยาวช่วง Span) = ความยาวสะพาน (ม.) |
|---|---|
| น้อยกว่า 20 ม.  | (1x20) = 20  |
| 20 – 25 ม. | (1x25) = 25  |
| 25 – 30 ม. | (1x30) = 30  |
| 30 – 40 ม. | (1x15)+(1x20)+(1x15) = 50  |
| 40 – 50 ม.  | (3x20) = 60  |
| มากกว่า 50 ม.  | $(n_1x15)+(n_2x20)+(n_3x15) \ge 60$ หรือ $(nx20) \ge 60$  |

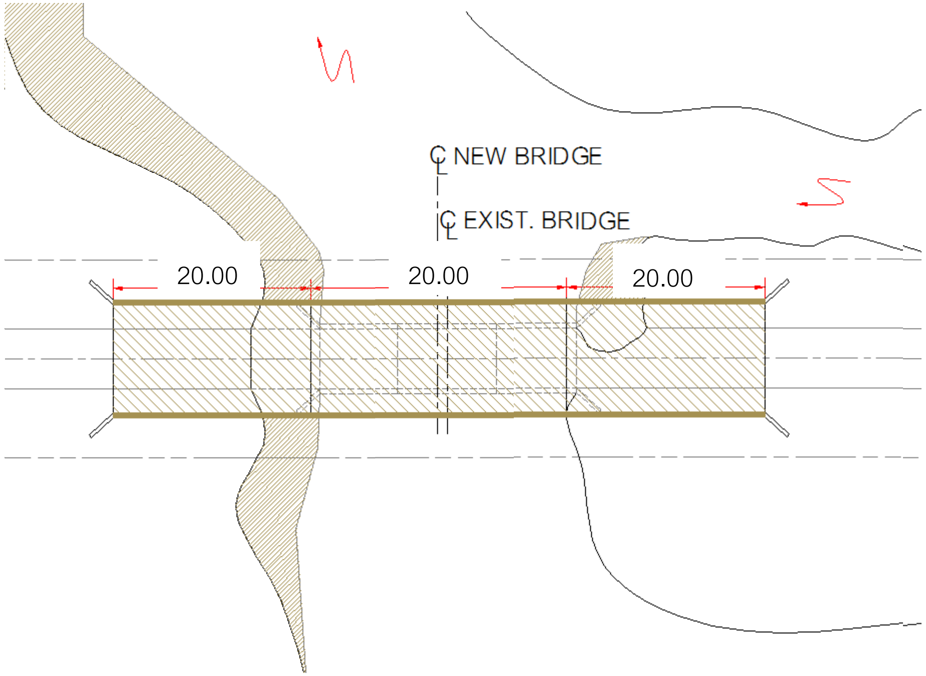
**ตัวอย่าง** แนวทางการออกแบบสะพานในเส้นทางภูเขา

จากปัญหาอุทกภัย ทำให้สะพานเดิมที่มีความยาวช่วง 3x10.00 = 30.00 ม. เกิดความเสียหายที่ตอม่อตับริมและพื้นช่วงแรกพังเสียหาย และมีการกัดเซาะตลิ่งเกิดความเสียหาย ทำให้ไม่สามารถสัญจรไปมาได้ โดยมีความกว้างของร่องน้ำใหม่ 45 ม. ดังแสดงในรูป

รูปที่ 4.3-2 ตัวอย่างสะพานที่เกิดความเสียหาย

จึงดำเนินการออกแบบสะพานใหม่ ให้มีความช่วงกลาง 20.00 ม. ความยาวสะพาน (3x20.00)=60.00 ม. เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

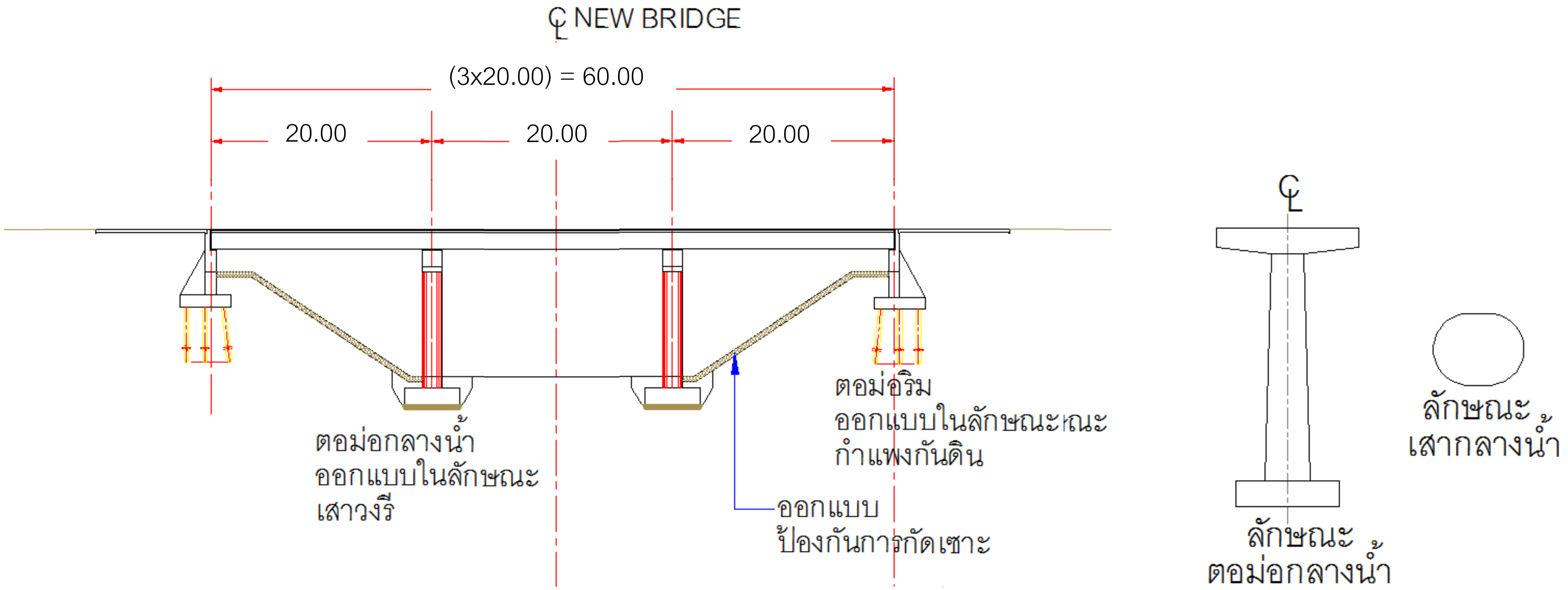



รูปที่ 4.3-3 แสดงตัวอย่างการกำหนดความยาวช่วงสะพาน ในเส้นทางภูเขาที่เสียหายจากปัญหาอุทกภัย

การดำเนินการส่วนหลัก มีดังนี้

1. ดำเนินการออกแบบเสาตอม่อกลางน้ำให้มีลักษณะกลมหรือวงรี
2. ดำเนินการออกแบบตอม่อริมให้มีลักษณะเป็นกำแพงกันดิน
3. ดำเนินการออกแบบ Slope Protection บริเวณคอสะพาน เพื่อป้องกันการกัดเซาะ ตามบทที่ 5



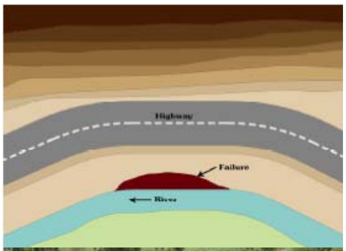
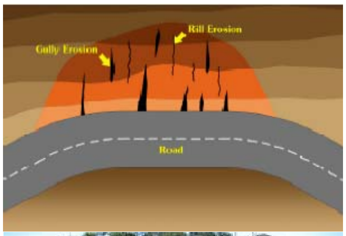

รูปที่ 4.3-4 แสดงตัวอย่างการกำหนดความยาวช่วงสะพานและลักษณะตอม่อ
ในเส้นทางภูเขาที่เสียหายจากปัญหาอุทกภัย

# บทที่ 5
# การป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

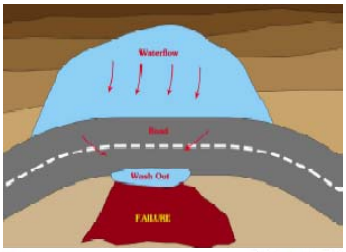
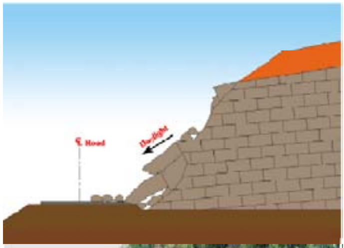
## 5.1 ลักษณะและสาเหตุของการกัดเซาะและการพังทลายในงานทางหลวงกรณีต่างๆ

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมสถิติความเสียหายของเชิงลาด ที่เกิดขึ้นกับคันทางในเขตพื้นที่ภูเขา สามารถสรุปได้ว่า สาเหตุที่ทำให้เชิงลาดเกิดการพังทลายสามารถแบ่งได้เป็น 9 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 5.1

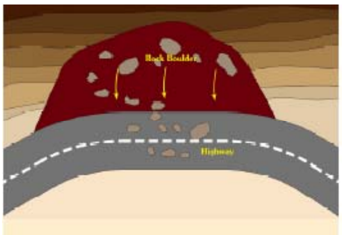
**ตารางที่ 5.1** ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเชิงลาด

| ลักษณะความเสียหาย | สาเหตุ | ภาพประกอบ |
|---|---|---|
| 1. น้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (Erosion at Toe Slope) | - เกิดการกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางของถนนบนเขาที่อยู่ติดลำน้ำ<br>- เนื่องจากฝนตกหนัก ระดับน้ำขึ้นสูง กระแสน้ำ ไหลเร็ว จนเกิดการกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางที่อยู่ติดลำน้ำ ชนิดของดินที่พบในพื้นที่มักเป็นดินปนกรวดทราย |  |
| 2. น้ำกัดเซาะบริเวณผิวหน้า (Surface Erosion) | - การชะล้างผิวหน้าดินของเชิงลาดทำให้เกิดการกัดเซาะแบบร่องเล็ก (Rill Erosion) หรือแบบร่องลึก (Gully Erosion)<br>- เกิดจากการตัดลาดเหนือคันทางหรือการถมลาดคันทางโดยไม่ได้ทำการป้องกันการชะล้างผิวหน้าดินด้วยการปลูกพืชคลุมดิน |  |

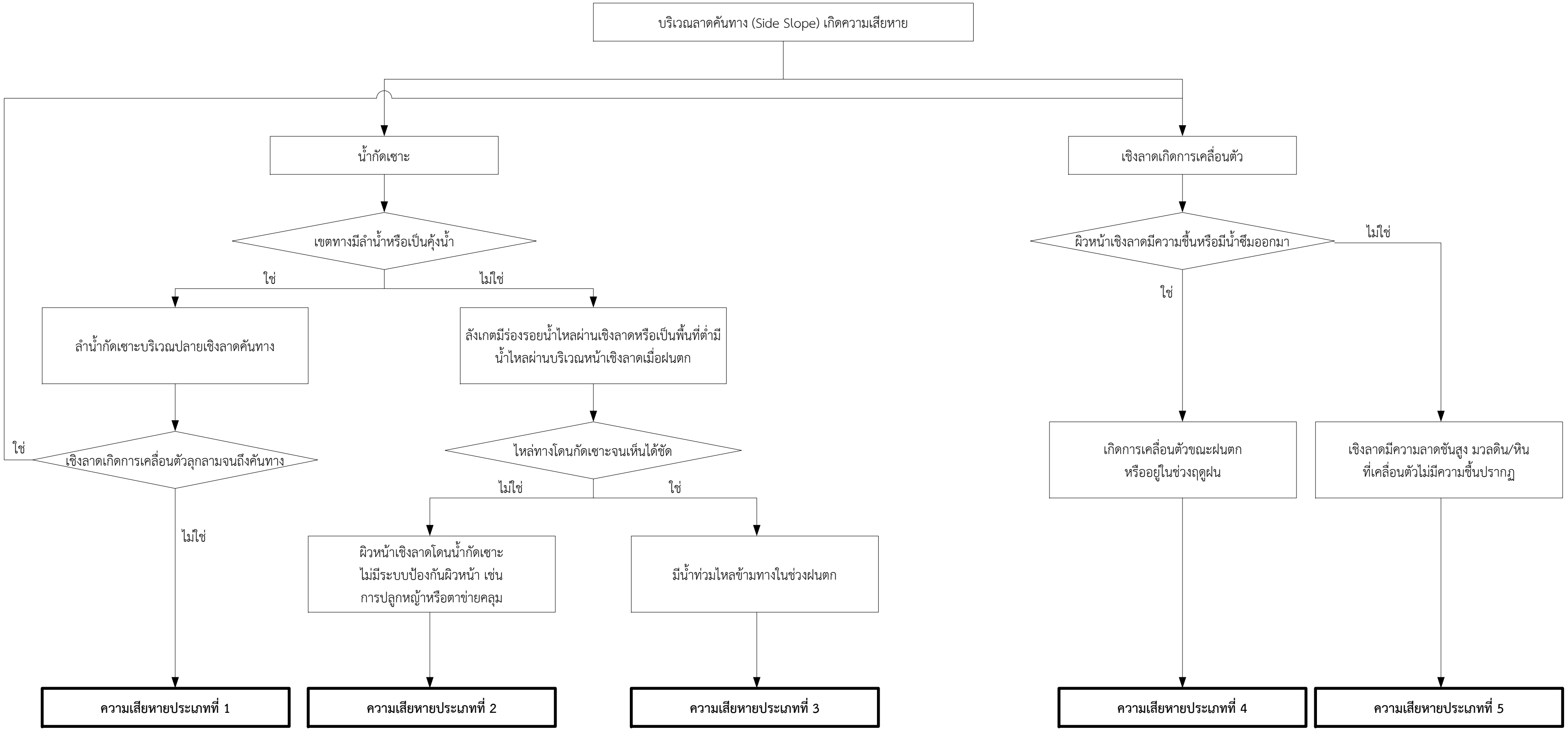
**ตารางที่ 5.1** ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเชิงลาด (ต่อ)

| **ลักษณะความเสียหาย** | **สาเหตุ** | **ภาพประกอบ** |
|---|---|---|
| 3. น้ำไหลท่วมกัดเซาะลาดคันทาง<br>(Erosion by Overflow) | - เกิดการกัดเซาะโดยกระแสน้ำผิวดินที่ท่วมและไหลข้ามบริเวณลาดคันทางบางส่วนจนเกิดการพังทลายของคันทางทั้งหมด<br>- ขาดการจัดการระบายน้ำที่ดี รางระบายน้ำอุดตันทำให้น้ำจากด้านลาดเหนือคันทางหรือน้ำส่วนที่ไหลระบายบนถนนข้ามถนนไปกัดเซาะผิวดินด้านลาดคันทางจนเชิงลาดพังทลาย | <br> |
| 4. การเคลื่อนตัวของมวลดินหรือลาดคันทางที่มีสาเหตุมาจากน้ำใต้ดิน<br><br>5. การเคลื่อนตัวของมวลดินหรือลาดคันทางที่มีสาเหตุมาจากเชิงลาดขาดเสถียรภาพ<br>(Earth Slip caused by Unstable Slope) | - เกิดการเคลื่อนตัวของมวลดินหรือดินปนหินได้ทั้งบริเวณลาดเหนือคันทางและลาดคันทาง<br><br>- เกิดจากน้ำผิวดิน หรือ/และ น้ำใต้ดินทำให้เกิดการสูญเสียแรงต้านทานในมวลดิน(Resisting Force) และดินที่อุ้มน้ำมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจนทำให้เชิงลาดขาดเสถียรภาพและเกิดการพังทลาย | <br> |
| 6.หินเคลื่อนถล่มเนื่องจากรอยแตกในมวลหิน<br>(Wedge & Plane Slide) | - เกิดการเคลื่อนที่ของมวลหินไหลพังทลายลงมาตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่<br>- เกิดจากความไม่ต่อเนื่องในมวลหิน (Discontinuity) มีแนวเอียงเข้าหาถนน (Daylight)โดยอาจมีเหตุสนับสนุนอื่น ๆ เช่น น้ำ แรงโน้มถ่วง แรงสั่นสะเทือน และจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหิน | <br> |

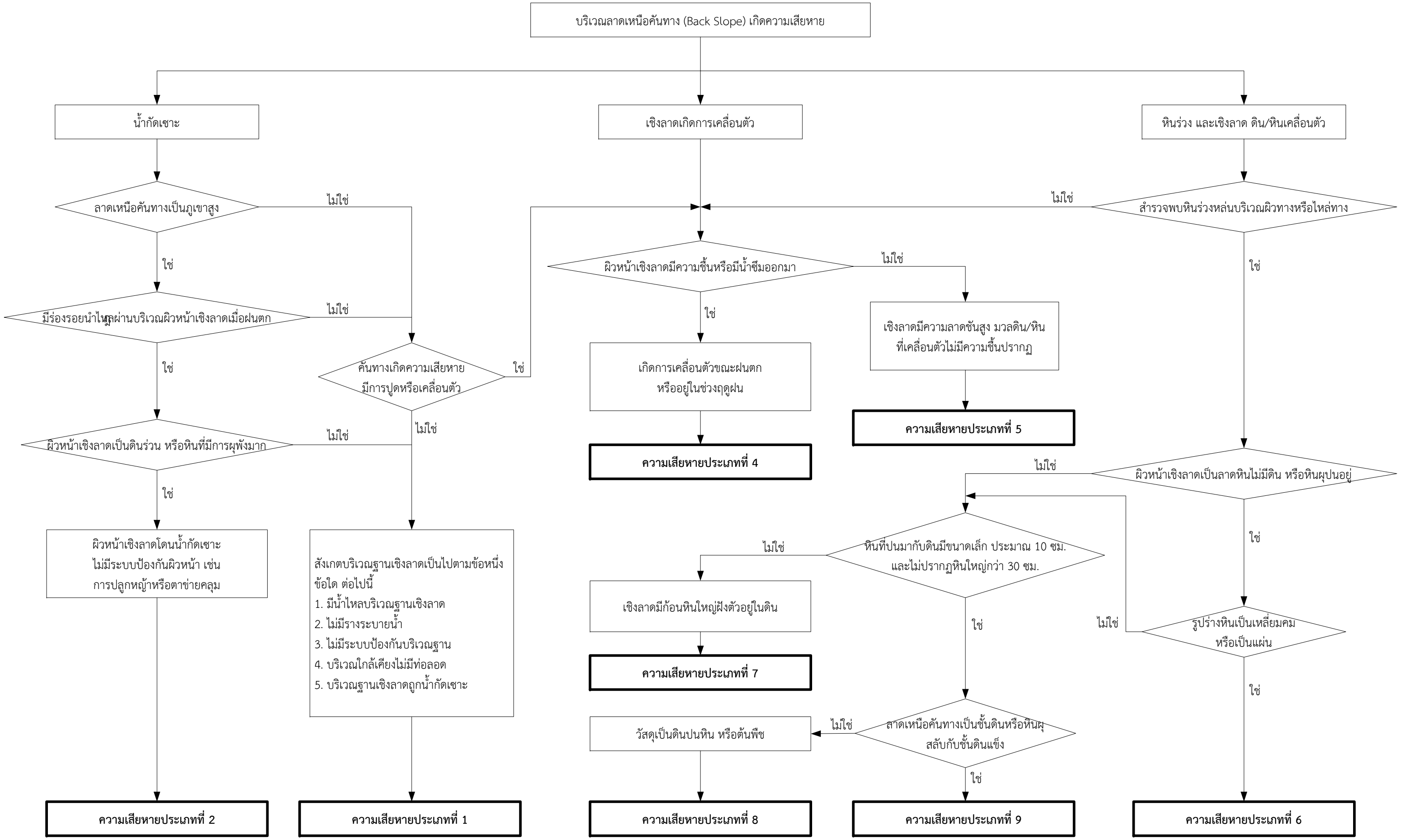
**ตารางที่ 5.1** ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเชิงลาด (ต่อ)

| ลักษณะความเสียหาย | สาเหตุ | ภาพประกอบ |
|---|---|---|
| 7. หินร่วงจากดินตัดที่มีก้อนหินฝังอยู่<br>(Boulder Rock Fall)<br><br>8. ดินปนหินเลื่อนไถลที่มีสาเหตุมาจากการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด<br>(Debris or Talus Flow Caused by Surface Erosion) | - การเคลื่อนตัวของลาดเหนือคันทางทำให้หินที่ฝังตัวอยู่เกิดการหลุดร่วงลงมา<br><br>- การกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดที่ประกอบด้วยชั้นหินที่แตกตัวเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือดินปนหินจนเกิดการเคลื่อนตัว<br>- เกิดจากการกัดเซาะของน้ำใต้ดินหรือน้ำผิวดินทำให้มวลดินในส่วนที่ยึดก้อนหินหลุดออกหรืออาจเกิดจากแรงสั่นสะเทือนต่าง ๆ เช่น แผ่นดินไหว การระเบิดหิน หรือแรงสั่นสะเทือนจากยานพาหนะในพื้นที่ | <br> |
| 9. หินร่วงจากเชิงลาดตัดที่เป็นชั้นดิน/หินที่ผุวางสลับชั้นหินแข็ง<br>(Rock Fall caused by Softand Hard Strata Interbeded) | - ลาดเหนือคันทางมีลักษณะทางธรณีวิทยาแบบสลับชั้นกันระหว่างหินแข็งและดินหรือหินผุ เช่น หินทรายวางสลับกับหินดินดาน- - เกิดจากการไหลหรือสลายตัวของชั้นหินผุ (Soft Strata) เช่น Slaking Rock หินดินดานหรือชั้นดิน ที่มีชั้นหินแข็งที่วางทับอยู่ด้านบน ชั้นหินแข็งจะเกิดการพังทลายตกมายังพื้นด้านล่าง | <br> |

เมื่อพิจารณาถึงความเสียหายแบ่งแยกตามตำแหน่งที่เกิดขึ้นบนเชิงลาด สามารถแบ่งออกได้เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นบนเชิงลาดคันทาง (Side Slope) และความเสียหายที่เกิดขึ้นบนเชิงลาดเหนือคันทาง (Back Slope) รูปที่ 5.1 และ 5.2 แสดงวิธีการจำแนกประเภทความเสียหายต่อเชิงลาดที่เกิดขึ้นบนเชิงลาดคันทาง และเชิงลาดเหนือคันทางตามลำดับ




**รูปที่ 5-1** แสดงการจำแนกประเภทความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเชิงลาดคันทาง




**รูปที่ 5-2** แสดงการจำแนกประเภทความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเชิงลาดเหนือคันทาง

โดยความเสียหายดังกล่าวสามารถจัดเป็นกลุ่มได้ 4 ประเภท คือ

1. ความเสียหายประเภทน้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดและไหล่ทางสาเหตุจากน้ำผิวดิน และน้ำท่วมทาง (Erosion on Back Slope and Side Slope caused by Surface Water and Overflow) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เชิงลาดเกิดการพังทลายได้มากที่สุดถึงร้อยละ 34

2. ความเสียหายที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของมวลดินเนื่องจากอิทธิพลของน้ำ และ/หรือการขาดเสถียรภาพของเชิงลาด (Earth Slip caused by Water and/or Unstable Slope) คิดเป็นร้อยละ 31

3. ความเสียหายจากน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง (Erosion at Toe Slope) สามารถสร้างความเสียหายได้ ร้อยละ 27

4. ความเสียหายเนื่องจากหินร่วงและเชิงลาดดิน-หิน เคลื่อนตัว (Rock Fall and Rock Slide) เป็นสาเหตุที่ทำให้เชิงลาดเกิดการพังทลายได้น้อยที่สุดเพียงร้อยละ 8

และจากผลสำรวจพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากการระบายน้ำทั้งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินที่ไม่เพียงพอเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการพังทลายของเชิงลาดได้ใน 3 ประเภทแรก ซึ่งมีผลต่อการพังทลายของเชิงลาดทั้งสิ้นร้อยละ 92 เมื่อพิจารณาปัญกาที่เกิดขึ้นจากการระบายน้ำ สามารถแยกลักษณะของการพังทลายได้เป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

### 5.1.1 น้ำกัดเซาะฐานเชิงลาด (Toe Erosion)

<u>ลักษณะการพังทลาย</u>

ในกรณีที่คันทางขนานไปกับลำน้ำ เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางของลำน้ำ ทำให้เกิดแรงปะทะกับตัวคันทางที่ก่อสร้าง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเกิดการกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทางของถนนบนเขาที่อยู่ติดลำน้ำ

<u>สาเหตุ</u>

มีสาเหตุหลักมาจากลำน้ำข้างทางที่มีอัตราการไหลเร็วกัดเซาะบริเวณด้านล่างของลาดดิน และกัดเซาะอย่างรุนแรงในฤดูน้ำหลาก โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นคุ้งน้ำที่มีทิศทางการไหลเข้าสู่คันทาง ความเสียหายที่เกิดขึ้นซ้ำซากส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการนำระบบป้องกันไปใช้ไม่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุถมบดอัดไม่ดีพอ และการกำ กับดูแลช่วงการก่อสร้างขาดมาตรฐานที่ดี ชนิดของดินที่พบในพื้นที่มักเป็นดินปนกรวดและดินทราย นอกจากนี้ ปริมาณฝนที่สูงขึ้นทำให้ระยะเผื่อ Freeboard ที่ออกแบบไม่เพียงพอจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดการพังทลาย

**รูปที่ 5-3** แสดงลักษณะความเสียหายเนื่องจากน้ำกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง

**รูปที่ 5-4** แสดงปัญหาความรุนแรงขึ้นของปริมาณฝนทำให้ระยะ Freeboard ไม่เพียงพอ

### 5.1.2 น้ำกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาด (Surface erosion)

<u>ลักษณะการพังทลาย</u>

การที่น้ำพัดพาหน้าดินหรือหินซึ่งขาดพืชพรรณมาปกคลุมไปจากที่เดิม การขาดพืชพรรณปกคลุมนั้น เนื่องจากสภาพแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลมฟ้าอากาศ ความสูงต่ำของภูมิประเทศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งการชะล้างผิวหน้าดินของเชิงลาดทำให้เกิดการกัดเซาะแบบร่องเล็ก (Rill Erosion) หรือแบบร่องลึก (Gully Erosion)

<u>สาเหตุ</u>

เกิดจากการไหลบ่าของน้ำจากที่สูงประกอบกับฝนตกโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก การกัดเซาะอาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่บริเวณยอดของเชิงลาดและเกิดการสะสมตัวจนมาถึงบริเวณด้านล่างของเชิงลาด ปัญหาในลักษณะนี้พบได้ในทุกเขตพื้นที่ศึกษาและเป็นปัญหาต่อเชิงลาดมากที่สุด ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยมากมาจากการขาดการป้องกันในรูปแบบที่เหมาะสม และการไม่ดูแลรักษาพืชคลุมดิน

**รูปที่ 5-5** แสดงการเกิดการชะล้างผิวหน้าจากระบบระบายน้ำที่ไม่เพียงพอ

### 5.1.3 น้ำล้นไหลกัดเซาะคันทาง (Erosion by Overflow)

<u>ลักษณะการพังทลาย</u>

เกิดการกัดเซาะโดยกระแสน้ำผิวดินที่ท่วมและไหลข้ามบริเวณลาดคันทางบางส่วนจนเกิดการพังทลายของคันทางทั้งหมด

<u>สาเหตุ</u>

ขาดการจัดการระบายน้ำที่ดีรางระบายน้ำ Side Ditch อุดตันทำให้น้ำจากด้านลาดเหนือคันทางหรือน้ำส่วนที่ไหลระบายบนถนนข้ามถนนไปกัดเซาะผิวดินด้าน ลาดคันทางจนเชิงลาดสูญเสียเสถียรภาพและพังทลายในที่สุด

**รูปที่ 5-6** แสดงปัญหาการเกิดน้ำท่วมทางก่อให้เกิดการกัดเซาะลาดคันทาง

**รูปที่ 5-7** แสดงการกัดเซาะของเชิงลาดที่เกิดจากการไหลข้ามของน้ำ

### 5.1.4 น้ำกัดเซาะบริเวณคอสะพาน (Scouring)

<u>ลักษณะการพังทลาย</u>

การเกิดการกัดเซาะบริเวณคอสะพานเกิดจากการชะล้างมวลดินหรือหินที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเดินของน้ำทำให้เกิดช่องว่างและส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างสะพาน การกัดเซาะบริเวณคอสะพานเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักในการก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวสะพาน โดยในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ร้อยละ 60 ของสะพานที่เสียหายเกิดจากผลของการกัดเซาะคอสะพานและปัญหาที่เกี่ยวกับการไหลของน้ำในลำน้ำ

<u>สาเหตุ</u>

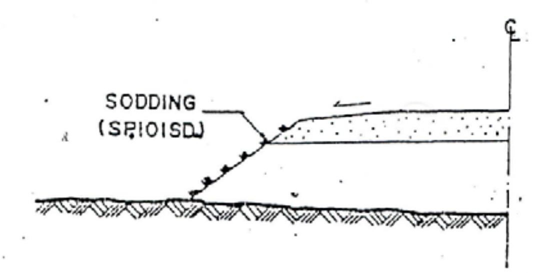
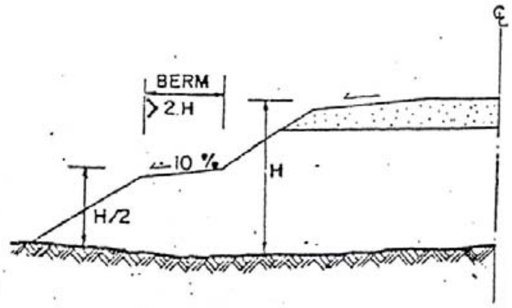
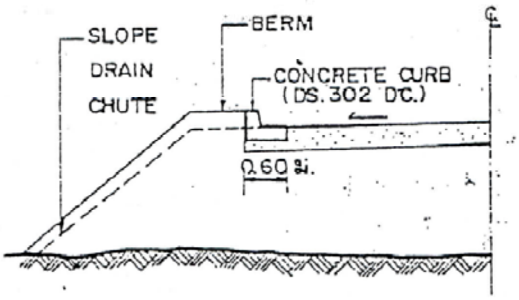
การไหลของลำน้ำทำให้เกิดการกัดเซาะของแม่น้ำ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมของการปะทะกับตลิ่งซึ่งเป็นผลเกิดการกัดเซาะของคอสะพาน นอกจากนี้ เศษสวะที่ลอยมาตามลำน้ำยังมีผลต่อการเกิดการกัดเซาะของคอสะพานอีกด้วย ไม่ว่าจะเป็นการลดความกว้างของการไหลใต้สะพาน หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงทางไหลของน้ำและยังก่อให้เกิดการยกตัวของระดับน้ำเป็นผลให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณอื่นต่อไปอีกด้วย

**รูปที่ 5-8** แสดงการกัดเซาะของเชิงลาดคอสะพาน

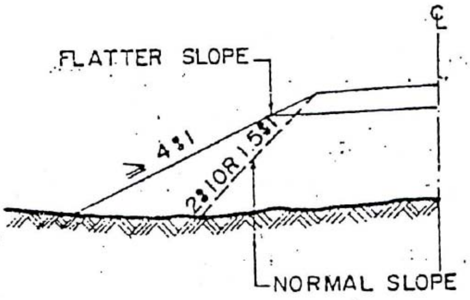
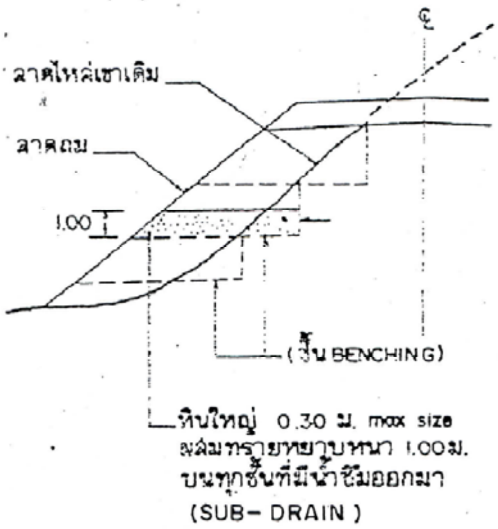
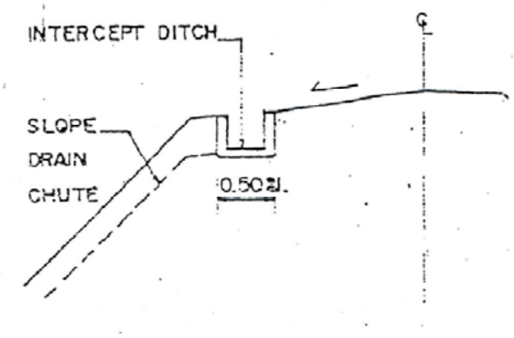
## 5.2 รูปแบบและวิธีการการป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

ในงานการป้องกันการกัดเซาะที่เกิดขึ้นกับทางหลวง สามารถจำแนกได้ตามลักษณะของการกัดเซาะที่เกิดขึ้น และตำแหน่งที่เกิดการกัดเซาะ ทั้งนี้ รูปแบบและวิธีการ จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทั้งด้านวัสดุ เครื่องมือ เครื่องจักรกล และงบประมาณ ตารางที่ 5.2 สรุปแนวทางการป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง เรวมถึงข้อดี และข้อจำกัดในแต่ละรูปแบบ

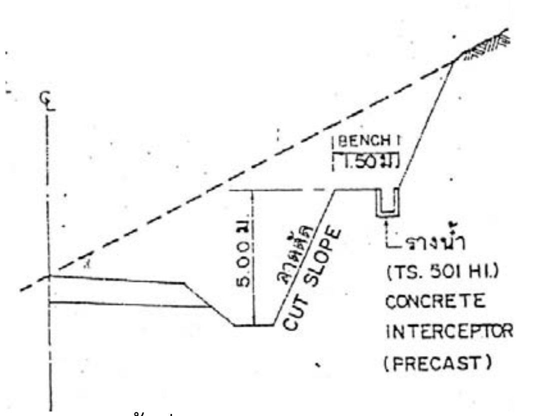
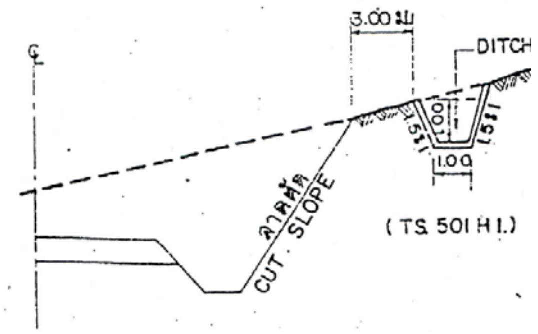
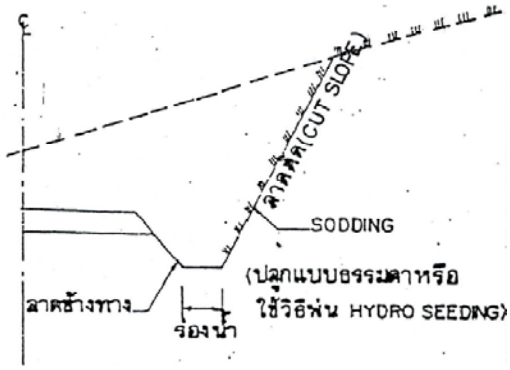
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง

<table>
<tr><th>ลักษณะงาน</th><th>ข้อดี</th><th>ข้อจำกัด</th></tr>
<tr><td colspan="3">1. ลาดถมคันทาง (Side Slopes)</td></tr>
<tr><td>1.1 ปลูกหญ้า (Sodding) แบ่งออกเป็น<br>1.1.1 แบบปลูกเต็มพื้นที่ (Block Sodding)<br>1.1.2 แบบปลูกเป็นแถบ (Strip Sodding)<br>
</td><td>- กระทำได้ง่าย<br>- เสียค่าใช้จ่ายน้อย<br>- ใช้ได้ในกรณีทั่วไป<br>- หญ้าที่ยาวและหนาจะช่วยกักน้ำและตะกอนไว้ไม่ให้เกิดการกัดเซาะลาดคันทางและพื้นที่ประชิดด้านข้าง</td><td>- การปลูกในดินบางประเภทและบางพื้นที่ทำได้ยาก<br>- ป้องกันการกัดเซาะไม่ได้ทั้งหมด<br>- ต้องคอยดูแลและบำรุงรักษา</td></tr>
<tr><td>1.2 สร้างลาดให้เป็นขั้น (Berms or Benches)<br>
</td><td>- ลดความเร็วในการไหลบนลาดคันทางทำให้การกัดเซาะลดลง<br>- ช่วยกักน้ำและตะกอนในแต่ละขั้น<br>- เสริมความมั่นคงของลาดคันทาง</td><td>- งานถมเพิ่มมากขึ้น<br>- ต้องการพื้นที่เขตทางในการก่อสร้าง<br>- อาจทำให้เกิดการหลุดลอกของดิน</td></tr>
<tr><td>1.3 สร้างคันดินที่ส่วนขอบบนของดินถมที่ไหล่ทาง (Berm at Top of Embankment)<br>
</td><td>- ป้องกันการไหลของน้ำบนลาดคันทางจากผิวทาง<br>- บังคับให้น้ำไหลไปตามแนวขนานกับถนนและเปิดให้ไหลลงลาดข้างทางเป็นจุดๆ ตามรางระบายน้ำ<br>- จัดให้เป็นส่วนหนึ่งของไหล่ทางและช่วยกันรถจากการตกลาดข้างทาง</td><td>- ก่อสร้างยากและบดอัดดินลำบาก<br>- ก่อให้เกิดการกักตะกอน<br>- ทำให้ถนนดูแคบลง<br>- เพิ่มปริมาณงานเพราะต้องขยายถนนให้กว้างขึ้น</td></tr>
</table>

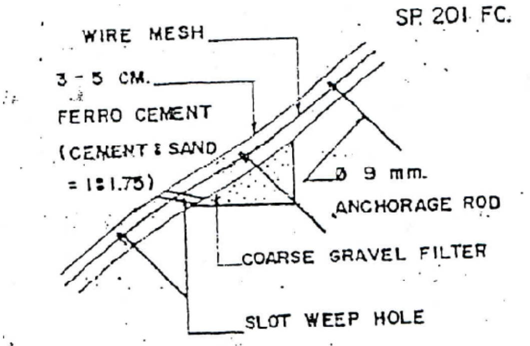
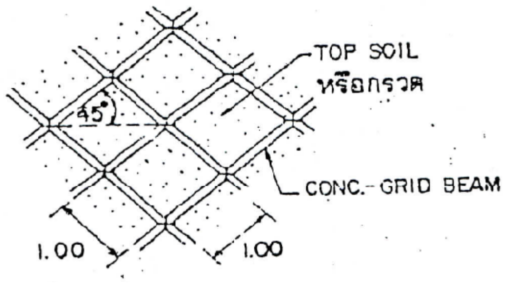
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 1.4 สร้างลาดเอียงให้ลาดน้อยลง (Flatter Slope)<br><br> | - กระทำได้ง่าย<br>- ป้องกันได้ดีพอสมควร โดยเฉพาะสำหรับดินทราย | - เสียงานดินถมมากขึ้น<br>- ไม่ได้ผลเต็มที่ ควรทำร่วมกับการปลูกหญ้า<br>- อาจมีปัญหาในกรณีเขตทางแคบ |
| 1.5 สร้างระบบระบายน้ำใต้ดิน (Sub-drain) ในงานถมลาดไหล่เขา (Side Hill Fill)<br><br> | - เป็นการแก้ไขการพังทลายของลาดข้างทางเนื่องจากน้ำใต้ดินโดยให้น้ำใต้ดินระบายออกได้<br>- ใช้ได้ผลดีพอสมควร | - ค่อนข้างแพง หากวัสดุระบายน้ำหายาก และหากใช้เป็นจำนวนมาก |
| 1.6 สร้างรางระบายน้ำ (Interceptor) บนไหล่ทาง<br><br> | - ดักน้ำให้ไหลไปตามแนวถนน แล้วเปิดรางระบายให้ลงตามลาดคันทางเป็นระยะ | - ทำให้ช่องจราจรดูแคบลง<br>- รถมีโอกาสตกรางระบายได้<br>- เพิ่มปริมาณงานเพราะต้องขยายถนนให้กว้างขึ้น |

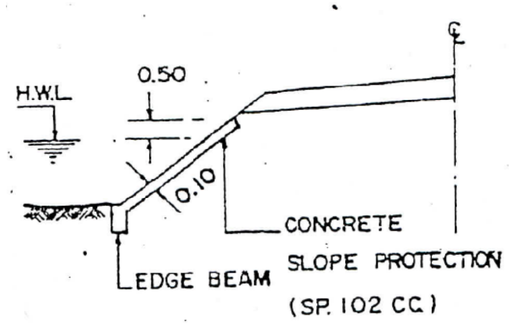
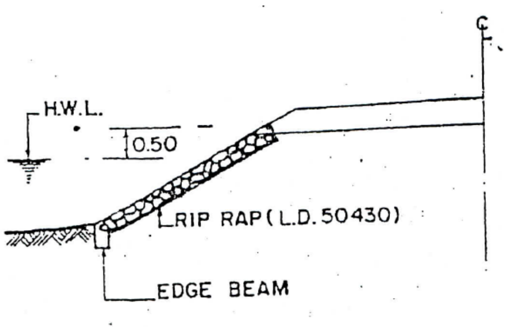
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

<table>
<tr><th>ลักษณะงาน</th><th>ข้อดี</th><th>ข้อจำกัด</th></tr>
<tr><td colspan="3">2. ลาดตัดคันทาง (Cut Slopes)</td></tr>
<tr><td>2.1 ตัดลาดเอียงให้เป็นขั้นๆ (Slope Benches)<br></td><td>- ลดความเร็วของน้ำที่ไหลลงมาจากลาดเอียงทำให้กัดเซาะลาดตัดน้อยลง<br>- ดักตะกอนและน้ำ<br>- เสริมความมั่นคงของลาดงานตัด</td><td>- อาจทำให้เกิดการหลุดลอกของดิน ถ้าน้ำซึมทะลุลงไปง่าย เช่น ลาดตัดในดินปนทราย<br>- ใช้พื้นที่เขตทางมาก<br>- เพิ่มปริมาณงานตัด<br>- ต้องมีการบำรุงรักษา</td></tr>
<tr><td>2.2 ขุดร่องน้ำที่ส่วนบนของลาดงานตัด (Ditch at Top of Cut)<br></td><td>- ดักน้ำที่จะไหลจากยอดเนินมายังลาดตัด<br>- ลดการกัดเซาะที่ส่วนบนยอดของงานตัดและบนลาดงานตัด</td><td>- ชำรุดเสียหายง่ายหากดินถูกกัดเซาะมาก โดยเฉพาะบริเวณข้างรางน้ำ<br>- อาจก่อสร้างลำบากในบางพื้นที่<br>- อาจก่อปัญหาการบำรุงรักษาหากไม่มีการดาดท้องรางระบาย</td></tr>
<tr><td>2.3 งานปลูกหญ้า (Sodding) หรือพืชปกคลุม (Cover Crop)<br></td><td>- สามารถจัดหาและป้องกันลาดตัดจากการกัดเซาะได้ทันที และหาได้ง่าย<br>- ช่วยดักน้ำและตะกอนไม่ให้มีผลกระทบต่อร่องน้ำและลาดตัดข้างทาง<br>- ไม่ต้องบำรุงรักษาในระยะยาวมาก<br>- ราคาไม่แพง<br>- ให้ความกลมกลืนกับธรรมชาติ</td><td>- ใช้พื้นที่เขตทางมากขึ้น<br>- อาจปลูกไม่ขึ้นในบางพื้นที่<br>- จะปลูกเต็มพื้นที่ไม่ได้จนกว่างานตัดจะเสร็จ<br>- การปลูกจะทำได้ยากเพราะความชันของลาดตัด ซึ่งอาจจะต้องตัดแต่งลาดตัดให้เป็นขั้นเล็กๆ (Bench) ตลอดทั้งความสูง เพื่อให้หญ้ายึดเกาะหรือจะต้องใช้วิธีพ่น (Hydroseeding) หรือใช้พืชลักษณะอื่นๆที่ขึ้นง่ายกว่า (Cover Crop)</td></tr>
</table>

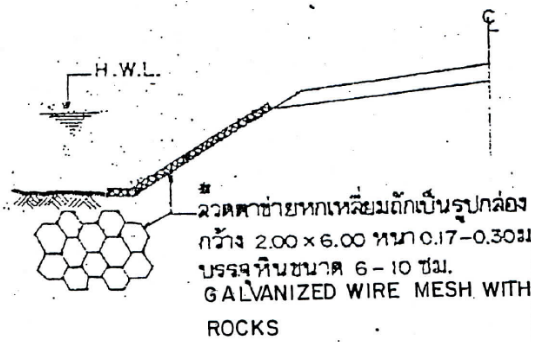
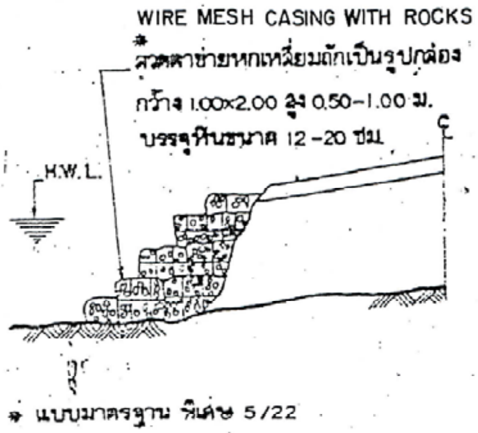
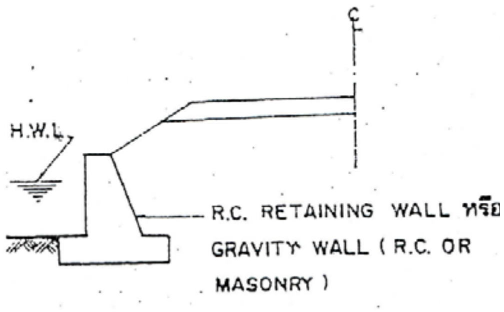
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 2.4 งานป้องกันลาดงานตัดด้วยสิ่งก่อสร้างต่างๆ | | |
| 2.4.1 พ่นซีเมนต์ทับปิดผิวหน้า (Ferro-Cement Protection)<br><br> | - ก่อสร้างได้เร็วและถาวร<br>- ใช้ได้กับลาดตัดทุกสภาพโดยไม่ต้องปรับแต่งมาก<br>- ป้องกันการกัดเซาะได้ดี | - ราคาค่อนข้างแพง<br>- ทำให้ภูมิทัศน์ไม่สวยงามไม่เป็นธรรมชาติ<br>- ทำให้เพิ่มความร้อนของอากาศในบริเวณที่ก่อสร้าง<br>- มีปัญหาในการเลื่อนหลุดได้หากเชิงลาดเคลื่อนตัว |
| 2.4.2 เรียงหินยาแนว (Mortar Rip Rap) | - มั่นคง ถาวร<br>- ป้องกันการกัดเซาะได้แน่นอน<br>- ก่อให้เกิดความมั่นคงของลาดตัด | - หากแตกร้าวและน้ำซึมได้จะเสียหาย<br>- ต้องแต่งลาดตัดให้เรียบ<br>- ราคาแพง<br>- แหล่งหินต้องอยู่ใกล้ |
| 2.4.3 วางคานคอนกรีตในรูปแบบตาราง (Concrete Grid Beam)<br><br> | - ก่อสร้างได้เร็วและค่อนข้างถาวร<br>- ชิ้นส่วนทำสำเร็จรูปจึงไม่ยุ่งยาก<br>- รักษาผิวหน้าของลาดตัดโดยไม่ต้องให้เรียบนัก<br>- น้ำซึมได้โดยไม่เกิดปัญหา และลดความเร็วของน้ำ | - ก่อสร้างลำบากบนลาดตัดที่สูงชัน<br>- ราคาแพง<br>- ต้องหล่อชิ้นส่วนสำเร็จ<br>- หาวัสดุยากในบางพื้นที่ |
| 2.4.4 พ่นยางแอสฟัลต์ (Asphalt) | - ทำได้ง่าย<br>- ป้องกันการกัดเซาะได้พอสมควร | - ทำได้เฉพาะลาดตัดที่ไม่สูง<br>- หลุดร่อนง่าย<br>- ไม่สวยงาม |

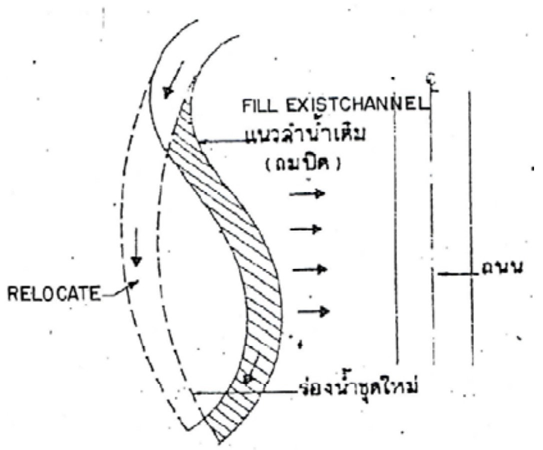
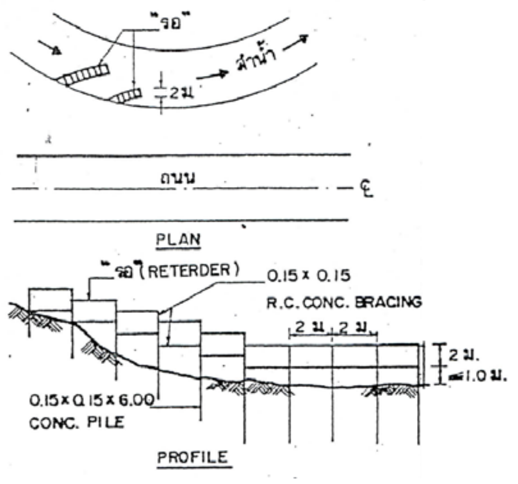
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 3. งานป้องกันลาดข้างทางจากลำน้ำข้างทาง (River Bank) | | |
| 3.1 งานป้องกันลาดด้วยการดาดคอนกรีต (Concrete Slope Protection)<br><br> | - นิยมใช้ทั่วไปเพราะไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องวัสดุและราคาไม่แพงมากนัก<br>- ป้องกันการกัดเซาะได้ถาวร | - กระแสน้ำต้องไม่แรงมาก<br>- ทนต่อการกระแทกรุนแรงไม่ได้<br>- หลุดเสียหายได้ถ้าลาดยุบตัว หรือเมื่อ Edge Beam ชำรุด หลุดเลื่อน<br>- ต้องแต่งลาดให้เรียบ |
| 3.2 งานป้องกันลาดด้วยหินเรียง (Rip-rap Slope Protection)<br>- ทิ้งหินธรรมดา (Plain Rip Rap)<br>- เรียงหินยาแนว (Mortar Rip Rap)<br><br> | - ป้องกันการกัดเซาะได้ถาวร<br>- ให้ความสวยงาม<br>- ไม่ต้องบำรุงรักษามาก | - ต้องมีแหล่งหินภายในระยะ 50 กม.<br>- ก่อสร้างยาก<br>- ทนต่อการกระแทกรุนแรงไม่ได้<br>- หลุดเสียหายได้ถ้าลาดยุบตัว หรือเมื่อ Edge Beam ชำรุด หลุดเลื่อน<br>- ต้องแต่งลาดให้เรียบ |
| 3.3 งานป้องกันลาดด้วยถุงบรรจุดินซีเมนต์ (Sag Concrete)<br> <br> | - โครงสร้างยุบไปตามลักษณะของลาดคันทาง แม้ว่าจะถูกกัดเซาะ หรือลาดเคลื่อนตัว<br>- ใช้ได้กับลาดทุกลักษณะโดยไม่ต้องแต่งให้เรียบมาก<br>- ค่อนข้างทนถาวร | - ราคาแพง<br>- วัสดุหาได้ยากในบางพื้นที่<br>- การกัดเซาะและการกระแทกต้องไม่รุนแรง |

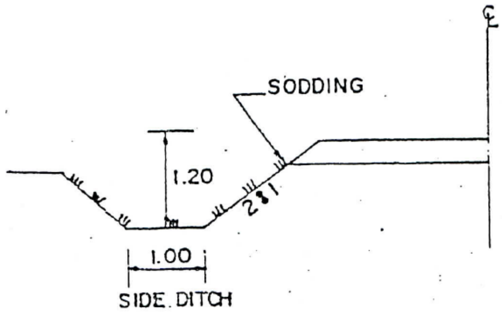
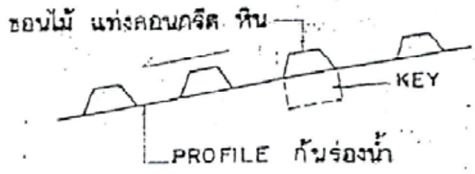
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 3.4 งานป้องกันลาดด้วย Mattress<br><br> | - โครงสร้างยุบไปตามลักษณะของลาดคันทาง แม้ว่าจะถูกกัดเซาะ หรือลาดเคลื่อนตัว<br>- ใช้ได้กับลาดทุกลักษณะ<br>- มีความคงทนถาวร | - ราคาค่อนข้างแพง<br>- มีปัญหากับลวดตาข่ายบางครั้ง |
| 3.5 งานป้องกันลาดด้วย Gabion<br><br> | - ใช้ในลักษณะเดียวกับ Mattress เพียงแต่กล่องใหญ่กว่าและวางในแนวตั้ง<br>- ใช้ในที่ๆมีการกัดเซาะรุนแรงได้ เช่น ตลิ่งที่ชัน<br>- รับการกระแทกจากสิ่งลอยตามน้ำมาได้มาก<br>- เสริมความมั่นคงของลาด<br>- มีความคงทนถาวร | - ราคาค่อนข้างแพง<br>- มีปัญหากับลวดตาข่ายบางครั้ง |
| 3.6 งานป้องกันลาดด้วยกำแพงกันดิน (Retaining Wall)<br><br> | - ใช้ป้องกันลาดในกรณีที่ก่อสร้างลาดเอียงตามปกติไม่ได้ เมื่อคันทางประชิดลำน้ำ<br>- มีความคงทนถาวร | - ราคาแพง<br>- ก่อสร้างยาก |

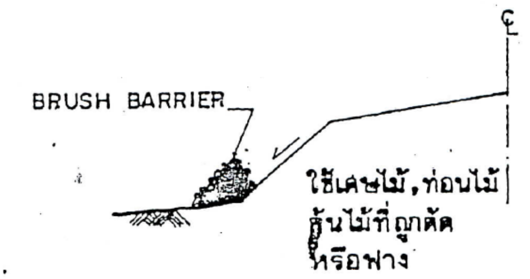
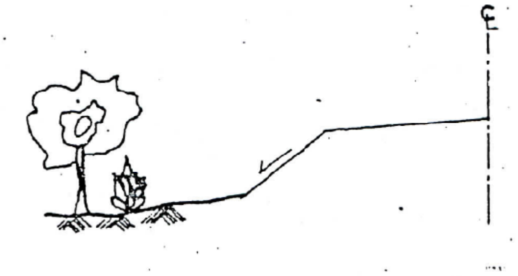
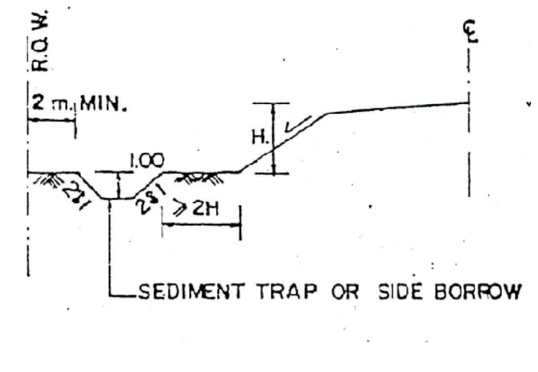
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 3.7 งานเปลี่ยนแนวลำน้ำที่เป็นคุ้งใกล้ทางหลวง (Channel Relocation)<br><br> | - ป้องกันการกัดเซาะพื้นที่ใกล้ทางหลวงซึ่งจะเป็นอันตรายต่อคันทาง<br>- เสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก<br>- ดำเนินการได้ง่าย | - อาจมีปัญหาเรื่องเขตทาง<br>- ร่องน้ำขุดใหม่มักไม่ถาวรอาจต้องมีการดาดท้องคลอง |
| 3.8 งานสร้างสันชะลอความเร็ว (Retarder)<br><br> | - ช่วยหน่วงลดความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องคุ้ง<br>- ใช้วัสดุคอนกรีต ไม้ ท่อนซุง<br>- ป้องกันการกัดเซาะตลิ่งได้พอสมควร<br>- ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จประกอบในสนามได้ง่ายและรวดเร็ว | - ตอกเข็มยากในบางครั้ง<br>- จะมีปัญหาถ้ามีซุง สวะหรือขอนไม้ลอยตามน้ำมามาก<br>- ทนการกระแทกรุนแรงไม่ได้<br>- ราคาค่อนข้างแพง |

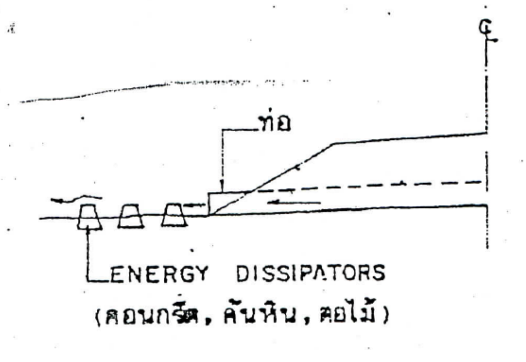
**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 4. งานป้องกันร่องน้ำข้างทาง (Side Ditch) | | |
| 4.1 ปลูกหญ้า (Sodding)<br><br> | - ทำได้ง่าย<br>- ป้องกันได้ทันที<br>- ตกแต่ง ซ่อมแซมได้ในระหว่างก่อสร้าง<br>- ราคาถูก | - ปลูกครั้งแรกต้องคอยบำรุงรักษา<br>- ทนกระแสน้ำที่เร็วและการขัดสีของตะกอนไม่ได้ |
| 4.2 สร้าง Check Dam ที่ก้นร่องน้ำ<br><br> | - ลดความเร็วของน้ำ<br>- ดักตะกอน<br>- วัสดุหาได้ง่าย | - ต้องคอยดูแลรักษา และตักตะกอนออก<br>- ต้องทำ Key ที่ก้นและด้านข้างกันการกัดเซาะ |
| 4.3 สร้างบ่อดักตะกอน (Sediment Trap or Drop Inlet)<br> <br> | - ก่อสร้างง่าย<br>- ดักตะกอนได้ดี ทั้งในก้อนร่องน้ำข้างทาง และบริเวณหน้าปากท่อลอดใต้ถนนเพื่อป้องกันการอุดตันในท่อ | - ต้องคอยดูแลรักษา และตักตะกอนออก |
| 4.4 ดาดผิวร่องระบายน้ำ (Paved Lining) ประกอบด้วย<br>4.4.1 Concrete lining<br>- Plain Concrete<br>- Reinforced Concrete<br>4.4.2 Mortar Rip Rap Lining<br>4.4.3 Asphalt<br>4.4.4 ดินเหนียวบดอัด | - ค่อนข้างถาวร<br>- ทนกระแสน้ำที่เร็วได้ดี<br>- กัดเซาะน้อย | - ราคาแพง<br>- ก่อสร้างยากมากในบางลักษณะ<br>- บางประเภทไม่คงทนถาวร |

**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 5. งานป้องกันพื้นที่ประชิดด้านข้าง (Adjacent Land) | | |
| 5.1 สร้างแนวกั้นต้านทานการไหลของน้ำและตะกอน (Brush Barrier)<br> | - ใช้ต้นไม้ เศษไม้ ที่ถูกตัดในระหว่างการทำ Clearing ที่จะต้องขนทิ้งมาทำเป็นแนวกั้น<br>- ลดความเร็วน้ำ แบะดักตะกอน<br>- ราคาถูก | - ไม่สวยงานในย่านชุมชน<br>- ไม่คงทน |
| 5.2 ปลูกไม้พุ่ม ต้นไม้ หรือรักษาต้นไม้ข้างทางไว้ (Tree & Bush Planting)<br> | - ช่วยลดความเร็วกระแสน้ำและดักตะกอน<br>- รักษาหน้าดินเดิม<br>- ให้ความสวยงามร่มรื่น<br>- สามารถจัดเป็น Rest Area หรือสวนป่าริมทาง<br>- ราคาถูก | - ทำไม่ได้ในย่านที่อยู่อาศัย |
| 5.3 ขุดบ่อดักตะกอน (Sediment Trap) หรือใช้บ่อยืม (Side Borrow)<br> | - ดักตะกอน ลดความเร็วน้ำได้ดีมาก<br>- ใช้เป็นแหล่งเก็บน้ำเพื่อการเกษตร<br>- เสียค่าใช้จ่ายน้อย<br>- ก่อสร้างง่าย<br>- เกิดการพัฒนาหน้าดินภายหลัง | - ต้องใช้พื้นที่มาก<br>- มีปัญหาทางเข้าออก ถ้าเป็นย่านที่อยู่อาศัย |

**ตารางที่ 5.2** งานป้องกันการกัดเซาะพังทลายในงานทาง (ต่อ)

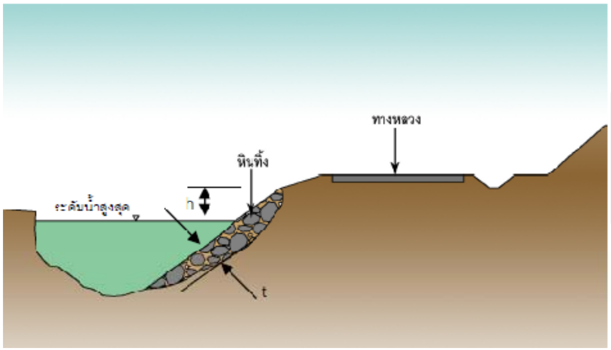
| ลักษณะงาน | ข้อดี | ข้อจำกัด |
|---|---|---|
| 5.4 สร้าง Energy Dissipators ที่ปากท่อด้าน Outlet หรือในร่องน้ำที่ปากท่อด้าน Inlet   | - ลดความเร็วของน้ำที่จะพุ่งเข้าหาพื้นที่ด้านข้างจากปากท่อด้าน Outlet หรือลดการกัดเซาะพื้นที่บริเวณหน้าปากท่อด้าน Inlet<br>- ดักตะกอน | - เศษใบไม้จะติด และต้องคอยทำความสะอาด |

## 5.3 เทคนิคและวิธีการในการป้องกันการกัดเซาะ

การป้องกันการกัดเซาะสามารถใช้เทคนิคและวิธีการก่อสร้าง ซึ่งกรมทางหลวงได้ดำเนินการใช้อย่างแพร่หลาย โดยวิธีการต่างๆนี้ สามารถใช้ในการแก้ไขป้องกันการกัดเซาะที่บริเวณเฉพาะ ดังหัวข้อ 5.2.1 ประกอบด้วย

### 5.2.1 การทิ้งหินและการเรียงหินยาแนว

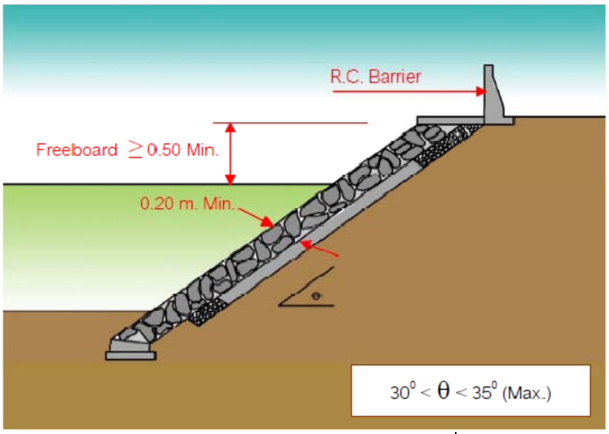
การทิ้งหินเป็นการใช้หินก้อนขนาดใหญ่วางบริเวณตลิ่งที่เกิดการกัดเซาะบริเวณปลายของลาดคันทางเพื่อต้านทานความรุนแรงของกระแสน้ำ การก่อสร้างสามารถทำได้โดยวางเรียงด้วยเครื่องจักรตักมาเทและจัดเรียงด้วยแรงงานคน ความลาดชันของการก่อสร้างด้วยวิธีนี้ควรน้อยกว่า 1:1.5 (อัตราส่วนแนวดิ่งต่อแนวราบ)




| | |
|---|---|
| ความลาดชันของตลิ่ง (V:H) | 1:2 หรือไม่เกิน 1:1.5 |
| ความหนา, t (ม.) | ≥ 0.25 |
| ความสูง, h (ม.) | ≥ 0.50 |
| ขนาดหิน Ø (ม.) | > 0.40 |
| น้ำหนักหิน (กก./ก้อน) | 30 - 50 |

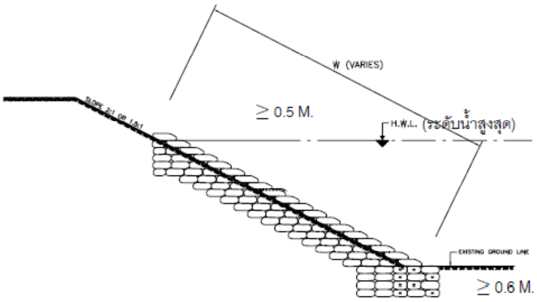
**รูปที่ 5-9** แสดงรูปแบบการใช้หินเรียงเพื่อป้องกันการกัดเซาะ

หินเรียงยาแนว (Rip-Rap Protection) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะโดยการใช้หินก้อนขนาดกลางถึงใหญ่เชื่อมประสานให้เป็นแผ่นด้วยซีเมนต์-ทราย (Mortar) บริเวณผิวหน้าเชิงลาด

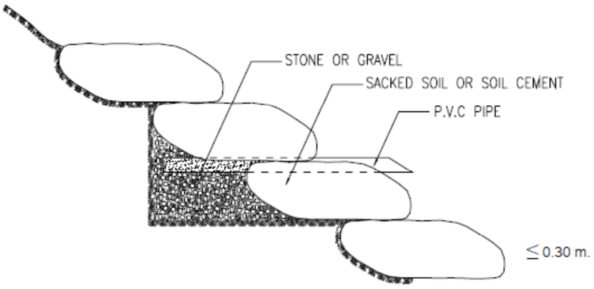



**รูปที่ 5-10** แสดงรูปแบบการใช้หินเรียงยาแนวเพื่อป้องกันการกัดเซาะ

Sacked Soil Cement เป็นการใช้ถุงบรรจุทรายผสมปูนซีเมนต์วางบริเวณตลิ่งที่เกิดการกัดเซาะบริเวณปลายของลาดคันทางเพื่อต้านทานความรุนแรงของกระแสน้ำ ปูนซีเมนต์ที่ผสมเข้ากับทรายจะช่วยให้ป้องกันการกัดเซาะได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งยังป้องกันทรายไม่ให้หลุดลอยไปกับน้ำได้อีกทางหนึ่ง




(ก) รูปแบบการใช้งานทั่วไป

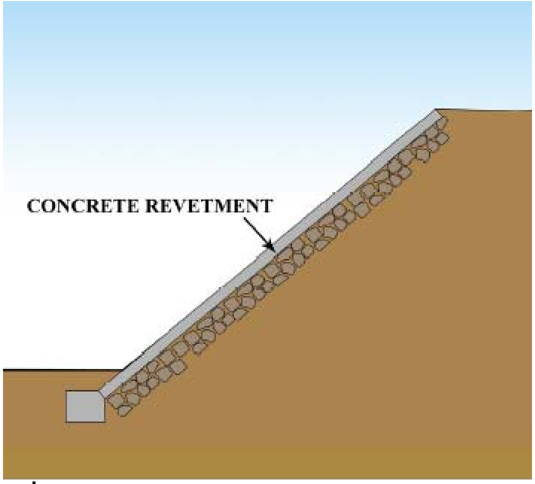



(ข) แบบขยาย

**รูปที่ 5-11** แสดงรูปแบบการใช้กระสอบบรรจุดินซีเมนต์เพื่อป้องกันการกัดเซาะ

### 5.2.2 การดาดผิวหน้าด้วยคอนกรีต

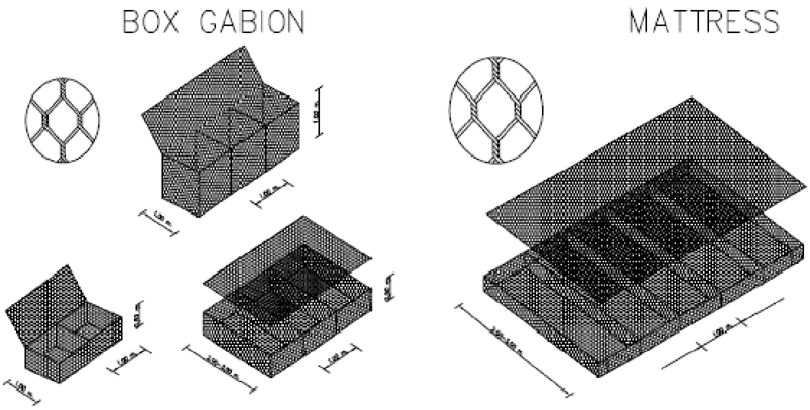
คอนกรีตดาด (Concrete Revetment) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะโดยการใช้วิธีการดาดผิวหน้าเชิงลาดด้วยคอนกรีต




**รูปที่ 5-12** แสดงรูปแบบการดาดหน้าด้วยคอนกรีต

### 5.2.3 การติดตั้งกล่อง Gabion และ Mattress

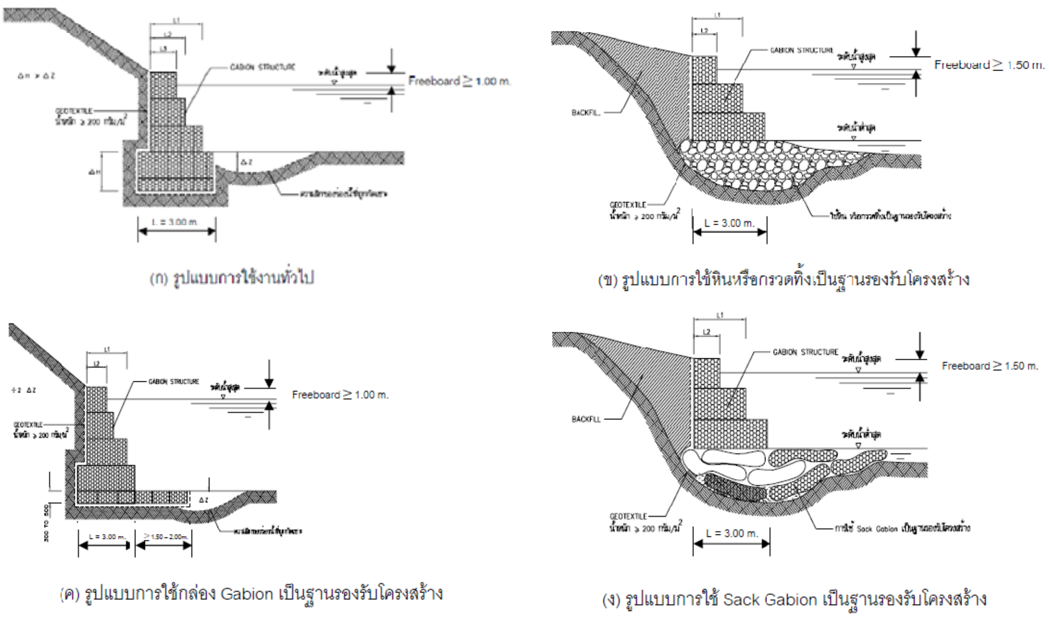
Gabion เป็นโครงสร้างลวดตาข่ายประกอบเป็นกล่องที่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการป้องกันการกัดเซาะบริเวณริมน้ำ และยังทำหน้าที่เสมือนกำแพงกันดินได้ในเวลาเดียวกัน




**รูปที่ 5-13** แสดงรูปแบบของ Gabion และ Mattress

กล่องลวดตาข่ายดังกล่าวเป็นการนำ ลวดมาถักทอเป็นตาข่าย 6 เหลี่ยม มีขนาดช่องเปิดกว้างประมาณ 60-100 มิลลิเมตร และสานเข้าด้วยกันเป็นกล่องภายในบรรจุหินหรือกรวดแม่น้ำ ลวดตาข่ายจะถูกเคลือบด้วยสารกันสนิมหรือพลาสติกตามมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป เช่น มาตรฐานการทดสอบวัสดุของสหรัฐอเมริกา (ASTM A 975-97) หรือมาตรฐานเฉพาะในแต่ละภูมิภาค เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของน้ำหรืออากาศ ขนาดความยาวของกล่องที่ใช้ในการก่อสร้างมีหลายขนาด เช่น 1, 2, 3 และ 4 เมตร เป็นต้น สำหรับกรวดแม่น้ำหรือหินที่บรรจุภายในกล่อง Gabion ควรมีขนาดใหญ่กว่า

ขนาดช่องเปิดของลวดตาข่ายซึ่งโดยทั่วไปควรมีขนาดระหว่าง 100 - 200 มิลลิเมตร (4 - 8 นิ้ว) กล่อง Gabion สามารถผูกยึดเป็นแนวได้ด้วยลวดเบอร์ 13 (2.2 มิลลิเมตร) หรือ ลวดที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน BS 1052/1980 สำหรับชั้นดินฐานรากอาจเป็นได้ ทั้งหินแข็ง ทรายแป้ง หรือดินบดอัด ในกรณีดินถมหลังกำแพงเป็นดินเม็ดละเอียดจะต้องติดตั้งวัสดุกรอง เช่น Geotextile เพื่อป้องกันไม่ให้ดินลอดออกตามช่องหินใน Gabion สำหรับรูปแบบการก่อสร้างตามสภาพพื้นที่และการประยุกต์ใช้งานได้




**รูปที่ 5-14** แสดงรูปแบบการใช้งานของ Gabion ในลักษณะต่างๆ

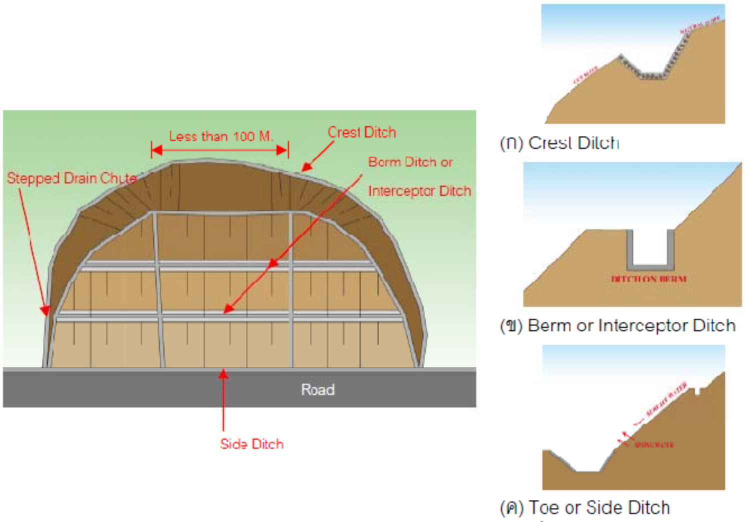
**รูปที่ 5-15** แสดงการใช้งานของ Gabion Wall เพื่อป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง

Mattress เป็นโครงสร้างลวดตาข่ายประกอบเป็นกล่องเช่นเดียวกับ Gabion Wall ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดแต่ขนาดช่องเปิดเล็กกว่า (ขนาดช่องเปิดประมาณ 60 มิลลิเมตร) คุณสมบัติของวัสดุโดยทั่วไปมีความสอดคล้องกับ Gabion Wall

**รูปที่ 5-16** แสดงการใช้งาน Mattress เพื่อป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง

### 5.2.4 การทำระบบระบายน้ำผิวดิน

รางระบายน้ำบนเชิงลาดหรือรางระบายน้ำผิวดินถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการป้องกันการชะล้างพังทลายของเชิงลาด รางระบายน้ำเป็นโครงสร้างที่ควบคุมการไหลของน้ำ อีกทั้งยังเป็นแนวป้องกันการไหลบ่าของน้ำจากภายนอกเชิงลาดที่อาจเข้ามาสร้างความเสียหายได้ อย่างไรก็ดีการใช้รางระบายน้ำแต่ละประเภทนี้อาจเป็นการเพิ่มปัญหาให้กับพื้นที่เสียหายได้มากขึ้นหากไม่มีการออกแบบและศึกษาข้อมูลปริมาณฝนในพื้นที่อย่างเพียงพอตลอดจนในขั้นตอนการก่อสร้าง ยังต้องตรวจสอบความถูกต้องและแน่ใจว่าจุดปล่อยน้ำต้องอยู่นอกพื้นที่ของเชิงลาด หรือไม่สร้างความเสียหายในอนาคต




**รูปที่ 5-17** แสดงรูปแบบระบบระบายน้ำผิวดิน

(ก) Berm Ditch (ข) Drain Chute (ค) Toe Ditch

**รูปที่ 5-18** แสดงลักษณะรางระบายน้ำบนเชิงลาด

### 5.2.5 การใช้วัสดุคลุมดิน

วิธีการนี้เป็นการลดความรุนแรงของเม็ดฝนที่ตกกระแทกมวลดินบนผิวหน้าเชิงลาดซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เศษวัสดุไหลมากองบริเวณเขตทางและควบคุมการกัดเซาะไม่ให้ลุกลามในระดับลึกหรือเกิดความเสียหายแบบร่องเล็ก (Rill) และแบบร่องลึก (Gully) โดยใช้วัสดุคลุมผิวหน้าเชิงลาดเป็นการสลายพลังงานของเม็ดฝนที่ตกมาจากที่สูง วิธีการนี้อาจเป็นการแก้ไขแบบกึ่งถาวรหากมีการโปรยเมล็ดพืชเพื่อคลุมดินต่อไปในอนาคต

ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นวิธีการป้องกันหน้าดินที่มีประสิทธิการภาพและมีค่าใช้จ่ายน้อย ก็คือการปลูกพืชคลุมดินด้วยผ้าห่มดิน (Erosion Control Blanket) และการเก็บกักตะกอน พร้อมควบคุมความแรงจากการไหลของน้ำด้วยหมอนกันดิน (Erosion Control Log) ซึ่งนอกจากวัสดุคลุมดินจะช่วยในการชะลอการชะล้างจากฝนแล้วยังช่วยกักเก็บความชื้นเพื่อช่วยให้พืชที่ช่วยพยุงดิน เช่น หญ้าแฝกเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

**รูปที่ 5-19** แสดงการใช้วัสดุคลุมดิน

### 5.2.6 การปลูกพืชปกคลุมดิน

พืชคลุมดินเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะเชิงลาดที่ดีวิธีหนึ่งโดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าเชิงลาด รากพืชบางชนิดเมื่อเจริญเติบโตในดินแล้วจะมีความหนาแน่นของรากพืชเป็นจำนวนมากจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดาดผิวตามธรรมชาติสำหรับรางระบายน้ำผิวดิน วิธีการนี้มีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับลาดคันทางที่ต้องก่อสร้างใหม่หรือลาดคันทางที่ต้องปรับปรุงแก้ไขหลังจากเกิด

การพังทลายในส่วนของลาดเหนือคันทางบางประเภทวิธีการนี้อาจไม่มีประสิทธิผลมากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะสภาพพื้นดินที่อาจมีความลาดชันมากเกินไปจนไม่เหมาะสมกับการปลูกพืชอีกทั้งมวลดินในบริเวณดังกล่าวไม่มีธาตุอาหารอย่างเพียงพอในบริเวณลาดคันทาง การประยุกต์ใช้พืชคลุมดินนอกจากจะสามารถป้องกันการกัดเซาะได้แล้วยังสามารถป้องกันการพังทลายของเชิงลาดขนาดเล็กหรือ

แนวการวิบัติที่เกิดขึ้นในระดับตื้นได้เนื่องจากพืชบางชนิด มีการขยายตัวของรากเป็นร่างแหลึกลงไปในชั้นดินซึ่งเป็นการช่วยยึดและเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนในมวลดินอย่างไรก็ดี การเลือกใช้พันธุ์พืชในแต่ละภูมิภาคอาจมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศจึงจำเป็น ต้องปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในแต่ละพื้นที่ซึ่งสามารถแนะนำข้อมูลของพืชที่มีความเหมาะสมในบริเวณนั้น ๆ วิธีการนี้ยังให้ผลประโยชน์ทางอ้อมในเชิงการแจ้งเตือนให้มีความระมัดระวัง หรือจัดการแก้ไขปัญหาด้านการพังทลายเนื่องจากน้ำใต้ดินทั้งบริเวณลาดเหนือคันทางหรือลาดคันทาง กล่าวคือ หากสังเกตเห็นว่าพืชเจริญงอกงามในบริเวณเชิงลาดได้ดีเฉพาะส่วน ขณะที่บริเวณอื่นของเชิงลาดตายทั้งหมดในช่วงฤดูแล้งแสดงว่ามีน้ำใต้ดินไหลผ่านบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้ การใช้พืชคลุมดินยังมีความสวยงามและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

(ก) การปลูกหญ้าบริเวณผิวหน้าเชิงลาดช่วงเริ่มแรก

(ข) หญ้าแฝกเจริญเติบโตคลุมผิวหน้าเชิงลาดแลดูสวยงามกลมกลืนกับธรรมชาติ

**รูปที่ 5-20** แสดงการปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด

สำหรับการปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาดสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การปลูกหญ้าเป็นจุด การหว่านถุงบรรจุเมล็ดพืช หรือการใช้เครื่องพ่น โดยในกรณีปลูกพืชด้วยเมล็ดจะต้องใช้วัสดุประเภทใยสังเคราะห์หรือธรรมชาติ เช่น ฟางข้าว หรือใยมะพร้าวนำมาทอเป็นผืนเพื่อคลุมดิน ที่เรียกว่า ผ้าห่มดิน โดยมีหมุดยึดป้องกันการชะล้างผิวดินก่อนหว่านเมล็ดพืช

(ก) วิธีการปลูกเป็นจุด

(ข) วิธีการปลูกโดยใช้ถุงบรรจุเมล็ดพืช

**รูปที่ 5-21** วิธีการปลูกพืชคลุมดินบนเชิงลาด

## 5.3 แบบแนะนำสำหรับการป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

กรมทางหลวง โดยสำนักสำรวจและออกแบบ และสำนักวิจัยและพัฒนางานทางได้จัดทำแบบแนะนำสำหรับงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับงานป้องกันการกัดเซาะในงานทาง ดังแสดงในตารางที่ 5.3

**ตารางที่ 5.3** รายละเอียดแบบแนะนำในงานป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง*

| **แบบแนะนำ** | **ข้อจำกัด** | **ข้อแนะนำ** |
|---|---|---|
| **1. ลาดถมคันทาง (Side Sloope)** | | |
| **1.1 การใช้พืชเพื่อป้องกันเชิงลาด** | | |
| - การปลูกหญ้าบนเชิงลาดถม | - ดินบางประเภทไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช | - จะต้องเลือกใช้พืชที่เหมาะสมกับภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ |
| - การใช้วัสดุปกคลุมผิวหน้าเชิงลาดเพื่อป้องกันการกัดเซาะ | - ใช้สำหรับการป้องกันการพังทลายลักษณะ Erosion เท่านั้น | |
| - การปลูกหญ้าแฝก (Vetiver Grassing for Slope Protection) | - ลักษณะดินที่ปลูกต้องมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโต | - พันธุ์ที่ใช้ให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และภูมิอากาศ |
| - การปลูกหญ้าด้วยวิธีพ่นเมล็ดหญ้า (Hydroseeding) | - เหมาะสมกับเฉพาะบางพื้นที่เท่านั้น | - การประยุกต์ใช้ให้เป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกร |
| **1.2 การใช้โครงสร้างเพื่อป้องกันเชิงลาด** | | |
| - การใช้ Shotcrete | - ไม่กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม | - เชิงลาดที่จะทำการพ่น Shotcrete ต้องมีเสถียรภาพ |
| - Concrete Slope Protection | - อาจเกิดรอยแตกเนื่องจากการเคลื่อนตัวของมวลดินได้ | |
| - Concrete Square Grid Slope Protection | | |
| - Grassing in Concrete Square Grid and Grid Beam | | - ดินถมต้องเป็นหน้าดินที่สามารถให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้ |
| **2. ลาดตัดคันทาง (Back Slope)** | | |
| **2.1 การใช้พืชเพื่อป้องกันเชิงลาด** | | |
| - การปลูกหญ้าแฝก (Vetiver Grassing for Slope Protection) | - ลักษณะดินที่ปลูกต้องมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโต | - พันธุ์ที่ใช้ให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และภูมิอากาศ |
| - การปลูกหญ้าด้วยวิธีพ่นเมล็ดหญ้า (Hydroseeding) | - เหมาะสมกับเฉพาะบางพื้นที่เท่านั้น | - การประยุกต์ใช้ให้เป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกร |
| **2.2 การใช้โครงสร้างเพื่อป้องกันเชิงลาด** | | |
| - การใช้ Shotcrete | - ไม่กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม | - เชิงลาดที่จะทำการพ่น Shotcrete ต้องมีเสถียรภาพ |
| - Ferro-Cement Back Slope Protection | - ไม่กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม | |
| - Concrete Square Grid Slope Protection | | |
| - Concrete Grid Beam Back Slope Protection | | |
| - Grassing in Concrete Square Grid and Grid Beam | | - ดินถมต้องเป็นหน้าดินที่สามารถให้ต้นพืชเจริญเติบโตได้ |

* หมายเหตุ: แบบแนะนำจากการศึกษาโครงการศึกษาการป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

**ตารางที่ 5.3** รายละเอียดแบบแนะนำในงานป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง* (ต่อ)

| เรื่อง | ข้อจำกัด | ข้อแนะนำ |
|---|---|---|
| **3. คันทางขนานลำน้ำ (River Bank)** | | |
| - การใช้กล่องเกเบี้ยนเพื่อป้องกันการกัดเซาะเชิงลาด | | - ความสูง และเสถียรภาพของเกเบี้ยนจะต้องได้รับการออกแบบตามหลักวิศวกรรม |
| - การใช้ Mattress เพื่อป้องกันการกัดเซาะเชิงลาด | | |
| - การป้องกันการกัดเซาะด้านต้นน้ำและท้ายน้ำของท่อลอดกลมและท่อลอดเหลี่ยม | - แนะนำการใช้งานเกเบี้ยน และแมทเทรสเพื่อป้องกันโครงสร้างการระบายน้ำของถนน | |
| - การป้องกันการกัดเซาะคอสะพาน และตอม่อสะพาน | | |
| - Concrete Slope Protection | - อาจเกิดรอยแตกเนื่องจากการเคลื่อนตัวของมวลดินได้ | - ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถหาหินใหญ่ในพื้นที่ใกล้เคียงได้ |
| - การใช้กระสอบเรียงป้องกันลาดคันทาง (Sack-Concrete Slope Protection) | | |
| - การใช้หินเรียงป้องกันลาดคันทาง (Rip-Rap Protection) | | |
| **4. รางระบายน้ำ (Drainage)** | | |
| - Side Ditch Lining & Drop Inlet Cross Drain | - ลักษณะการดาดรางระบายน้ำให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ | - การจัดตำแหน่งรางระบายน้ำ และพื้นที่ทิ้งน้ำให้เหมาะสมกับลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่ |
| - Concrete Ditch at Hillside | | |
| - Asphalt and Concrete Curb & Drain Chute for Embankment Protection | - การใช้งาน Asphalt Curb เป็นโครงสร้างระบายชั่วคราว | |
| - R.C. Drain Outlet for R.C.P. Culvert | | |
| - Catch Basin at Inlet for R.C.P. Culvert | | |
| - Stepped Drain Chute | | - การใช้งาน Stepped Drain ให้พิจารณาควบคู่กับการใช้งานเป็นทางสำหรับตรวจสอบความเสียหายของเชิงลาดในอนาคตด้วย |

* หมายเหตุ: แบบแนะนำจากการศึกษาโครงการศึกษาการป้องกันการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

# บทที่ 6
# การออกแบบอาคารระบายน้ำโดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

## 6.1 การระบายน้ำตามประเด็นของ สผ. และ EIA

จากการประชุมคณะกรรมการผู้ชำนาญการพิจารณารายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านคมนาคมของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ หรือโครงการร่วมกับเอกชน ประกอบด้วยโครงการก่อสร้างทางหลวงดังต่อไปนี้

1. โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายบางปะอิน-นครสวรรค์
2. โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายนครปฐม-ชะอำ
3. โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายพัทยา-มาบตาพุด
4. โครงการทางหลวงสายวงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานคร รอบที่ 3 (แนวเส้นทางด้านตะวันออก)
5. โครงการเร่งรัดขยายทางสายประธานให้เป็น 4 ช่องจราจร (ระยะที่ 2) ทางหลวงหมายเลข 105 ตอน ตาก-อำเภอแม่สอด
6. โครงการทางหลวงหมายเลข 107 ตอน อ.เชียงดาว-อ.ฝาง
7. โครงการทางหลวงหมายเลข 118 สายเชียงใหม่-เชียงราย ตอนอำเภอดอยสะเก็ด-บ้านแม่เจดีย์
8. โครงการทางหลวงหมายเลข 1080 ตอนบ้านปอน-บ้านปากหก-ห้วยโก๋น
9. โครงการทางหลวงหมายเลข 4006 บ้านราชกรูด-อำเภอพะโต๊ะ-อำเภอหลังสวน
10. โครงการเร่งรัดขยายทางสายประธานให้เป็น 4 ช่องจราจร (ระยะที่ 2) ทางหลวงหมายเลข 12 สาย พิษณุโลก - อำเภอหล่มสัก
11. โครงการก่อสร้างขยายทางสายประธานให้เป็น 4 ช่องจราจร (ระยะที่ 2) ทางหลวงหมายเลข 4 สาย ตรัง ถึงพัทลุง ตอน บ้านนาโยงเหนือ-เขาพับผ้า (บ้านนาวง)

จากโครงการทางหลวงดังกล่าว สรุปรายละเอียดของการประเมินผลกระทบต่อการระบายน้ำตามประเด็นของ สผ. และ EIA ของโครงการทางหลวงดังรายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบอาคารระบายน้ำต้องพิจารณาสภาพการระบายน้ำและร่องระบายน้ำตามธรรมชาติ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่เกษตรกรรมของประชาชนตลอดแนวเส้นทางโครงการ

2. ให้แสดงปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำ พื้นที่รับน้ำ (Catchments Area) และพื้นที่ระบายน้ำ (Drainage Area) และให้พิจารณาข้อมูลการศึกษาด้านพื้นที่รับน้ำของหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พื้นที่รับน้ำย่อย (Sub Basin) ของกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ เป็นต้น

3. ระบุขนาดของพื้นที่ช่องเปิดอาคารระบายน้ำก่อนและหลังมีโครงการให้ชัดเจนเพื่อยืนยันว่ามีขนาดเท่ากับหรือมากกว่าก่อนมีโครงการ และต้องไม่เกิดปัญหาน้ำท่วมขังโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก

4. กรมทางหลวงต้องรักษาสภาพลำน้ำบริเวณที่มีเส้นทางตัดผ่านให้มีทางน้ำธรรมชาติเช่นเดิม โดยต้องออกแบบให้เป็นโครงสร้างสะพานข้าม เมื่อเส้นทางตัดผ่านทางน้ำสาธารณะที่มีความกว้าง 3 เมตรขึ้นไป แทนการสร้างเป็นแบบท่อลอด

5. กรณีออกแบบสะพานใหม่ควรพิจารณาออกแบบให้มีเสาตอม่อในลำน้ำน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการกีดขวางการระบายน้ำ รวมทั้งป้องกันไม่ให้ท่อนซุงหรือกิ่งไม้ติดค้างที่ตอม่อสะพาน

6. ระบุรายละเอียดของแหล่งน้ำช่วงที่สะพานข้ามผ่าน ได้แก่ ความกว้างและความลึกของลำน้ำ ความยาวของสะพาน รูปตัดขวางทางน้ำบริเวณที่จะก่อสร้างสะพานข้าม ความสูงของระดับน้ำในฤดูฝน (น้ำขึ้นสูงสุด) และฤดูแล้ง (น้ำลงต่ำสุด) ที่ได้จากการตรวจวัดจริง ความสูงจากระดับน้ำในแม่น้ำถึงสะพาน ระดับน้ำทะเลหนุนตามฤดูกาล (กรณีโครงการที่มีอิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล) สภาพการกัดเซาะหรือการทับถมของตะกอนแม่น้ำบริเวณใกล้เคียงพร้อมแผนผังและภาพประกอบให้ชัดเจน

7. พิจารณาเปลี่ยนแบบอาคารระบายน้ำจากท่อลอดเหลี่ยม (Block Culvert) ให้เป็นสะพานในบริเวณที่ลำน้ำกว้างไม่น้อยกว่าลำน้ำธรรมชาติ

8. ทบทวนการประเมินการระบายน้ำในพื้นที่โครงการ โดยพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่และวิธีการประเมิน ทั้งนี้ให้พิจารณาถึงการท่วมขังของน้ำจากโครงการ ระบุเหตุผลในการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C) และการพิจารณาค่าความเร็วการไหลของน้ำและการกัดเซาะจากกระแสน้ำให้เหมาะสม พร้อมทั้งระบุที่มาหรือเหตุผลในการเลือกใช้ค่าความเร็วของการไหลดังกล่าว

9. ประเมินผลกระทบในภาพรวมว่าการดำเนินโครงการจะเกิดผลกระทบด้านการสูญเสียพื้นที่รับน้ำหรือกีดขวางการไหลของน้ำตามธรรมชาติในระดับใด

10. ในกรณีที่มีการปรับปรุงโครงสร้างสะพาน เช่น การปรับปรุงตอม่อสะพานใหม่เพื่อให้เหมาะสมและสามารถรองรับการพัฒนาโครงการได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น รายงานต้องมีการประเมินผลกระทบด้านอุทกศาสตร์และกำหนดมาตรการลดผลกระทบที่เหมาะสม ทั้งนี้ต้องใช้ข้อมูลอุทกศาสตร์

และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพน้ำธรรมชาติที่อยู่ในบริเวณตำแหน่งการก่อสร้างสะพานใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบและประเมินผลกระทบ เช่น ข้อมูลการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำโดยชุมชน ทรัพยากรชีวภาพในน้ำที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการดำเนินการของโครงการ พร้อมเสนอมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบที่เหมาะสม

11. ให้เพิ่มเติมการประเมินผลกระทบจากการขยายความกว้างสะพาน และขยายความยาวของท่อลอด เนื่องจากการปรับปรุงดังกล่าวไม่ได้เพิ่มปริมาณพื้นที่ช่องเปิดแต่อย่างใด แต่กลับมีผลให้ความสามารถในการระบายน้ำลดลง (การขยายสะพานทำให้มีตอม่อมากขึ้น การขยายความยาวของท่อมีผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานการไหลของน้ำในท่อมากขึ้น)

12. กรณีมีการปรับปรุงหรือเพิ่มโครงสร้างการระบายน้ำ หากมีผลกระทบต่อเนื่อง เช่น การปรับปรุงช่องทางระบายน้ำแล้ว ทำให้เกิดการเป็นคลื่นของผิวทางช่วงช่องทางระบายน้ำ และการแจ้งเตือนบริเวณที่คาดว่าจะมีน้ำหลากหรือน้ำท่วมขัง เป็นต้น ให้แสดงรายละเอียดการปรับปรุงและการป้องกันการท่วมขังของน้ำบนผิวทางจราจรบริเวณดังกล่าว

13. ให้แสดงรายการคำนวณปริมาณน้ำหลากที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการดำเนินการก่อสร้างแนวเส้นทางของโครงการ พร้อมทั้งแสดงรายละเอียดตำแหน่งจุดระบายน้ำทั้งหมด แผนภาพด้านการระบายน้ำและรูปแบบของอาคารระบายน้ำหรือท่อระบายน้ำในแต่ละจุดของโครงการ ทั้งนี้ให้พิจารณาสภาพภูมิประเทศตลอดแนวเส้นทางประกอบการออกแบบระบบระบายน้ำ และแสดงข้อมูลอื่นๆ ได้แก่ พื้นที่รับน้ำ, ค่าความปลอดภัย (Safety of Factor) และคาบการซ้ำ (Return period) รวมทั้งพิจารณาให้สอดคล้องกับจำนวนและขนาดของอาคารระบายน้ำ ซึ่งเพียงพอต่อการรองรับของน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก และออกแบบให้สัตว์ขนาดใหญ่สามาลอดผ่านอาคารระบายน้ำได้ในช่วงฤดูแล้งและแสดงปริมาณน้ำที่คำนวณได้กับแนวทางการคำนวณความสามารถของท่อระบายน้ำ ช่องเปิดสะพานให้ชัดเจน

14. การพิจาณารอบปีในการออกแบบอาคารระบายน้ำควรคำนึงถึงความต่อเนื่องและการเกิดสภาพคอขวดในการระบายน้ำโดยใช้ค่าที่มีความสม่ำเสมอ

15. ให้แสดงรายละเอียดประสิทธิภาพ และความสามารถของระบบระบายน้ำของโครงการตลอดจนทิศทางการไหลของน้ำ ซึ่งต้องแสดงให้เห็นว่าเมื่อการเปลี่ยนสภาพพื้นที่โครงการจะยังคงสภาพการระบายน้ำได้ดีเหมือนเดิม เช่นโครงการก่อสร้างถนนจาก 2 ช่องจราจร เป็น 4 ช่องจราจร เป็นต้น และแสดงให้เห็นว่าแนวเส้นทางโครงการไม่กีดขวางทิศทางการระบายน้ำ และมาตรการฯ ที่นำเสนอต้องมีความเหมาะสมและสามารถป้องกันและแก้ไขผลกระทบดังกล่าวได้

16. ให้ทบทวนค่า Safety Factor เท่ากับ 1 ในการออกแบบระบบระบายน้ำว่ามีความเพียงพอต่อการระบายน้ำในอนาคตที่ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น เนื่องจากภาวะโลกร้อนในอัตราการเพิ่มร้อยละ 10 หรือ 20 เป็นต้น

17. ให้ประเมินประสิทธิภาพของบ่อดักตะกอน และวิธีการจัดการตะกอนดินภายในบ่อดักตะกอน พร้อมทั้งมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมดังกล่าว

18. ให้พิจารณาความสามารถในการไหลกรณีท่อลอดที่มีความยาวมาก เพื่อป้องกันการตกตะกอนในท่อ และป้องกันการกัดเซาะทั้งทางเข้าและทางออกของท่อลอดให้ชัดเจน

19. การออกแบบระบบระบายน้ำข้างถนนควรนำข้อคิดเห็นและปัญหาการระบายน้ำในพื้นที่มาประกอบในพื้นที่มาประกอบการพิจารณาออกแบบหรือแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วย

20. กำหนดมาตรการการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน และมาตรการป้องกันการกีดขวางและเปลี่ยนแปลงทางน้ำให้สอดคล้องกับสภาพธรรมชาติของพื้นที่และจัดสรรงบประมาณในการดำเนินการตามมาตรการและการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง

21. ควรเสนอมาตรการลดผลกระทบและแผนปฏิบัติการลดผลกระทบจากการชะล้างหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำให้เป็นรูปธรรม สามารถปฏิบัติได้ในสภาพพื้นที่จริง มีรายละเอียดชัดเจนถึงวิธีการและขั้นตอนสอดคล้องกับกิจกรรมของการก่อสร้าง และมีประสิทธิภาพสามารถลดอัตราการชะล้างพังทลายของดินที่มีระดับรุนแรงได้ ทั้งนี้ ควรเสนอมาตรการและแผนปฏิบัติการให้สอดคล้องกับผลการประเมินการชะล้างหน้าดินในแต่ละช่วงของถนน หรือพื้นที่ที่มีปัญหาเป็นพิเศษ เช่น บริเวณที่มีการตัดไหล่เขาหรือถมไหล่ถนน เป็นต้น

22. บริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ควรแสดงปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันที่ก่อให้เกิดอันตรายได้ กรณีถนนเป็นดินตัดมีความลาดชัน

จากประเด็นทั้งหมดนี้เพื่อนำไปเป็นข้อควรพิจารณาเมื่อมีโครงการออกแบบทางหลวงในประเทศไทยในการออกแบบระบบระบายน้ำ เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อไป

# บทที่ 7
# ปัญหาน้ำท่วมและความเสียหายในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทางหลวง สาเหตุ และแนวทางป้องกันแก้ไข

จากปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศที่ผ่านมาก่อให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เป็นอย่างมาก ได้มีการดำเนินการแก้ไข และบรรเทาปัญหาอุทกภัยดังกล่าว ในระดับการปฏิบัติงานต่าง ๆ มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 โดย ครม.ได้มีมติเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2548 ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ประกอบด้วย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กรมชลประทาน) กระทรวงมหาดไทย (องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และกระทรวงคมนาคม เร่งสำรวจข้อมูลทางน้ำไหลของน้ำและจุดตัดกับทางสายต่าง ๆ ทั่วประเทศ ที่จำเป็นต้องก่อสร้างหรือแก้ไขให้เป็นทางระบายน้ำหรือทางลอดถนนที่เหมาะสม ซึ่งกระทรวงคมนาคมได้กำหนดให้ ทล. ทช. รฟท. และ สนข. จัดทำแผนการสำรวจรายละเอียด และแนวทางการดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากถนนและทางรถไฟขวางทางน้ำ ซึ่งสรุป ได้ว่า มีถนน และทางรถไฟขวางทางน้ำทั้งหมดรวม 1,237 แห่ง และมีตำแหน่งเพิ่มเติมอีก 233 แห่ง ทั้งนี้ได้ดำเนินการแก้ไข แล้ว 285 แห่ง เหลือที่ต้องดำเนินการแก้ไข 772 แห่ง ซึ่งรวมถึงถนนในความรับผิดชอบของหน่วยงานอื่นที่ไม่สังกัดกระทรวงคมนาคมด้วย ทั้งนี้กรมทางหลวงได้ตั้งงบประมาณดำเนินการในสายทางที่รับผิดชอบ โดยใช้เงินงบประมาณ ปี 2551 ดำเนินการ โดยก่อสร้างอาคารระบายน้ำประเภทต่าง ๆ เพิ่มเติม และแก้ไขของเดิมให้มีประสิทธิภาพการระบายน้ำมากขึ้น สำหรับทางหลวงในความรับผิดชอบรวม 152 แห่ง ซึ่งกระจายอยู่ตามพื้นที่เศรษฐกิจสำคัญเป้าหมายใน 11 พื้นที่ลุ่มน้ำ

ครม. ได้มีมติเมื่อ 7 พฤศจิกายน 2549 เห็นชอบกรอบแนวทางการจัดทำแผนแม่บทการบรรเทาอุทกภัยระยะกลางและระยะยาว ตามที่กรมทรัพยากรน้ำในฐานะฝ่ายเลขานุการคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (กทช.) ประกอบด้วยมาตรการต่าง ๆ ดังนี้

( 1 ) การป้องกันและฟื้นฟูสภาพพื้นที่ต้นน้ำให้คงสภาพนิเวศสมบูรณ์

1.1) ฟื้นฟูพื้นที่ต้นน้ำ

1.2) ก่อสร้างฝายต้นน้ำ

1.3) ปลูกหญ้าแฝก

1.4) อนุรักษ์ดิน และน้ำ

( 2 ) การฟื้นฟูแหล่งน้ำ ทางน้ำ และพื้นที่ชุ่มน้ำ

2.1) พื้นที่นำร่อง การปรับปรุงฟื้นฟูแหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ เพื่อบรรเทาอุทกภัย

2.2) ขุดลอกลำน้ำ เพื่อการระบายน้ำ / ปักหลักเขต

2.3) เขื่อนป้องกันตลิ่ง

2.4) สำรวจและจัดทำแนวทางและใช้ประโยชน์พื้นที่ชุ่มน้ำอย่างยั่งยืน

2.5) สำรวจและปรับปรุงจัดทำทะเบียนพื้นที่ชุ่มน้ำ แหล่งน้ำ และ ทางน้ำธรรมชาติ

( 3 ) การพัฒนาปรับปรุงแหล่งน้ำ ระบบระบายน้ำ และการผันน้ำ

3.1) อ่างเก็บน้ำเพื่อบรรเทาอุทกภัย

3.2) พัฒนาและปรับปรุงระบบระบายน้ำ

3.3) พัฒนาและปรับปรุงระบบการผันน้ำ

3.4) ศึกษา การพัฒนา ปรับปรุงแหล่งน้ำระบบระบายน้ำ และการผันน้ำ

3.5) การบริหารจัดการน้ำบาดาลเพื่อการบรรเทาอุทกภัย

( 4 ) การจัดการด้านการใช้ที่ดิน และการป้องกันน้ำท่วมพื้นที่เศรษฐกิจหลัก

4.1) วางแผน จัดทำผัง และกำหนดมาตรการการใช้ที่ดิน

4.2) ปรับปรุงอาคารของเส้นทางคมนาคมที่ขวางทางไหลของน้ำ

4.3) ก่อสร้างระบบป้องกันน้ำท่วมพื้นที่ชุมชน และพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญ

4.4) ศึกษาระบบป้องกันน้ำท่วมพื้นที่ชุมขนและพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญ

( 5 ) การปรับปรุงรูปแบบการเกษตรและการใช้พื้นที่เกษตรเป็นที่รับน้ำนอง

5.1) โครงการนำร่องการใช้พื้นที่เกษตรรับน้ำนอง

5.2) พัฒนาระบบการปลูกข้าวในพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย

( 6 ) การบริหารจัดการเพื่อสนับสนุนแผนการบรรเทาอุทกภัย

6.1) การเสริมสร้างการมีส่วนร่วมขององค์การท้องถิ่นและประชาชนเพื่อบรรเทาอุทกภัย

6.2) การพัฒนาเครื่องมือและกลไกเพื่อการบริหารจัดการ

6.3) งานวิจัยด้านการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย

6.4) การกำกับและติดตามแผนงานตลอดโครงการ

โดยมีหน่วยงานที่ต้องรับผิดชอบในการดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงพาณิชย์ กระทรวงคมนาคม กระทรวงมหาดไทย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ฯลฯ ทั้งนี้ได้เริ่มมาตรการดังกล่าวโดยการจัดตั้งงบประมาณตั้งแต่ปี 2552 ดำเนินการ ซึ่งในส่วนงานของกระทรวงคมนาคม จะเน้น เรื่องการปรับปรุงอาคารระบายน้ำของถนนและทางรถไฟที่ขวางทางน้ำไหล เป็นลำดับความสำคัญแรก ซึ่งกรมทางหลวงได้

จัดทำแผนงานรวม การปรับปรุงในเรื่องดังกล่าว เสนอกระทรวงคมนาคมแล้ว และได้ดำเนินการแล้วบางส่วนตามงบประมาณที่ได้รับ

ปัจจุบันประเทศไทยมีลุ่มน้ำที่เกี่ยวข้องกับปัญหาอุทกภัย และการระบายน้ำในพื้นที่ถึง 25 ลุ่มน้ำได้แก่ ลุ่มน้ำสาละวิน ลุ่มน้ำโขง ( เหนือ ) ลุ่มน้ำกก ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำโขงตะวันออกเฉียงเหนือ ลุ่มน้ำชี ลุ่มน้ำมูล ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำสะเกกรัง ลุ่มน้ำป่าสัก ลุ่มน้ำท่าจีน ลุ่มน้ำแม่กลอง ลุ่มน้ำเพชรบุรี ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก ลุ่มน้ำปราจีนบุรี ลุ่มน้ำบางปะกง ลุ่มน้ำโตนเลสาป ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก ลุ่มน้ำภาคใต้ตะวันออก ลุ่มน้ำตาปี ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก

การนำเสนอมาตรการต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นเพื่อแสดงให้เห็นว่า มีเหตุปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุการเกิดอุทกภัย และทางหลวงเป็นเพียงส่วนหนึ่งของสาเหตุที่จะต้องมีการออกแบบและดำเนินการเรื่อง การระบายน้ำของทางหลวงที่เหมาะสม แต่มิใช่ต้นเหตุหลักในการเกิดอุทกภัย ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการบริหารจัดการร่วมกันระหว่างหน่วยงานต่างๆ ของภาครัฐ และภาคเอกชน เพื่อการแก้ไขที่ยั่งยืนต่อไป

ปัญหาการระบายน้ำในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทางหลวงมีการศึกษาและสรุปสาเหตุต่าง ๆ และการเสนอแนวทางแก้ไข ไว้ดังนี้

1) อาคารระบายน้ำเดิมทั้งท่อกลม ท่อเหลี่ยม และสะพาน มีขนาดไม่พอเพียง เนื่องจากข้อมูลในการออกแบบ ไม่ถูกต้อง เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ค่า Parameter ต่าง ๆ ไม่เหมาะสมไม่ตรงกับสภาพเป็นจริง เช่น ปริมาณน้ำฝน พื้นที่รับน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ การไหลของน้ำ การเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิประเทศ ฯลฯ ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงข้อมูลต่าง ๆ ให้ทันสมัยและตรงกับสภาพความเป็นจริง

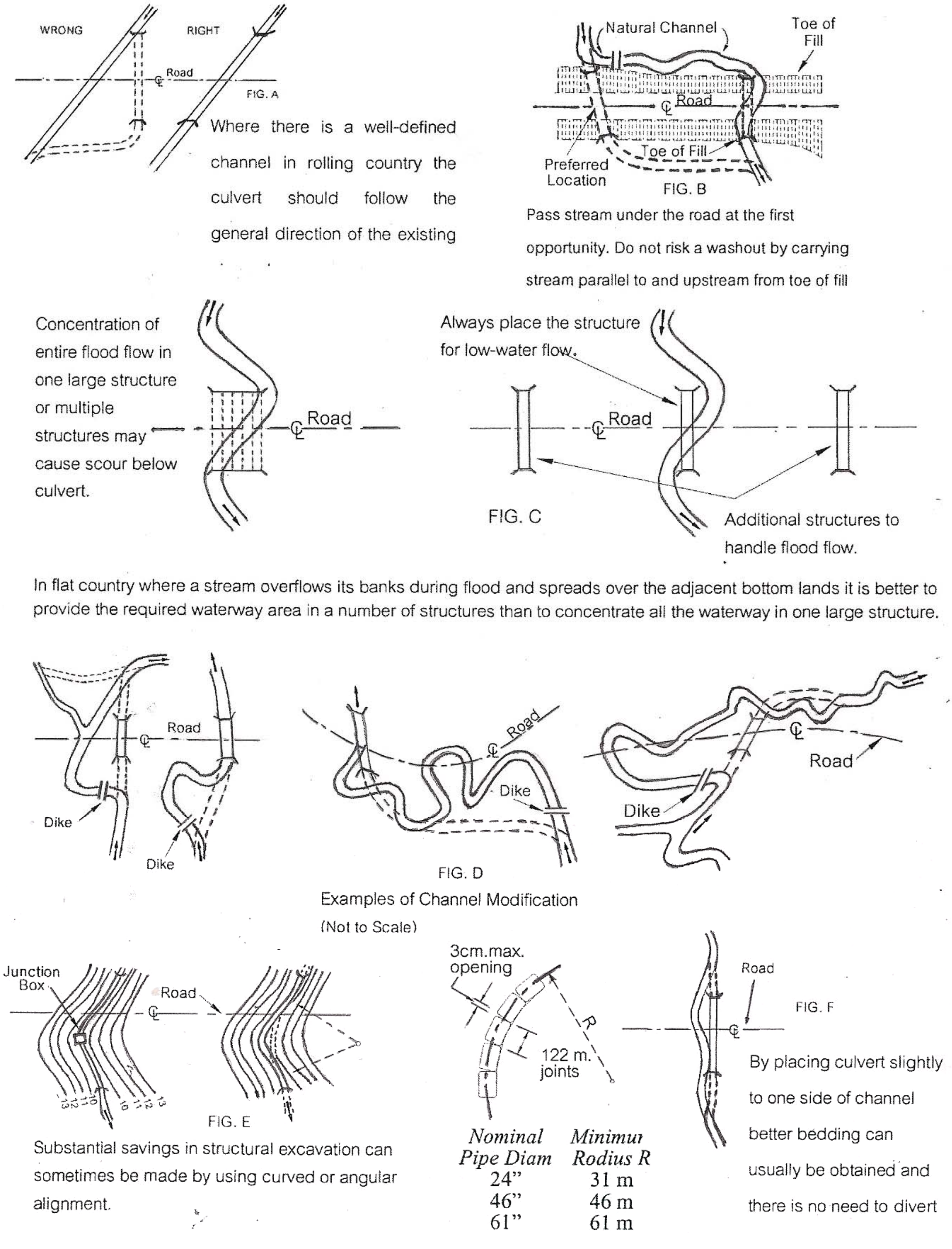
2) การกำหนดค่าปริมาณน้ำฝน (Rainfall Intensity) จากกราฟปริมาณตามเวลาย้อนหลัง (Return Period) ควรเพิ่มเป็นอย่างน้อย 20 ปี สำหรับท่อกลม และท่อเหลี่ยม และ 50 ปี สำหรับงานออกแบบสะพาน การเปิดช่องเปิดพื้นที่หน้าตัดอาคารระบายน้ำ ควรเพื่อค่า Factor of Safety ให้มากกว่าพื้นที่หน้าเปิดปริมาณน้ำหลากให้มาก การกำหนดค่า Run off Coefficient (ค่า C) ควรใช้ค่ามากกว่าที่ประเมินจากภูมิประเทศจากแผนที่ให้มากเพราะมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินตลอดเวลา ซึ่งไม่สามารถหาข้อมูลที่ทันสมัยได้ค่า C ควรใช้อย่างน้อย 0.40 โดยเฉพาะทางสายหลักหรือสายทางที่มีประวัติน้ำท่วมประจำ ควรเผื่อค่า Parameter ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นให้มาก

3) สภาพลำน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลง เช่นแนวทางน้ำ ความกว้าง ความลึก ระดับน้ำ การกัดเซาะ มีตะกอนสันดอนทับถม และมีวัชพืชกีดขวางการไหลของกระแสน้ำ มีสิ่งลอยตามน้ำ ฯลฯ ที่ผิดไปจาก การออกแบบ ซึ่งมีผลกระทบต่ออาคารระบายน้ำ ที่ได้ก่อสร้างไว้

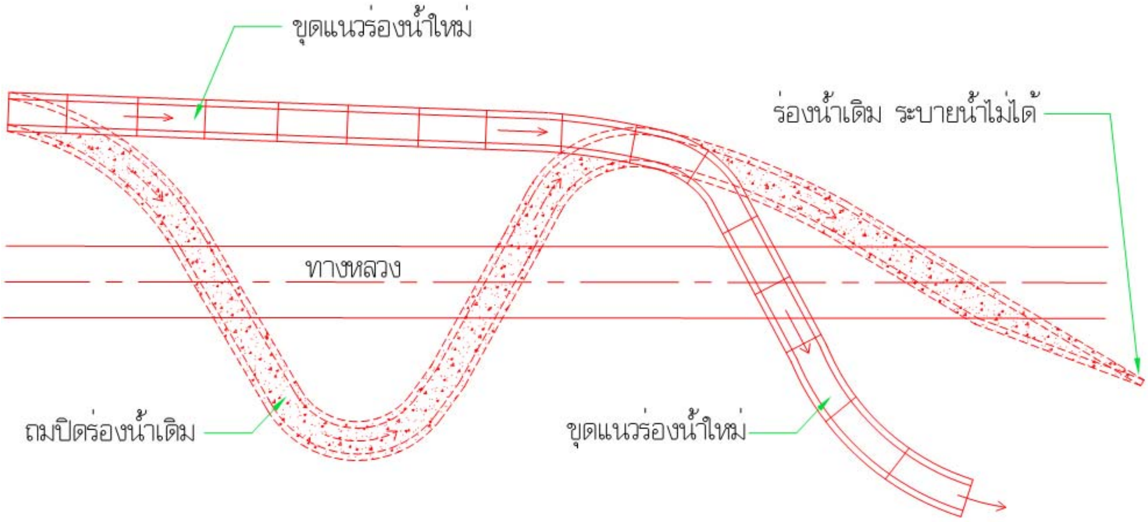
ในการออกแบบอาคารระบายน้ำจึงมีความจำเป็นต้องสำรวจข้อมูลของลำน้ำ ทั้งแนวระดับ และรูปตัด ตลอดจนร่องรอยการกัดเซาะประกอบด้วยทุกครั้งเพื่อพิจารณาว่าสมควรปรับปรุงตัวลำน้ำไปพร้อมกันหรือไม่ เช่นการแก้แนวลำน้ำที่ไม่เหมาะสมใหม่ ปรับระดับท้องลำน้ำหรือก่อสร้างการ

ป้องกันการกัดเซาะริมตลิ่ง และบริเวณดินถมคอสะพาน การกำหนดความกว้าง หรือช่วงความยาวของอาคารระบายน้ำให้พอเพียง มีความสูงที่เหมาะสม

การแก้ไขแนวทางน้ำบางครั้งจำเป็นต้องแก้ไขแนวเพื่อระบายน้ำไปสู่แหล่งน้ำที่สามารถระบายน้ำทิ้งได้หรือแก้ไขเพื่อลดมุมเอียง (SKEW) กับตัวถนนหรือแก้ไขเพื่อลดจุดตัดกับถนนที่ตัดหลายจุดใกล้ ๆ กัน




**รูปที่ 7.1** แสดงการแก้ไขแนวร่องน้ำที่ถนนตัดผ่านและการวางท่อเพื่อลดการกัดเซาะ




**รูปที่ 7.2** แสดงการแก้ไขแนวร่องน้ำ

4) สภาพการใช้ที่ดินข้างทางหลวงที่เป็นปัญหา เช่น การถมบุกรุกทางน้ำไหล การก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อทางน้ำ และการไหลของน้ำ ทำให้เกิดน้ำเอ่อท่วมพื้นที่และทางหลวง

การบุกรุกหรือการถือครองที่ดินในลำน้ำโดยการถมหรือก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างใด ๆ โดยลำน้ำไหลผ่านทางหลวงและสารถพิสูจน์ได้ว่าเป็นลำน้ำธรรมชาติ หรือ ทางน้ำสาธารณะถือว่าผิดตาม พรบ. ทางหลวงมาตรา 59 หมวด 3 ว่าด้วยการรักษาทางหลวงที่ระบุไว้ว่า "ห้ามมิให้ผู้ใดกีดกั้นหรือเปลี่ยนแปลงทางน้ำที่ติดต่อกับเขตทางหลวงหรือทางน้ำที่ไหลผ่านทางหลวงในเขตที่ดินภายในระยะ 500 เมตร จากแนวกลางทางหลวง เว้นแต่ได้รับอนุญาตเป็นหนังสือจากผู้อำนวยการทางหลวง ในกรณีที่มีการฝ่าฝืนวรรคหนึ่ง ให้ผู้อำนวยการทางหลวงหรือ เจ้าพนักงานซึ่งผู้อำนวยการทางหลวงแต่งตั้งให้ควบคุมทางหลวงแจ้งเป็นหนังสือให้ผู้ฝ่าฝืน รื้อถอน สิ่งกีดกั้นหรือแก้ไขทางน้ำภายในกำหนดเวลาอันสมควร ถ้าไม่ปฏิบัติตามให้ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงมีอำนาจเข้ารื้อถอนหรือจัดการแก้ไข โดยผู้นั้นจะเรียบร้องค่าเสียหายไม่และต้องเป็นผู้เสียค่าใช้จ่ายในการนั้น" ซึ่งตามมาตรา 32 ของ พรบ.ทางหลวง ( ฉบับที่ 2 ) พ.ศ.2549 ได้กำหนดไว้ว่า

"เพื่อประโยชน์ต่องานทาง ให้ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงมีอำนาจทำหรือแก้ไขทางระบายน้ำที่ไหลผ่านทางหลวงหรือทำหรือแก้ทางระบายน้ำ ออกจากทางหลวง เพื่อสู่แหล่งน้ำสาธารณะที่ใกล้เคียงตามความจำเป็นได้

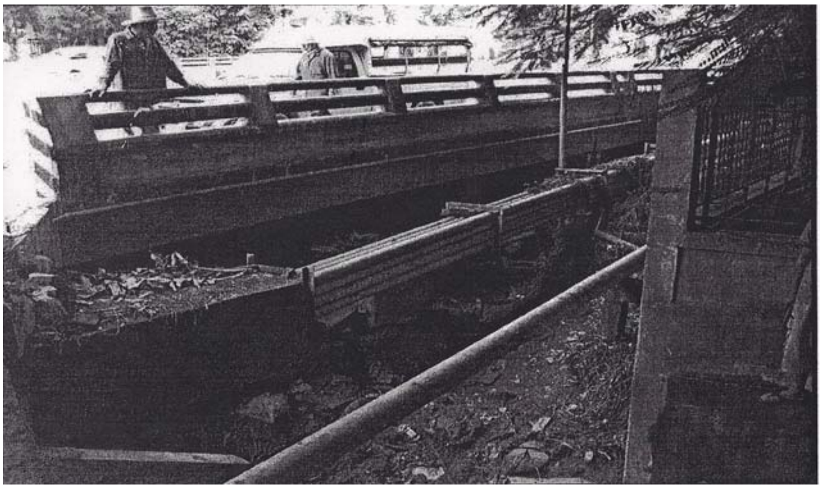
ให้ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวง ประกาศแนวเขตที่จะทำหรือแก้ทางระบายน้ำ พร้อมทั้งแผนผังแสดงแนวเขตดังกล่าว และปิดประกาศไว้ในบริเวณที่จะกระทำการนั้น และให้มีหนังสือแจ้งเจ้าของหรือผู้ครอบครองที่ดินหรือทรัพย์สินในแนวเขตดังกล่าวด้วยทั้งนี้ ไม่น้อยกว่าเก้าสิบวันก่อนการจัดให้มีการรับฟังความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้เสียและหน่วยงานที่

เกี่ยวข้อง เพื่อประกอบการพิจารณาจัดทำหรือแก้ทางระบายน้ำของผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวง

เมื่อได้รับฟังความคิดเห็นตามวรรคสองแล้ว ให้ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงกำหนดแนวเขตที่จะทำหรือแก้ทางระบายน้ำ และมีหนังสือแจ้งให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองที่ดินหรือทรัพย์สินทราบล่วงหน้าไม่น้อยกว่าหกสิบวันก่อนเข้าดำเนินการและให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองที่ดินหรือทรัพย์สินมีสิทธิอุทธรณ์ต่อรัฐมนตรีได้ภายในสามสิบวันนับตั้งแต่วันที่ได้รับหนังสือแจ้ง

ในกรณีจำเป็นต้องป้องปัดภัยพิบัติสาธารณะอันมีมาเป็นการฉุกเฉินและเพื่อประโยชน์แก่งานทางผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงมีอำนาจดำเนินการตามวรรคหนึ่งได้ทันที แต่ต้องแจ้งเป็นหนังสือให้เจ้าของหรือผู้ครอบครองที่ดินหรือทรัพย์สินนั้นทราบโดยเร็ว

ในการปฏิบัติหน้าที่ตามวรรคหนึ่งและวรรคสี่ ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงต้องแสดงบัตรประจำตัวต่อผู้ซึ่งเกี่ยวข้อง ”



**รูปที่ 7.3** แสดงการปิดกั้นทางน้ำ

5) สภาพการระบายน้ำข้างทางหลวง เช่น ปัญหาน้ำทิ้งจากอาคารที่อยู่ข้างทางหลวง น้ำทิ้งจากหมู่บ้านจัดสรร ฯลฯ ซึ่งมักจะระบายน้ำลงสู่พื้นที่ภายในเขตทางหลวง หรือระบายลงสู่ท่อระบายน้ำของทางหลวง ซึ่งเกินขีดความสามารถของท่อระบายน้ำของทางหลวงจะรองรับได้ ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาที่ไม่สามารถระบายน้ำทิ้งลงสู่พื้นที่อื่น เนื่องจากไม่มีการจัดการเรื่องระบายน้ำทิ้ง ของอาคารและที่พักอาศัยของหน่วยงานที่รับผิดชอบในพื้นที่ที่ดีพอ ทำเกิดปัญหาน้ำท่วมขัง ทั้งพื้นที่ประชิด และทางหลวง

ปัญหาอีกประการหนึ่งคือ น้ำที่ไหลจากพื้นที่ด้านข้างทางที่สูงกว่า เนื่องจากสภาพตามธรรมชาติหรือมีการถมที่ดินที่สูงกว่าทางหลวง ซึ่งทำให้น้ำเอ่อท่วมทางหลวงและพื้นที่ ที่จำเป็นต้อง

ออกแบบก่อสร้างรางระบายน้ำ หรือคลอง เพื่อตัดกระแสน้ำ หรือลดปริมาณน้ำหรือก่อสร้างอาคารระบายน้ำลอดผ่านทางหลวงให้มากขึ้น

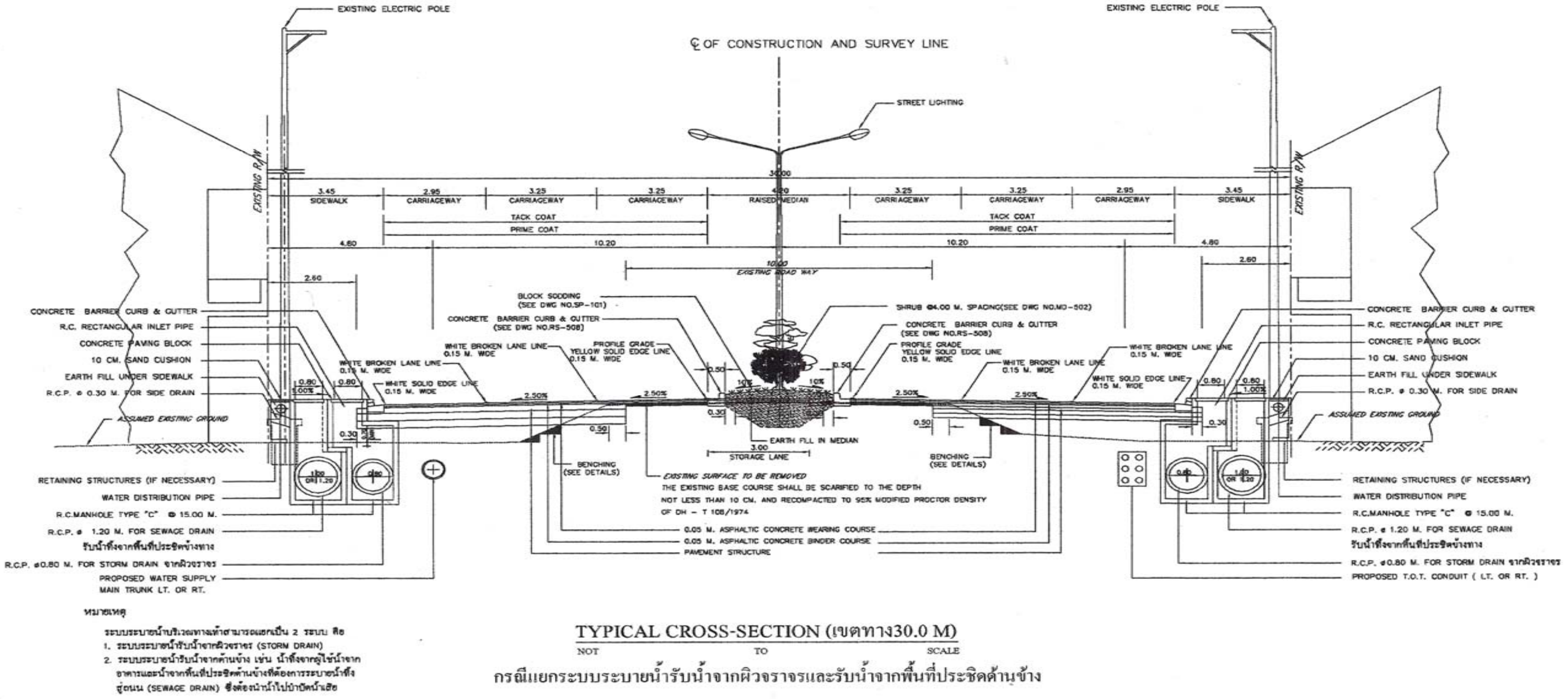
มาตรา 17 ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นมาตรา 39/1 แห่งพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2535

มาตรา 39/1 ห้ามมิให้ผู้ใดระบายน้ำลงในเขตทางหลวงอันอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ทางหลวง เว้นแต่ได้รับอนุญาตเป็นหนังสือจากผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวง ในการอนุญาต ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงจะกำหนดเงื่อนไขอย่างใดก็ได้

การอนุญาตตามวรรคหนึ่ง เมื่อมีความจำเป็นแก่งานทางหรือเมื่อปรากฏว่าผู้ได้รับอนุญาตได้กระทำผิดเงื่อนไขที่กำหนดในการอนุญาต ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงจะเพิกถอนเสียก็ได้

การระบายน้ำที่กระทำโดยไม่ได้รับอนุญาตหรือไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขที่กำหนด ผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงมีอำนาจสั่งให้ผู้กระทำการดังกล่าวงดเว้นการระบายน้ำลงในเขตทางหลวงทันที หรือให้รื้อถอนหรือปิดกั้นทางระบายน้ำภายในเวลาอันสมควร ถ้าไม่ปฏิบัติตามผู้อำนวยการทางหลวงหรือผู้ซึ่งได้รับมอบหมายจากผู้อำนวยการทางหลวงมีอำนาจรื้อถอนหรือปิดกั้นทางระบายน้ำดังกล่าวได้ โดยผู้นั้นจะเรียกร้องค่าเสียหายไม่ได้และต้องเป็นผู้เสียค่าใช้จ่ายในการนั้น

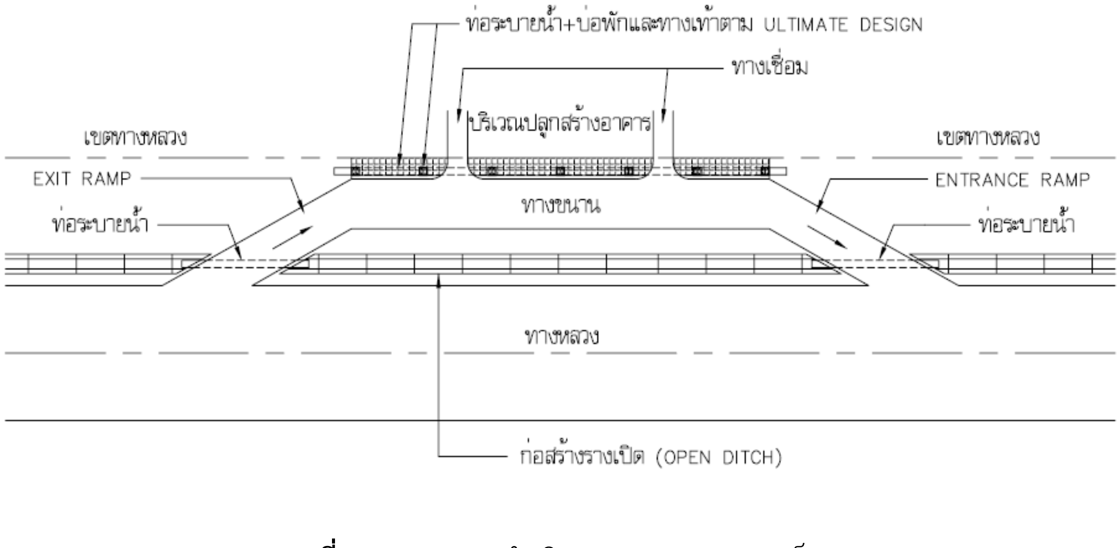
ตามสภาพความเป็นจริงในปัจจุบัน ทางหลวงมักจะถูกใช้เป็นพื้นที่ระบายน้ำทิ้งจากพื้นที่ด้านข้างไม่ว่าจะเป็นน้ำทิ้งจากพื้นที่ประชิด น้ำใช้จากอาคารบ้านเรือนทั้งที่อยู่ริมทางหลวง และพื้นที่ในซอยด้านข้าง เนื่องจากน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนดังกล่าวไม่สามารถระบายน้ำทิ้งสู่พื้นที่ใกล้เคียงได้และหน่วยงานผู้รับผิดชอบในพื้นที่ไม่มีระบบน้ำรวมสำหรับน้ำทิ้งดังกล่าว ในทางปฏิบัติท่อระบายน้ำตามยาวด้านข้างของทางหลวง (ใต้ทางเท้า) ออกแบบให้รับน้ำจากผิวจราจร (Storm Drain) และน้ำจากพื้นที่ประชิดกว้าง 30 – 40 เมตร ด้านนอกเขตทางเท่านั้น หากจะต้องรับภาระรับน้ำทิ้งจากพื้นที่กว้างมากและน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนจำนวนมาก จะไม่สามารถรองรับได้ หน่วยงานที่รับผิดชอบของท้องที่เช่น องค์การบริหาร, เทศบาล ฯลฯ สมควรที่ต้องจัดหาท่อระบายน้ำแยกสำหรับรับน้ำทิ้ง (Sewage Drain) จากพื้นที่ด้านข้างดังกล่าว โดยเฉพาะเนื่องจากเป็นน้ำเสียที่ต้องไปบำบัดก่อนระบายทิ้ง เพื่อเป็นระบบที่ถูกต้องตามมาตรฐานสากลโดย กรมทางหลวงจะจัดพื้นที่ภายในเขตทางหลวงให้ตามแสดงในรูป




**รูปที่ 7.4** แสดงTypical Cross-Section ถนนในย่านชุมชน

6) ปัญหาของการดำเนินการต่าง ๆ ภายในเขตทางหลวง เช่นการถมดินในเขตทางหลวงเชื่อมกับทางหลวงหน้าที่ดินที่ประชิดเขตทางของเอกชน (ถมเต็ม) หรือการก่อสร้างทางเชื่อม ที่มีการวางท่อระบายน้ำและระบบระบายน้ำที่ไม่เหมาะสมพอเพียงหรือการก่อสร้างโครงสร้างต่าง ภายในเขตทางหลวง เช่น สิ่งสาธารณูปโภค เสาโครงสร้าง ทางยกระดับ ทางรถไฟ อาคารต่าง ๆ ทำให้มีปัญหาต่อการระบายน้ำ และพื้นที่รับน้ำข้างทางหลวง

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจำเป็นต้องเข้มงวดการขออนุญาตการดำเนินการ สิ่งสาธารณูปโภค และ การขอทำทางเชื่อมกับทางหลวง โดยเฉพาะเรื่องท่อลอดทางเชื่อมซึ่งบางครั้งอาจจะต้องให้มีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนด ในกรณีที่จะมีปัญหาเรื่องระบายน้ำ การขออนุญาตถมดินเต็มภายในเขตทางหน้าอาคารไม่สมควรให้อนุญาตถึงแม้ว่าจะมีการวางท่อระบายน้ำตามแนวยาวพร้อมบ่อพักแล้วก็ตาม เพราะจะมีปัญหาการไหลของน้ำจากทางหลวงลงด้านข้างผ่านพื้นที่ถมเต็มลงท่อระบายน้ำหากจำเป็นต้องดำเนินการ การขอก่อสร้างอาจให้เป็นลักษณะเป็นทางขนานพร้อมทางเท้าและท่อระบายน้ำ ตามตำแหน่ง Ultimate Design โดยมีทาง เข้า – ออก ที่หัวท้ายช่วง (Exit & Entrance Ramp) โดยมีพื้นที่ว่างระหว่างทางขนานและลาดคันทางของทางหลวงพอประมาณเพื่อใช้เป็นร่องระบายน้ำ (Side Ditch)




**รูปที่ 7.5** แสดงการดำเนินการแทนการขอถมเต็ม

7) ปัญหาของระดับหลังทางที่ต่ำเกินไปที่ทำให้น้ำท่วมทาง แต่หากยกระดับมากเกินไปก็อาจมีปัญหาเรื่องระบายน้ำของพื้นที่ประชิดข้างใดข้างหนึ่งที่น้ำจะสูงขึ้น และเอ่อขัง เกิดปัญหาระบายน้ำผ่านลงสู่ลำน้ำ หรือพื้นที่ระบายน้ำที่อยู่อีกข้างหนึ่งของถนนได้

ต้องพิจารณาปัญหาน้ำเอ่อขังข้างใดข้างหนึ่งโดยพิจารณาออกแบบช่องเปิดผ่านทางด้วยอาคารระบายน้ำที่เหมาะสม ตามหลักวิชาการทางด้านชลศาสตร์

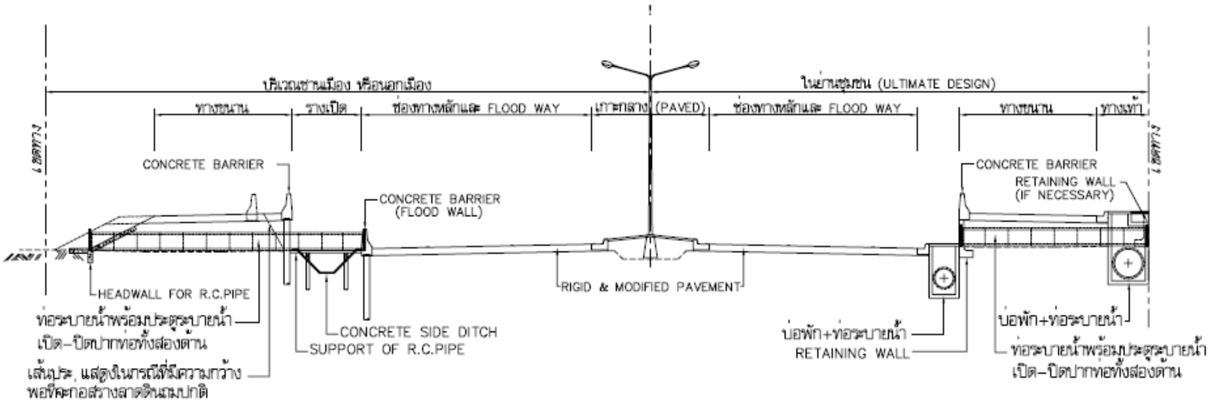
8) ปัญหาของจุดที่จะระบายน้ำทิ้งของระบบระบายน้ำของทางหลวง เช่น ท่อระบายน้ำตามยาวหรือร่องน้ำข้างทาง เนื่องจากพื้นที่ไม่อำนวย เช่น ไม่มีลำน้ำ หรือพื้นที่รับน้ำทิ้ง หรือมีแต่ไม่สามารถระบายน้ำได้ เช่น ลำน้ำคลองชลประทาน หรือแหล่งน้ำที่ต้องอนุรักษ์ พื้นที่ที่พัฒนาแล้ว จุดที่เป็นแอ่ง (Sag) หรืออยู่ในระบบของถนนที่เชื่อมโยงกันทั้งหมด โดยไม่มี ระบบหรือคลองระบายน้ำร่วมหลัก (Main Drain)

ในการออกแบบจำเป็นต้องสำรวจพื้นที่รับน้ำและจุดที่สามารถระบายน้ำทิ้งออกจากระบบสู่พื้นที่ด้านข้างทางหลวง เช่น การเข้าต่อเชื่อมกับระบบระบายน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่หรือระบายออกสู่พื้นที่ลุ่มที่ระบายน้ำทิ้งได้นอกเขตทาง ในกรณีของจุดที่เป็นแอ่ง (Sag) ที่ระบายน้ำออกด้านข้างตรงจุดต่ำสุดไม่ได้ อาจใช้วิธีวางท่อแบบปิดพร้อมบ่อพักและติดตั้งเครื่องสูบน้ำเพื่อส่งน้ำย้อนกลับขึ้นที่สูงเพื่อระบายทิ้งออกพื้นที่ด้านข้างถ้าทำได้

9) ลักษณะทางหลวงที่ขวางกั้น การไหลของน้ำลงสู่พื้นที่ระบายน้ำ เช่น แม่น้ำลำคลอง บึงรับน้ำ อ่างเก็บน้ำ ทะเล อาคารระบายน้ำ ร่องน้ำ จำเป็นต้องศึกษาการไหลของน้ำในภาพรวมและดำเนินการตามที่ได้ระบุไว้ในบทก่อนหน้านี้ร่วมกับหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากปัญหาน้ำท่วมในปัจจุบันนับว่ารุนแรงมากขึ้นทุกปี จากปัญหาการไม่จัดการเรื่องการใช้พื้นที่ การเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศ การรุกล้ำทางน้ำหรือพื้นที่รับน้ำ การไม่มีการจัดการระบบระบายน้ำโดยรวมของพื้นที่ ฯลฯ จึงจำเป็นแล้วที่ทุกภาคส่วน ทั้งภาคราชการและเอกชน ต้องร่วมกันดำเนินการเรื่องการระบายน้ำและการแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นอย่างจริงจัง

10) ปัญหาที่น้ำเอ่อท่วมพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่ราบลุ่มที่ใช้เป็นพื้นที่ระบายน้ำหรือทางน้ำถูกถมปิดพัฒนาเป็นที่อยู่อาศัย เป็นพื้นที่อุตสาหกรรม และเป็นพื้นที่ระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ทำให้น้ำไม่สามารถผ่านไปลง แม่น้ำ ลำคลอง หรือพื้นที่รับน้ำได้อย่างที่ควรจะเป็น อาจพิจารณารูปแบบก่อสร้างทางหลวงให้เอื้อประโยชน์ช่วยในการระบายน้ำได้เช่น

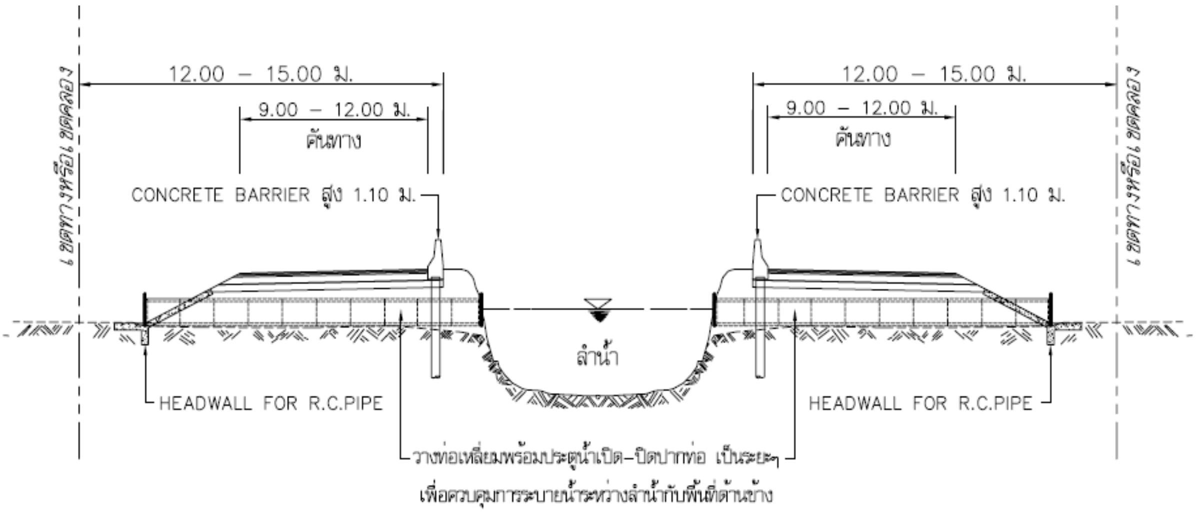
10.1) ก่อสร้างทางหลวงริมสองฝั่งแม่น้ำสายหลักที่ใช้เป็นทางระบายน้ำหรือปรับปรุงคันคลองชลประทานให้สูงขึ้นและใช้เป็นถนน เพื่อใช้เป็นเส้นทางคมนาคมเสริมและใช้ในการดูแลบำรุงรักษาลำน้ำและเป็นคันกั้นน้ำช่วยเสริมริมตลิ่งให้สูงขึ้น พร้อมก่อสร้างกำแพง Concrete Barrier ตามแบบมาตรฐานสูง 1.10 ม. เพื่อเป็นผนังกั้นน้ำ (Flood wall) และเพื่อเป็นราวกันอันตรายให้กับผู้ใช้ทาง ทั้งนี้อาจใช้วิธีนี้ในการปรับปรุงถนนเลียบลำน้ำที่มีอยู่แล้วด้วย




**รูปที่ 7.6** แสดงรูปตัดถนนเลียบริมฝั่งลำน้ำ

10.2 ) การออกแบบทางหลวงให้ใช้เป็นทั้งทางสัญจร (Travelled way) และเป็นทางระบายน้ำ (Floodway) ในกรณีที่ใช้ร่วมกันโครงสร้างของทางหลวงต้องออกแบบให้แข็งแรงทนทานต่อการกัดเซาะ และ การอ่อนตัวของวัสดุโครงสร้างชั้นทางและคันทางเป็นพิเศษ เช่น ผิวจราจรคอนกรีต และชั้นทางชั้นใต้แบบ Cement Modified หรือ Cement stabilized ในกรณีที่ผ่านพื้นที่ดินอ่อนต้องก่อสร้างเป็นลักษณะโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก (Structure) พร้อมฐานรากเสาเข็มและผนังคอนกรีตด้านข้างทาง

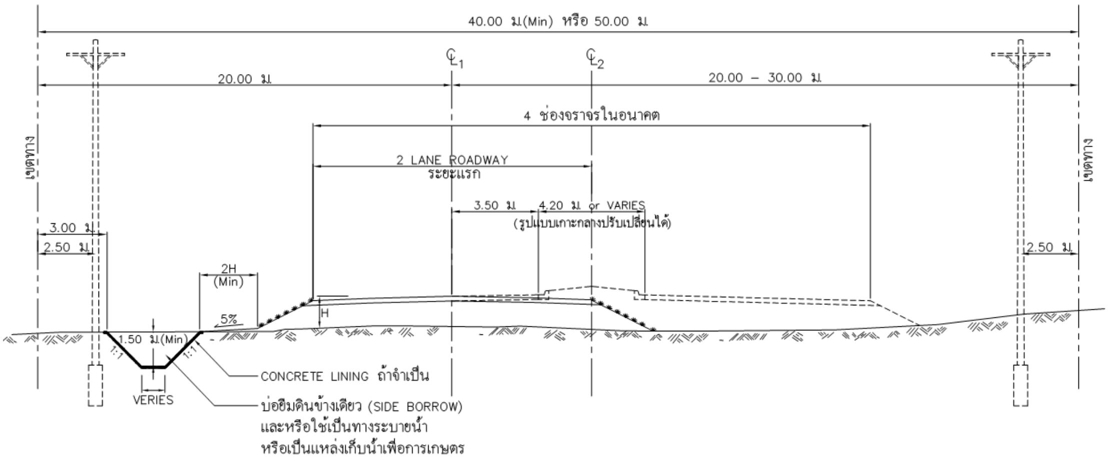
ในกรณีที่เป็นทางหลวงสายหลักที่มีเขตทางกว้างตั้งแต่ 60 เมตรขึ้นไปควรออกแบบให้มีทางคู่ขนานโดยกำหนดให้ทางคู่ขนานมีระดับสูงกว่าช่องทางหลักตรงกลาง เพื่อกั้นน้ำให้ไปไหวในช่องจราจรหลักตรงกลางที่จะให้เป็นทางระบายน้ำ (Floodway) แต่จะต้องออกแบบละระดับทางคู่ขนานเฉพาะจุด เพื่อใช้เป็นทางเข้าออกระหว่างทางคู่ขนานและช่องทางหลัก และต้องสามารถปิดได้เพื่อกันน้ำไหลออก พร้อมวางท่อระบายน้ำพร้อมประตูเปิดปิดปากท่อเพื่อควบคุมน้ำไหลเข้าออกเป็นระยะ



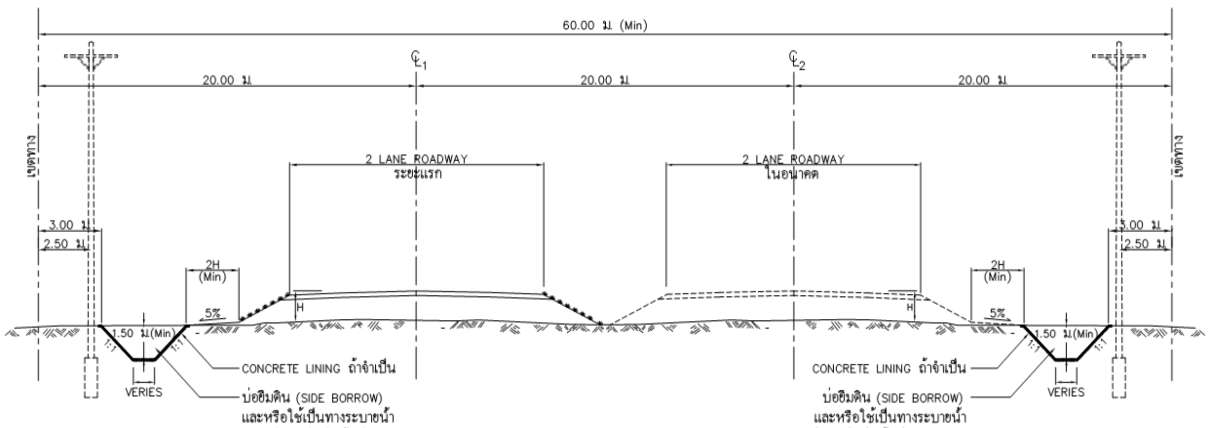

**รูปที่ 7.7** แสดงรูปตัดทางหลวงที่ออกแบบเป็น Floodway

10.3 ) การออกแบบทางหลวงให้มีคลองระบายน้ำร่วมอยู่ในเขตทาง เช่น ถนนสายหลัก (Arterial) ที่เชื่อมระหว่างเมืองหรือภูมิภาค ถนนวงแหวน (Ring road) ทางเลี่ยงเมือง (Bypass) ฯลฯ เพื่อช่วยระบายน้ำหลากในพื้นที่ไปประบายทิ้ง ที่พื้นที่รับน้ำหรือแม่น้ำ และช่วยตัดปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าท่วมพื้นที่เขตเมืองได้บางส่วนแต่จะต้องมีเขตทางที่กว้างพอสำหรับการขยายช่องจราจรในอนาคต และเพื่อความมั่นคงของคันทางที่อยู่ใกล้คลองระบายน้ำในเขตทางดังกล่าว

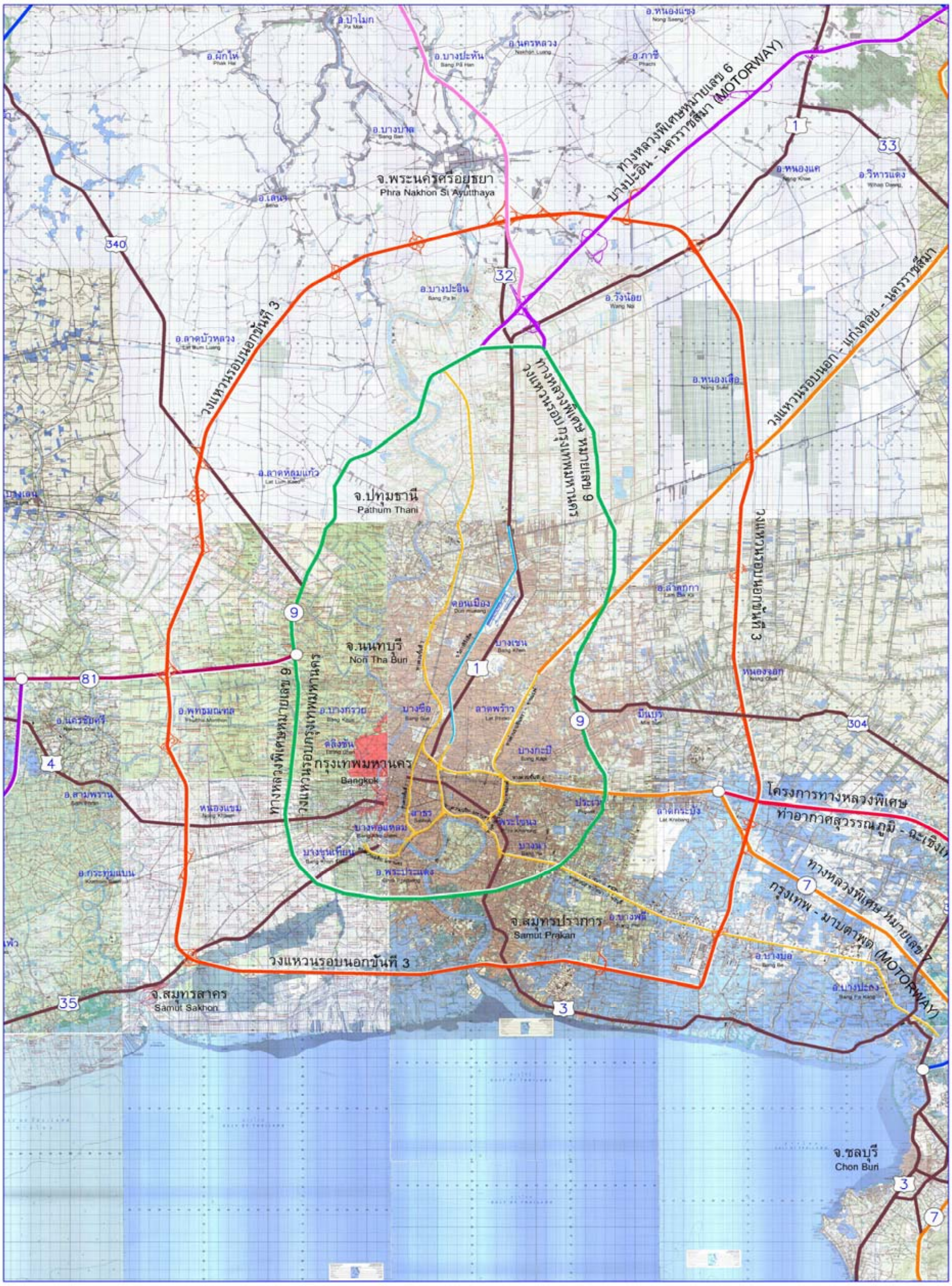
ในสมัยก่อนกรมทางหลวง เคยดำเนินการขุดบ่อยืมดินข้างเดียวในเขตทาง (Side Borrow) เพื่อนำดินไปใช้ถมคันทางเพื่อก่อสร้างทางหลวง เป็นการประหยัดงบประมาณค่างานดินถม และเคยดำเนินการก่อสร้างขุดร่องน้ำข้างทางเพื่อใช้เป็นแหล่งเก็บน้ำ เพื่อการเกษตรในฤดูแล้ง โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่มีข้อจำกัดเรื่องความกว้างของเขตทางที่ต้องกว้างพอสำหรับเผื่อการขยายทางหลวงและความมั่นคงของคันทาง ตลอดจนปัญหาการเข้าออกและการพัฒนาพื้นที่ด้านริมทางหลวง แต่จากลักษณะงานดังกล่าวหากมีความจำเป็นอาจประยุกต์ใช้ใหม่เพื่อเป็นทางระบายน้ำในเขตทาง ช่วยระบายน้ำตามยาวและช่วยป้องกันน้ำท่วมทางหลวงได้ในสายทางที่สามารถดำเนินการได้เป็นเฉพาะแห่ง



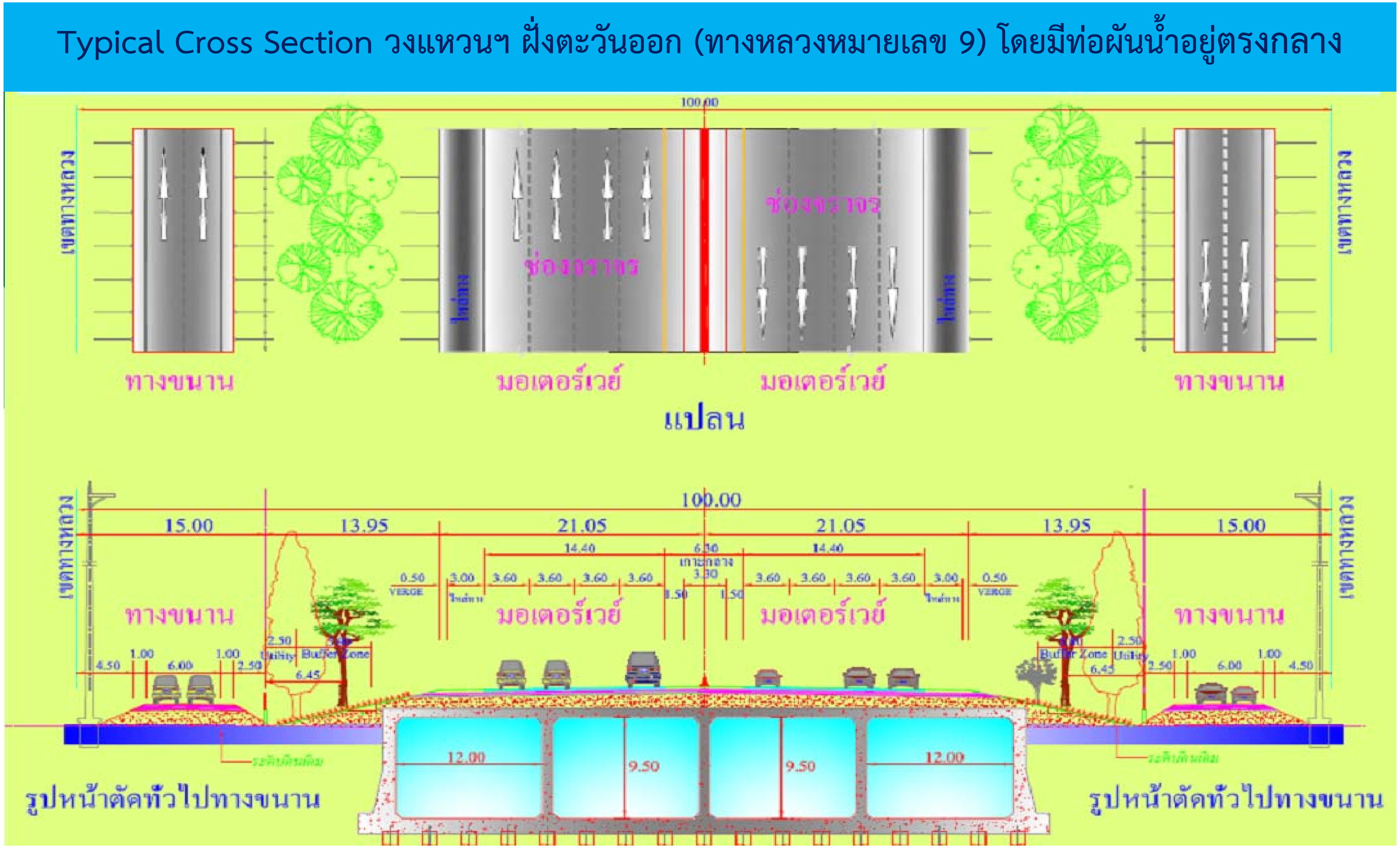

**รูปที่ 7.8** แสดงรูปตัดการขุดบ่อยืมดินหรือร่องระบายน้ำสำหรับเขตทางกว้าง 40.00 ม. หรือ 50.00 ม.



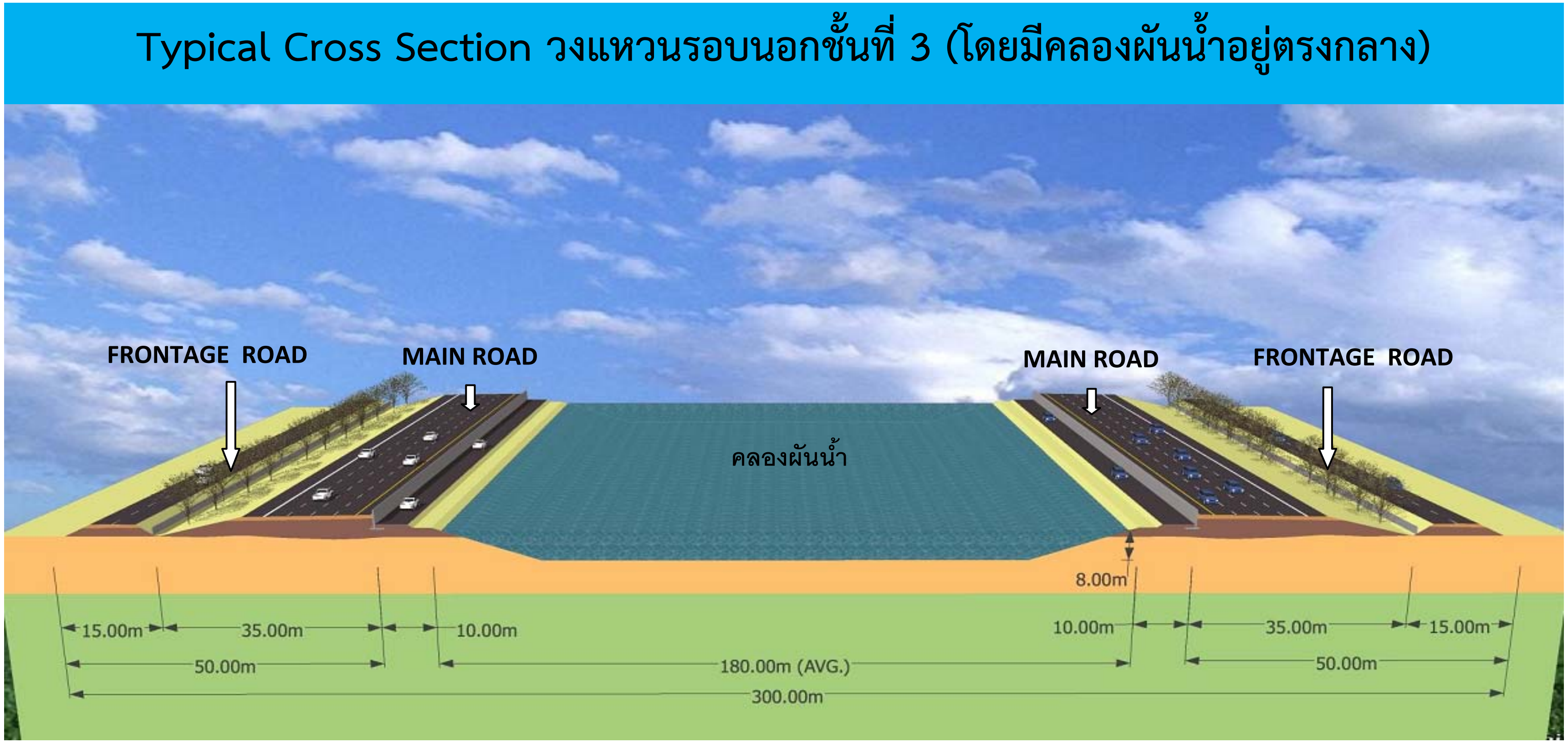

**รูปที่ 7.9** แสดงรูปตัดการขุดบ่อยืมดินหรือร่องระบายน้ำสำหรับเขตทางกว้าง 60.00 ม. ขึ้นไป




**รูปที่ 7.10** โครงการศึกษาความเหมาะสมวงแหวนรอบนอกชั้นที่ 3




**รูปที่ 7.11** แนวความคิดในการเพิ่มเติมท่อผันน้ำใต้วงแหวนรอบนอก (ทางหลวงหมายเลข 9)




**รูปที่ 7.12** แนวความคิดในการออกแบบวงแหวนรอบนอกชั้นที่ 3 โดยมีคลองผันน้ำอยู่ตรงกลาง

# เอกสารอ้างอิง


1. ผศ.ดร. นิตยา หวังวงศ์วิโรจน์ , **"อุทกวิทยา",** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
2. กรมชลประทาน (2545) , เอกสารทางวิชาการ Hydrology No.1356/02 , **"การศึกษาความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค สำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย" ,** ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน
3. กรมชลประทาน (2552) , เอกสารทางวิชาการ Hydrology No.1502/08 (ฉบับปรับปรุงแก้ไข), "**กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrology) ของลุ่มน้ำต่างๆในประเทศไทย**" , ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน
4. กรมชลประทาน (2544) , "**ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ฝนของภาคต่างๆ ในประเทศไทย**" , ฝ่ายวิจัยและอุทกวิทยาประยุกต์ สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน
5. กรมทางหลวง (2532) , "**คู่มืองานออกแบบทาง**" กองสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง
6. Portland Cement Association (1975) , "**Concrete Culverts and Conduits**"
7. Depart of Highways (1980) , "**Design Guidelines Volumn 1**" , Design Supervision of Rural Roads Submitted by Louis Berger International, Inc. in a joint Venture with Asian Engineering Consultants Corp.,LTD.
8. VEN TE CHOW, Ph.D.(1986) , "**Open – Channel Hydraulies**" Professor of Hydraulie Engineering University of Illinois
9. Transportation Research Board (1979) "**National Cooperative Highway Research Program Synthesis 67 : Bridge Drainage Systems.**" National Research Council , Washington , D.C.
10. "**Hydraulic Design of highway Culverts.**" FHWA-NHI-01-020 (2001)
11. "**Urban Drainage Design Manual.**"FHWA-NHI-01-021 (2001)
12. "**Design Manual**" Department of Transportation , USA