
สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพาน	1-1
บทที่ 2 กลศาสตร์ของสะพาน	2-1
2.1 กลศาสตร์ของสะพาน	2-1
2.1.1 น้ำหนักบรรทุก	2-2
2.1.2 การหาแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพาน	2-8
2.1.3 การตอบสนองของโครงสร้างสะพานต่อน้ำหนักบรรทุก	2-12
2.1.4 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบสะพาน	2-17
2.2 โครงสร้างสะพาน	2-25
2.2.1 องค์ประกอบหลักของสะพาน	2-25
2.2.2 รูปร่างพื้นฐานชิ้นส่วนโครงสร้าง	2-30
2.2.3 การพังทลายของโครงสร้าง	2-33
บทที่ 3 คุณสมบัติของคอนกรีต	3-1
3.1 คุณสมบัติของคอนกรีต	3-1
3.2 ความเสื่อมสภาพของคอนกรีต	3-7
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต	3-12
บทที่ 4 การตรวจสอบสภาพสะพานด้วยสายตา	4-1
4.1 บทนำ	4-1
4.2 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน	4-1
4.2.1 ความรับผิดชอบ	4-1
4.2.2 หน้าที่	4-3
4.3 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน	4-4
4.3.1 การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน	4-4
4.3.2 การระบุองค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ	4-6
4.3.3 การพัฒนาลำดับขั้นตอนการตรวจสอบ	4-7
4.3.4 การเตรียมบันทึก	4-9
4.3.5 การควบคุมการจราจร	4-9
4.3.6 ข้อคำนึงเป็นพิเศษต่างๆ	4-10



	หน้า
4.3.7 การเตรียมตัวเพิ่มเติม	4-11
4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบ	4-11
4.4.1 แนวทางพื้นฐานของการตรวจสอบ	4-11
4.4.2 การตรวจสอบขึ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน	4-13
4.5 เครื่องมือและอุปกรณ์	4-14
4.5.1 เครื่องมือมาตรฐาน	4-14
4.5.2 อุปกรณ์พิเศษ	4-18
4.6 วิธีการเข้าตรวจสอบ	4-18
4.6.1 อุปกรณ์ช่วยในการเข้าไปตรวจสอบ	4-19
4.6.2 พาหนะช่วยในการเข้าไปตรวจสอบ	4-20
4.7 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน	4-20
4.7.1 การระวังรักษาความปลอดภัยทั่วไป	4-20
4.7.2 การป้องกันบุคลากร	4-22
4.7.3 สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ	4-22
4.7.4 การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย	4-23
บทที่ 5 การรายงานผลการตรวจสอบสภาพ	5-1
5.1 แบบบันทึกการตรวจสอบ	5-1
5.1.1 หมวดข้อมูลทั่วไป	5-1
5.1.2 หมวดข้อมูลของขึ้นส่วนที่ได้รับการตรวจสอบสภาพ	5-2
5.1.3 หมวดข้อมูลของสิ่งที่ได้รับการประเมินความสามารถการใช้งาน	5-2
5.2 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน	5-3
5.3 การรวบรวมข้อมูลและการบันทึก	5-4
5.3.1 การเตรียมตัว	5-7
5.4 ความสำคัญของรายงาน	5-11
5.4.1 พื้นที่วิกฤต	5-12
5.4.2 การซ่อมบำรุง	5-12
5.4.3 การวิเคราะห์การให้คะแนนความสามารถในการรับน้ำหนัก	5-12
5.4.4 คุณภาพ	5-12
บทที่ 6 แนวทางการตรวจสอบขึ้นส่วนต่างๆ	6-1
6.1 การตรวจสอบพื้นสะพาน	6-1
6.1.1 ชนิดของสะพาน	6-1
6.1.2 รอยต่อของพื้นสะพาน	6-6
6.1.3 ระบบระบายน้ำ	6-13

	หน้า
6.1.4 ความปลอดภัย	6-15
6.1.5 ป้ายและไฟแสงสว่าง	6-18
6.1.6 ถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน	6-21
6.1.7 หลักการให้คะแนน	6-22
6.2 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนบน	6-25
6.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก	6-25
6.2.2 การตรวจสอบ Superstructure ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง	6-28
6.2.3 หลักการให้คะแนนการประเมินสภาพของ Superstructure ที่เป็นคอนกรีต	6-35
6.3 การตรวจสอบแผ่นยางรองรับสะพาน	6-39
6.3.1 ประเภทของ Bearing	6-40
6.3.2 ชั้นส่วนของ Bearing	6-40
6.3.3 การตรวจสอบ Bearing	6-41
6.3.4 การประเมินสภาพของ Bearing	6-43
6.4 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนล่าง	6-44
6.4.1 ตอม่อริมฝั่ง	6-44
6.4.2 ตอม่อกลางน้ำ	6-52
6.4.3 กำแพงตอม่อริมฝั่ง	6-58
บทที่ 7 การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ	7-1
7.1 การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ	7-1
7.2 การพิจารณาข้อกำหนดเพื่อทำการทดสอบ	7-1
7.3 การทดสอบและประเมินผล	7-2
7.3.1 ขั้นตอนการประเมินผลคอนกรีต	7-2
7.3.2 ขั้นตอนการประเมินผลสำหรับเหล็กเสริม	7-5
7.4 คอนกรีต	7-6
7.4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่เหมาะสม	7-6
7.4.2 การเจาะตัวอย่างคอนกรีต	7-7
7.4.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างจากชั้นคอนกรีตที่แตกหัก	7-7
7.4.4 การวิเคราะห์หาแร่ประกอบหินและการวิเคราะห์ทางเคมี	7-7
7.4.5 มวลรวม	7-8
7.4.6 คอนกรีต	7-8
7.4.7 การตรวจสอบทางเคมี	7-8
7.4.8 การทดสอบคอนกรีตเพื่อหาลำดับอัด	7-9
7.5 เหล็กเสริม	7-10
7.5.1 วิธีการสำรวจหาตำแหน่ง	7-10

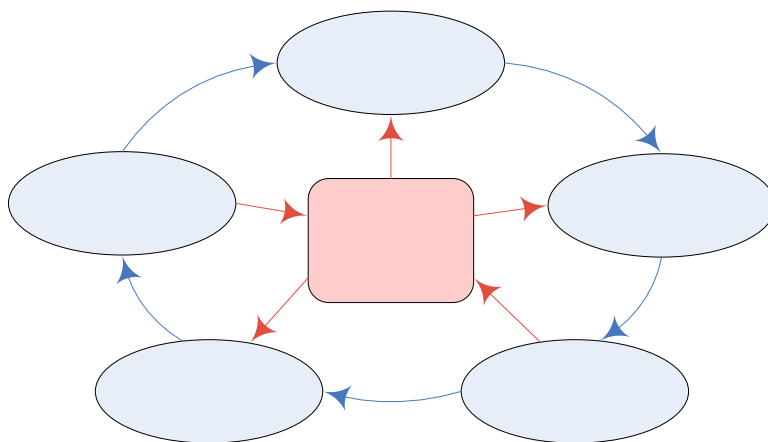


	หน้า
7.5.2 การหาค่าลึงครากของเหล็กเสริม	7-7
7.5.3 วิธีการเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม	7-11
7.6 การทดสอบแบบไม่ทำลาย	7-12
บทที่ 8 การทดสอบสะพานในสภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกทุกจริง	8-1
8.1 บทนำ	8-1
8.2 หลักการตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบสถิต	8-2
8.3 หลักการตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบพลวัต	8-3
8.4 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัด	8-4
8.4.1 ค่าคูณเพิ่มทางพลศาสตร์	8-4
8.4.2 ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน	8-5
8.4.3 ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างสะพาน	8-6
8.5 ตำแหน่งและจำนวนที่จะทำการทดสอบ	8-7
8.6 ตัวอย่างผลการตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างสะพานทางหลวง	8-7
บทที่ 9 การวิเคราะห์โครงสร้างสะพานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	9-1
9.1 บทนำ	9-1
9.2 โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้าง	9-2
9.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	9-2
9.3.1 สมการพื้นฐานของกลศาสตร์โครงสร้าง	9-2
9.3.2 หลักการวิเคราะห์แบบสถิตและแบบพลศาสตร์	9-5
9.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	9-6
9.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	9-10
9.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	9-13
9.7 การปรับแต่งแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	9-13
9.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์สะพานด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	9-13
บทที่ 10 การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง	10-1
10.1 หลักการของการประเมินความแข็งแรง	10-1
10.2 ตัวอย่างการประเมินสภาพของชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน	10-7
10.2.1 Concrete Slab Capacity Rating	10-7
10.2.2 น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ได้	10-12
บทที่ 11 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง	11-1
11.1 กำลังของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง	11-1

	หน้า
11.2 กำลังของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	11-4
บทที่ 12 หลักการคำนวณผลจากน้ำหนักบรรทุกจร	12-1
12.1 น้ำหนักบรรทุกจร	12-1
12.2 หลักการทั่วไปของ Influence Lines	12-3
บทที่ 13 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง	13-1
13.1 การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของ Box Girder	13-1
13.1.1 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด	13-1
13.1.2 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด	13-7
13.1.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	13-14
13.2 การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของ Plank	13-17
13.2.1 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด	13-17
13.2.2 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด	13-23
13.2.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	13-30
13.3 การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของ Multi-Beam	13-33
13.3.1 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด	13-33
13.3.2 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด	13-39
13.3.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง	13-46
บทที่ 14 การปรับแก้ค่าที่ได้จากการประเมิน	14-1
14.1 หลักการของการปรับแก้ค่า Rating Factor	14-1
14.2 ตัวอย่างของการปรับแก้ค่า Rating Factor	14-4
14.2.1 Box-Girder Bridge	14-4

1.1 ระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพาน

ระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานภายหลังการก่อสร้าง หรือการเปิดใช้งานสะพาน ประกอบด้วย กระบวนการทำงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1-1 โดยเริ่มตั้งแต่การวางแผนการตรวจสอบ การตรวจสอบ การวางแผนการซ่อมแซม การซ่อมแซม และการปรับปรุงมาตรฐานการก่อสร้าง เป็นวงจรต่อเนื่องและสนับสนุนซึ่งกันและกันด้วยระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้พิจารณาประกอบการดำเนินการ โดยระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานที่มีประสิทธิภาพนั้น มีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้การดำเนินการต่างๆ ทุกๆ ขั้นตอนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เป็นไปได้อย่างมีความเหมาะสม รวดเร็ว และประหยัดงบประมาณ ทั้งนี้เพื่อความมั่นคงแข็งแรงของสะพาน ตลอดจนความปลอดภัยของผู้ใช้บริการสะพาน ผู้ที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนของระบบควรให้ความสำคัญทั้งในส่วนที่ตนรับผิดชอบและภาพรวมของทั้งระบบ เพื่อก่อให้เกิดการทำงานที่ประสานสอดคล้องกัน



รูปที่ 1-1 รูปแสดงระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพาน



การวางแผนการตรวจสอบถือว่าเป็นขั้นตอนแรกในระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพาน และเป็นขั้นตอนที่มักจะถูกมองข้ามอยู่บ่อยๆ การวางแผนควรจะต้องอาศัยข้อมูลที่เกิดจากการดำเนินการต่างๆ ในอดีต เพื่อประกอบการตัดสินใจ การวางแผนการตรวจสอบที่ดีจะช่วยให้การตรวจสอบเป็นไปได้อย่างมีความถูกต้องมีการใช้บุคลากรอย่างเหมาะสม ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย การวางแผนการตรวจสอบสะพานแต่ละสะพานในแต่ละหน่วยงานจะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะทางกายภาพของสะพาน สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ปริมาณและลักษณะของการจราจรที่สะพานต้องแบกรับ รวมถึงความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ ตลอดจนข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและบุคลากร เป็นต้น การวางแผนการตรวจสอบสามารถทำได้ในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับนโยบายโดยผู้บริหารของหน่วยงาน ไปจนถึงระดับปฏิบัติการโดยทีมงานตรวจสอบ ซึ่งมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาและมาตรการการดำเนินการต่างๆ แตกต่างกันในแต่ละระดับ

การตรวจสอบเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการระบุความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน ประกอบด้วยขั้นตอน และรายละเอียดต่างๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบ และขั้นตอนที่ทำการตรวจสอบ ผู้ตรวจสอบควรจะต้องมีความรู้ความชำนาญในวิธีการตรวจสอบ และความเข้าใจทางด้านพฤติกรรมสะพาน การตรวจสอบสามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะตามความถี่ในการตรวจสอบได้ดังนี้

1. *การตรวจสอบปกติ (Routine Inspection)* เป็นการตรวจสอบตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด เช่น การตรวจสอบประจำเดือน หรือการตรวจสอบประจำปี เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงสภาพของสะพานในช่วงเวลาต่างๆ หากสะพานเริ่มเกิดความเสียหาย จะได้มีมาตรการตรวจสอบความเสียหายเพิ่มเติม ซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาอื่นๆ ได้ทันเวลาที่ โดยทั่วไปมักจะเป็นการทดสอบกายภาพที่ใช้ระยะเวลาและงบประมาณต่อหนึ่งสะพานไม่มากนัก
2. *การตรวจสอบพิเศษ (Special Inspection)* เป็นการตรวจสอบเพิ่มเติมภายหลังที่ทราบว่าสะพานเกิดความเสียหายขึ้น เป็นการตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์สาเหตุการเกิดความเสียหาย ติดตามการขยายตัวของความเสียหาย หรือประเมินความสามารถของสะพานอย่างละเอียด เป็นต้น การตรวจสอบพิเศษในบางกรณีเป็นวิธีเฉพาะ มีข้อควรระวังและเทคนิควิธีการที่ละเอียดซับซ้อน จำเป็นจะต้องตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญพิเศษเท่านั้น
3. *การตรวจสอบฉุกเฉิน (Emergency Inspection)* เป็นการตรวจสอบเมื่อมีเหตุการณ์ฉุกเฉินเกิดขึ้นกับสะพาน เช่น ไฟไหม้ สารเคมีรั่วไหล รถยนต์หรือเรือชนสะพาน หรือแผ่นดินไหว เป็นต้น การตรวจสอบแบบฉุกเฉินนี้จะกระทำไปพร้อมๆ กับมาตรการบรรเทาความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวสะพาน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่โดยรอบหรือต้องใช้สะพานในการสัญจรน้อยที่สุด ประกอบด้วยวิธีการตรวจสอบและประเมินความเสียหายในหลายระดับขึ้นอยู่กับสภาพความร้ายแรงของความเสียหายนั้นๆ

ในการตรวจสอบ จะต้องมีการบันทึกและจัดทำรายงานความเสียหายที่ตรวจพบเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนซ่อมแซมและบำรุงรักษา หรือแม้กระทั่งใช้ในการวางแผนการตรวจสอบครั้งต่อไปก็ได้ การบันทึกความเสียหายนี้จะต้องมีรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย ไม่เกิดความสับสนในการนำข้อมูลไปใช้ต่อไป การวางแผนการซ่อมแซมและบำรุงรักษาจะต้องมีการพิจารณาถึงความรุนแรงของความเสียหาย สภาพของการจราจรและประชาชนในพื้นที่ ข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ ศักยภาพของหน่วยงาน เทคนิคและความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม รวมถึงเทคโนโลยีทางด้านวัสดุ และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ประกอบด้วย

การซ่อมแซมหรือการบำรุงรักษาโดยบุคลากรที่มีความถนัดและความชำนาญในกรรมวิธีนั้นๆ จะทำให้การดำเนินการนั้นเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างสะพานเอง และภายหลังการซ่อมแซมควรมีการบันทึกอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบและซ่อมบำรุงสะพานในครั้งต่อไป รวมทั้งใช้เป็นกรณีศึกษาหรือข้อมูลทางด้านสถิติสำหรับการปรับปรุงมาตรฐานการก่อสร้างต่อไปได้ การจัดการฐานข้อมูลในส่วนนี้ถึงว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก จะต้องมีการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อให้รองรับการข้อมูลในส่วนต่างๆ สะดวกต่อการจัดเก็บและนำไปใช้ และต้องมีความปลอดภัยในการรักษาข้อมูลอีกด้วย

กลศาสตร์ของสะพาน

2.1 กลศาสตร์ของสะพาน

สะพานเป็นสิ่งปลูกสร้างที่มีความสำคัญมากต่อระบบการขนส่งทางบก การออกแบบสะพานนั้นทำได้มากมายหลายแบบ โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องเผชิญกับปัญหาแปลกๆ ใหม่ๆ อยู่เสมอในการที่จะออกแบบสะพานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการง่ายๆ ของโครงสร้างสะพานก็คือจะประกอบไปด้วยระบบพื้นสะพานซึ่งจะพาดผ่านเป็นช่วงๆ (Span) โดยระบบพื้นนี้ จะวางอยู่บนระบบของคานซึ่งอาจเป็นได้ทั้งคานเหล็ก คานกรีต หรือ ไม้

รูปแบบของสะพานมีอยู่หลากหลายมาก เช่น แบบ Arch แบบ Truss แบบ Concrete Box ฯลฯ แต่อย่างไรก็ตาม พื้นฐานสำคัญที่ใช้มากที่สุดก็คือระบบพื้นวางบนคาน ซึ่งพื้นจะถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกลงสู่คาน แล้วคานก็จะถ่ายเทน้ำหนักลงสู่ฐานที่รองรับ ได้แก่ Bearing และตอม่อต่างๆ จากนั้นฐานรองรับเหล่านี้จึงถ่ายเทน้ำหนักทั้งหมดลงสู่พื้นดินต่อไป

สะพานต่างๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาตั้งแต่ในอดีตต่างก็มีการเสื่อมสภาพลงไปตามกาลเวลา เช่น คานกรีตหลุดล่อนออก เหล็กเสริมเป็นสนิม ตอม่อมีการทรุดตัว ฯลฯ แต่การจราจรก็ยังคงต้องดำเนินต่อไป ในวันหนึ่ง สะพานบางส่วนก็ถึงวาระที่จะเสื่อมสภาพไปอย่างถาวร ฉะนั้น ณ วันนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดูแลรักษาสะพานให้ใช้งานได้นานเท่าที่จะทำได้ การซ่อมบำรุงสะพานจะปฏิบัติไม่ได้เลย หากเราไม่ได้เข้าใจถึงธรรมชาติและลักษณะของสะพานที่ได้รับการออกแบบมา ฉะนั้น จึงควรต้องมีความเข้าใจในภาวะแวดล้อม (Circumstances) และพฤติกรรมของสะพาน จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ของสะพานนั้นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

รูปแบบของสะพานมีความสำคัญยิ่งต่อพฤติกรรมของสะพาน เพราะเป็นสิ่งที่กำหนดแนวทางพฤติกรรมของสะพาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบรรทุกและการถ่ายเทน้ำหนักที่สะพานรองรับอยู่ พฤติกรรมของสะพานจะส่งผลต่อสิ่งต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นกับสะพาน เช่น ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก และการเสื่อมสภาพของ Member ของสะพาน ซึ่งล้วนแต่เป็นข้อมูลสำคัญในการประเมินสภาพของสะพาน

ในบทนี้ จะได้บรรยายถึงสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบต่อพฤติกรรมของสะพาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำหนักบรรทุก และแรงที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของสะพาน รวมถึงการสร้าง ความเข้าใจพฤติกรรมต่างๆ ของสะพาน



2.1.1 น้ำหนักบรรทุก (Bridge Design Loading)

องค์อาคาร (Members) ต่างๆ ของสะพานนั้น ได้ถูกออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัยและคุ่มค่า น้ำหนักที่บรรทุกนั้นอาจจะเป็นแบบกระทำเป็นจุด (Concentrated Load) หรือแบบแผ่กระจาย (Distributed Load) ก็ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับวิธีการที่นำมาบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำเป็นจุด (Concentrated Load หรือ Point Load) เป็นน้ำหนักที่กระทำต่อ Member ของสะพานเพียงตำแหน่งเดียวหรือในพื้นที่แคบมากๆ น้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะ ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุด

น้ำหนักบรรทุกแผ่กระจาย (Distributed load) เป็นน้ำหนักที่กระทำต่อทั้งส่วนของ Member ของสะพาน ในปริมาณที่คงที่ น้ำหนักจากส่วนของสะพาน (Decks) ผิวถนน (Wearing Surface) และ แผงบังบนสะพาน (Parapets) ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจาย น้ำหนักบรรทุกรอง (Secondary Loads) เช่น แรงแลม ก็ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายเช่นกัน

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบสะพานนี้ จะอ้างอิงจากคู่มือมาตรฐานและข้อกำหนดของสะพานทางหลวงของสำนักงานการทางและการขนส่งแห่งอเมริกา (American Association of State Highway and Transportation Officials- AASHTO) และจะแบ่งออกได้ เป็น 3 จำพวกหลัก ดังนี้

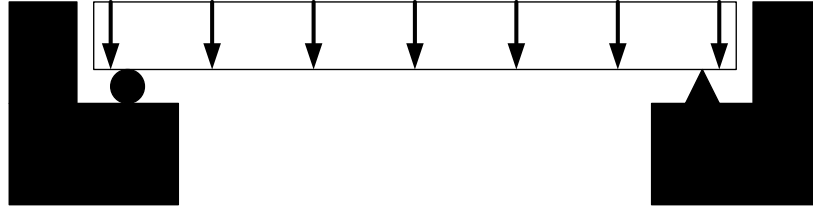
- ◆ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)
- ◆ น้ำหนักบรรทุกจรหลัก (Primary Live Load)
- ◆ น้ำหนักบรรทุกจรอง (Secondary Live Load)

2.1.1.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาที่เปลี่ยนไป เป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างอย่างถาวร ประกอบไปด้วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (ดูรูปที่ 2-1) และยังรวมถึง น้ำหนักตัวเองขององค์อาคาร (Members Self Weight) อื่นๆ ของสะพานและน้ำหนักบรรทุกถาวรภายนอกอื่นๆ ด้วย

- ◆ ตัวอย่างน้ำหนักตัวเอง (Self Weight) : คาน 1 ตัว ที่ยาว 20 เมตร และน้ำหนัก 50 กิโลกรัมต่อเมตร น้ำหนักรวมของคานเท่ากับ 1,000 กิโลกรัม ซึ่งถือว่าเป็นน้ำหนักตัวเองของคานนี้
- ◆ ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกคงที่จากภายนอก (External Dead Load) : อุปกรณ์สาธารณูปโภค เช่น ท่อน้ำประปา ที่ติดตั้งถาวรกับคาน ซึ่งจะนับรวมถึงน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในท่อด้วย น้ำหนักทั้งหมดนี้รวมกันแล้วจะนับเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ทั้งหมด

น้ำหนักรวมทั้งหมดของน้ำหนักบรรทุกคงที่ อาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างอายุการใช้งานของสะพาน เนื่องจากการปรับปรุงผิวจราจร การติดตั้งแผงบัง (Parapets) การติดตั้งระบบสาธารณูปโภค และทางเดินสำหรับการตรวจสอบสะพาน



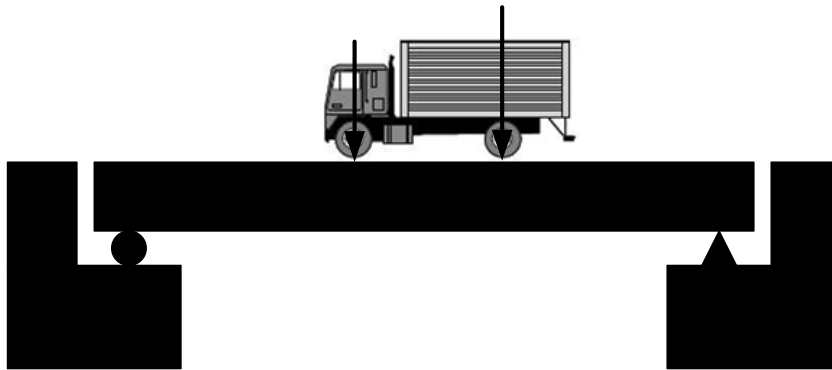
รูปที่ 2-1 น้ำหนักบรรทุกคงที่บนพื้นสะพาน

2.1.1.2 น้ำหนักบรรทุกจรหลัก (Primary Live Load)

น้ำหนักบรรทุกจร ถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ถาวร หรือเป็นน้ำหนักบรรทุกชั่วคราวเท่านั้น ส่วนใหญ่กระทำต่อโครงสร้างในช่วงเวลาสั้นๆ ในการใช้งานสะพานนั้น น้ำหนักบรรทุกจรหลัก คือ น้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่ข้ามไป-มา (ดูรูปที่ 2-2)

ถ้าจะนับรวมถึงผลกระทบของความเร็ว การสั่นสะเทือน และโมเมนต์ แล้ว น้ำหนักบรรทุกจรของถนนนี้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดแรงกระแทก (Impact) การกระแทกนี้จะถูกแสดงผลในรูปของอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกจร และค่าของการกระแทกนี้จะเป็นส่วนที่สัมพันธ์ (Function) กับความยาวช่วงสะพาน (Span Length) การกระแทกจะมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักบรรทุกจร และจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวช่วงสะพานมีค่ามากขึ้น

ยานพาหนะที่เป็นตัวกำหนด น้ำหนักบรรทุกจรมาตรฐานจะถูกกำหนดขึ้นโดย AASHTO เพื่อใช้ในการออกแบบสะพานเป็นตัวแทนของยานพาหนะจริงๆ โดยทั่วไป แต่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปสู่วิธีการวิเคราะห์ แบบง่ายๆ โดยมีพื้นฐานมาจากสมมติฐานของการประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกจรจริงๆ



รูปที่ 2-2 น้ำหนักบรรทุกจรจากรถบรรทุกที่อยู่บนสะพาน

น้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุกของ AASHTO

ในข้อกำหนดของ AASHTO ที่ได้บรรยายไว้ ถึงรถบรรทุกน้ำหนักมาตรฐานว่า จะมีอยู่ 2 แบบ แบบแรกจะเป็น รถหน่วยเดียว ซึ่งจะมี 2 เพลา และเพลาอยู่ห่างกัน 4.27 เมตร (14 ฟุต) และได้รับการตั้งชื่อให้เป็น "รถบรรทุกทางหลวง (Highway Truck หรือ รถบรรทุก H)" (ดูรูปที่ 2-3) น้ำหนักบรรทุกจากเพลาหน้าจะมีค่าเท่ากับ 20 % ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของรถ โดยน้ำหนักจากเพลาหลังจะมีค่าเท่ากับ 80 % ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด ต่อจากตัวอักษร "H" ก็จะเป็นตัวเลขที่แสดง น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบ

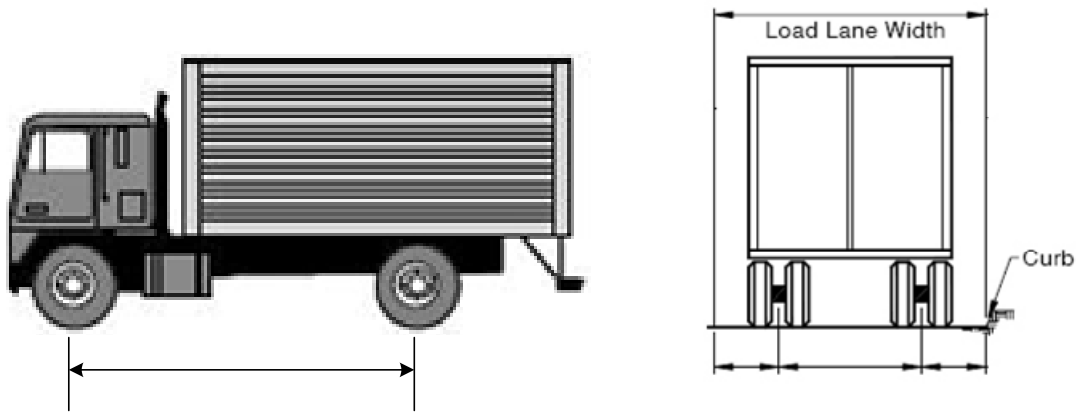


• ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุก “H”

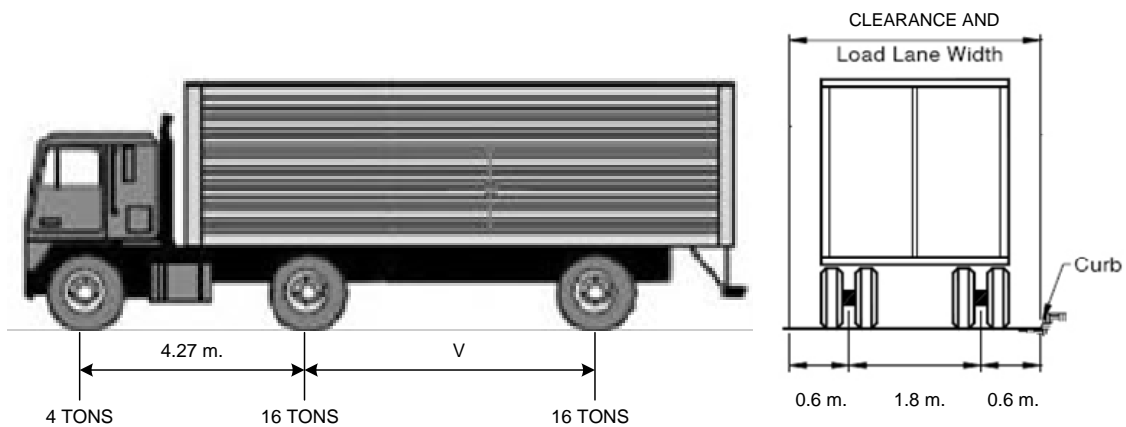
H20-35 จะหมายถึง เป็นรถบรรทุกขนาด 20 ตัน โดยมีน้ำหนักที่เพลหน้า 4 ตัน เพลหลัง 16 ตัน และเพลทั้งสองอยู่ห่างกัน 4.27 เมตร (14 ฟุต) มาตรฐานการใช้น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานนี้ ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อ ปี 1935

มาตรฐานของการหาน้ำหนักจากรถบรรทุกมาตรฐานแบบที่ 2 นี้ จะเป็นแบบ 2 หน่วย และมีแกนเพล 3 แกน และตัวรถมี 2 ส่วน คือ ส่วนหัวลากและส่วนตู้พ่วง และก็จะมีการใช้ชื่อเรียกว่า รถกึ่งบรรทุกพ่วง หรือ “HS” (ดูรูปที่ 2-4)

ส่วนล้อของน้ำหนักของส่วนหัวลาก และระยะห่างระหว่างล้อ เหมือนกับของกึ่งการบรรทุกของรถ “H” น้ำหนักเพลของส่วนต่อพ่วง (Semi Trailer Axle) มีค่าเท่ากับน้ำหนักจากเพลหลังของส่วนหัวลาก และจะมีระยะห่างระหว่างเพลตั้งแต่ 4.27 เมตร (14 ฟุต) ถึง 9.14 เมตร (30 ฟุต) ตัวเลขที่เขียนติดกับตัวอักษร “HS” จะบ่งบอกถึงน้ำหนักทั้งหมดของส่วนตู้พ่วง (Tractor) เท่านั้น



รูปที่ 2-3 รถบรรทุกแบบ H20 ตามมาตรฐานของ AASHTO



รูปที่ 2-4 รถบรรทุกแบบ HS20 ตามมาตรฐานของ AASHTO

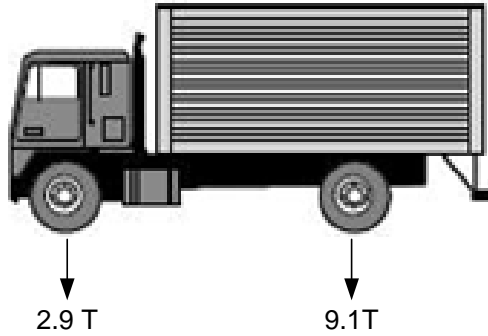
• ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุก HS :

HS20-44 จะหมายถึง รถบรรทุกที่มีน้ำหนักที่เพลหน้าของส่วนตัวลาก เท่ากับ 4 ตัน และน้ำหนักเพลหลังของส่วนหัวลาก เท่ากับ 16 ตัน และน้ำหนักที่เพลของส่วนตู้พ่วงจะหนัก 16 ตัน ดังนั้น น้ำหนักรวมของส่วนหัวลากจะมีค่า

เท่ากับ 20 ตัน แต่น้ำหนักรวมทั้งหมดของรถบรรทุกจะหนัก 36 ตัน เอกสารข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกชนิดนี้ได้รับการจัดพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี 1944

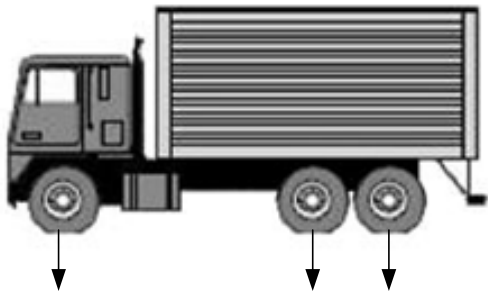
น้ำหนักบรรทุกไทยมาตรฐานกรมทางหลวง

Type 1 รถบรรทุก 6 ล้อ



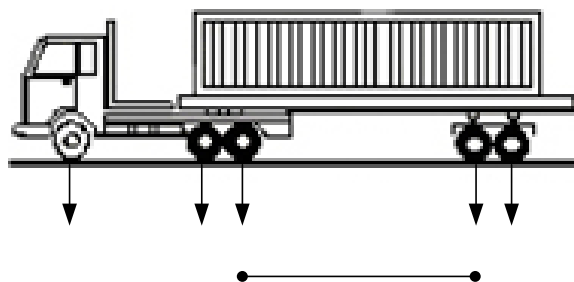
รูปที่ 2-5 รถบรรทุก 6 ล้อ มาตรฐานกรมทางหลวง

Type 2 รถบรรทุก 10 ล้อ



รูปที่ 2-6 รถบรรทุก 10 ล้อ มาตรฐานกรมทางหลวง

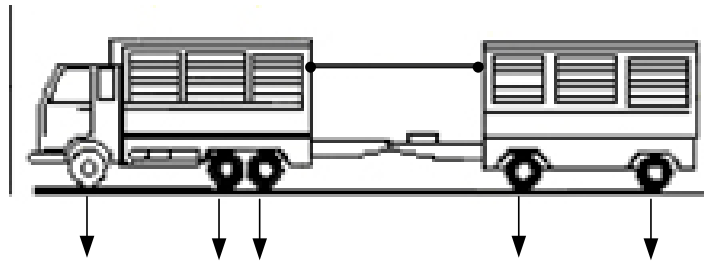
Type 3 Semi-Trailer



รูปที่ 2-7 รถ Semi-Trailer มาตรฐานกรมทางหลวง



Type 4 Trailer



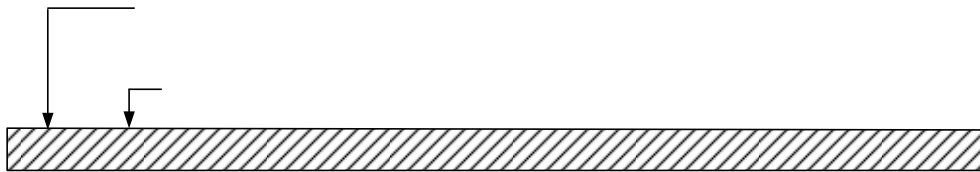
รูปที่ 2-8 รถ Trailer มาตรฐานกรมทางหลวง

8m

น้ำหนักบรรทุกในช่องจราจรที่กำหนดโดย AASHTO

นอกจากจะใช้ค่าน้ำหนักจากรถบรรทุกน้ำหนักมาตรฐานแล้ว การใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกในช่องจราจรก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา น้ำหนักบรรทุกในช่องจราจร ประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกต่อความยาว 1 เมตรในช่องจราจร รวมกับน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (Concentrated Load) ที่อยู่บนช่องสะพานนั้น โดยจะต้องเป็นค่าน้ำหนักที่ทำให้เกิดภาวะวิกฤต (Critical Situation) (ดูรูปที่ 2-9)

สำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์เพื่อประเมินความสามารถในการรับน้ำหนัก จะต้องมีการตรวจสอบทั้งน้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุกมาตรฐานและน้ำหนักบรรทุกในช่องจราจรที่ทำให้เกิด **4.6 T** Stress สูงสุด ใน **8.2 T** Member **8.2 T**



รูปที่ 2-9 Lane Loading ตามมาตรฐานของ AASHTO

น้ำหนักบรรทุกที่กำหนดโดยส่วนราชการทหาร (Military Load)

จะเป็นหนึ่งหน่วยของน้ำหนักบรรทุกที่มี 2 เพลา ซึ่งอยู่ห่างกัน 1.20 เมตร (4 ฟุต) และแต่ละตัวจะหนัก 12 ตัน ข้อกำหนดนี้เป็นส่วนหนึ่งของ AASHTO มาตั้งแต่ปี 1972 สะพานที่อยู่ในเส้นทางหลวงระหว่างเมือง หรือเส้นทางหลักอื่นๆ ซึ่งเป็นเส้นทางสายยุทธศาสตร์การป้องกันประเทศนั้น จะถูกออกแบบให้รับน้ำหนัก ของ HS20 หรือน้ำหนักบรรทุกที่ส่วนราชการทหารกำหนด

ยานพาหนะที่ได้รับอนุญาต

ยานพาหนะที่ได้รับอนุญาตในสหรัฐอเมริกา คือ พาหนะที่มีน้ำหนักบรรทุกเกิน ซึ่งจะต้องขอใบอนุญาตจากแต่ละรัฐก่อน ส่วนใหญ่จะเป็นรถบรรทุกขนาดหนัก เช่น รถบรรทุกพ่วง รถขุดอุปกรณ์ก่อสร้าง รถปั้นจั่น (Crane) เป็นต้น ซึ่งจะมี

ลักษณะแบบและระยะของเพลาแตกต่างกันไป เพื่อสร้างความมั่นใจว่า ยานพาหนะเหล่านั้นจะสามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างปลอดภัยบนทางหลวงและสะพานต่างๆ จึงจำเป็นต้องจัดให้มีการออกแบบให้สะพานเหล่านั้นสามารถรองรับยานพาหนะประเภทนี้ได้ หรือต้องจัดให้มีการตรวจสอบสะพานต่างๆ เหล่านี้ว่าจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะประเภทนี้ได้หรือไม่ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและถูกต้องตามกฎหมาย หน่วยงานที่ทำหน้าที่ออกใบอนุญาตนี้ จะออกใบอนุญาตก็ต่อเมื่อทราบถึงน้ำหนักทั้งหมดของพาหนะ จำนวนเพลา ระยะห่างระหว่างเพลา และน้ำหนักมากที่สุดระหว่างเพลา ที่จะใช้ผ่านเส้นทางนั้นๆ

2.1.1.3 น้ำหนักบรรทุกจรรอง (Secondary Live Load)

เป็นส่วนเพิ่มเติมมาจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรหลัก โดยจะรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

- แรงดันดิน (Earth Pressure) : เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อโครงสร้างส่วนล่างที่ด้านแรงดันอยู่ เช่น ตอม่อและกำแพงกันดิน
- แรงดันน้ำ (Buoyancy) : เป็นแรงที่ดันวัตถุให้ลอยขึ้นเมื่อวัตถุนั้นจมลงไปใต้น้ำ
- แรงลมที่กระทำต่อสะพาน (Wind Load of Structure) : คือ แรงดันลมที่กระทำต่อผิวของโครงสร้างของสะพาน
- แรงลมที่กระทำต่อน้ำหนักบรรทุกจร (Wind Load หรือ Live Load) : คือแรงดันลมที่กระทำต่อน้ำหนักบรรทุกจรที่กำลังข้ามสะพานอยู่
- แรงกระทำในแนวยาว (Longitudinal Force) : เป็นแรงที่อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางของสะพาน และมีสาเหตุมาจากแรงเบรกหรือการเร่งความเร็วของยานพาหนะที่ข้ามสะพาน
- แรงสู่ศูนย์กลาง (Centrifugal Force) : เป็นแรงที่เหวี่ยงออกด้านนอก โดยจะเกิดขึ้นเมื่อยานพาหนะเคลื่อนผ่านสะพานที่มีลักษณะโค้ง (Curved Bridge)
- แรง Rip-Shortening : เป็นแรงที่เกิดขึ้นในสะพานที่ใช้คานโค้ง (Arches) หรือ โครงถัก (Frames) โดยมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกคงที่
- แรงที่เกิดจากการหดตัว (Shrinkage) : เกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีต แรงประเภทนี้ จะมีหลายทิศทางเนื่องจากเปลี่ยนแปลงหลายทิศทางระหว่างการบ่ม (Curing)
- แรงที่เกิดจากอุณหภูมิ (Temperature) : วัสดุมีการขยายตัวเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะมีการหดตัวเมื่อมีอุณหภูมิลดลง อาจจะนำแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มาพิจารณาด้วยก็ได้
- แรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว (Earth Quake) : โครงสร้างของสะพานจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านแรงจากแผ่นดินไหวได้
- แรงดันที่เกิดจากกระแส น้ำ (Stream Flow Pressure) : เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อองค์ประกอบของสะพานที่สร้างอยู่ในแนวกระแส น้ำ
- แรงดันจากน้ำแข็ง (Ice Pressure) : เป็นแรงในแนวราบที่เกิดจากการที่ก้อนน้ำแข็งลอยมาติดที่องค์ประกอบของสะพาน



- แรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ทางเท้า (Sidewalk Loading) : พื้นทางเดินและส่วนค้ำยัน จะถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกจรจากผู้ใช้งานทางเท้า ได้ไม่เกิน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (85 กิโลปอนด์ต่อตารางฟุต)
- น้ำหนักบรรทุกจากขอบถนน (Curb Loading) : ขอบถนนจะถูกออกแบบให้สามารถต้านทานแรงในด้านข้างได้ ไม่น้อยกว่า 70,000 กิโลกรัมต่อความยาว 1 เมตร (500 กิโลปอนด์ ต่อ ความยาว 1 ฟุต)
- น้ำหนักบรรทุกจากราวสะพาน (Railing Loading) : แรงในแนวขวางที่กระทำต่อราวสะพานจะไม่มีเกิน 4,500 กิโลกรัม (10 กิโลปอนด์)

สะพานอาจจะต้องได้รับแรงต่างๆ เหล่านี้ พร้อมๆ กัน ข้อกำหนดของ AASHTO ได้จัดทำตารางของกลุ่มน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ไว้ ในแต่ละกลุ่ม น้ำหนักบรรทุกพวกหนึ่งจะถูกพิจารณาโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำหนักแต่ละชนิดด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ เหล่านี้ ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยอยู่บนพื้นฐานทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่กระทำพร้อมๆ กัน

2.1.2 การหาแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพาน (Material Response of Loading)

องค์ประกอบแต่ละส่วนของสะพานก็ล้วนแต่มีหน้าที่และจุดประสงค์การใช้งานที่เป็นลักษณะเฉพาะของตัวเอง เป็นผลให้มีผลกระทบต่อทางเลือกวัสดุ ประเภทรูปร่างและขนาดขององค์ประกอบส่วนนั้นๆ มีสิ่งต่างๆ ที่จะเป็นตัวอธิบายถึงการตอบสนองของวัสดุต่างๆ เหล่านี้ เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนัก และความรู้อื่นๆ เกี่ยวกับสิ่งต่างๆ เหล่านี้ ก็มีความจำเป็นต่อผู้ทำการตรวจสอบสะพาน

แรง เป็นกิริยาที่ตัวของสิ่งหนึ่งกระทำต่อตัวของอีกสิ่งหนึ่ง แรงจะมี 2 องค์ประกอบ คือ ขนาดและทิศทาง หน่วยหนึ่งของแรงที่นิยมใช้กัน คือ กิโลกรัม (Kilogram, ย่อว่า kg.), ปอนด์ (Pounds, ย่อว่า lb) หน่วยของแรงที่ใช้ในแวดวงวิศวกรรม คือ ตัน (Ton) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลกรัม, กิโลปอนด์ (kip) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 ปอนด์

2.1.2.1 ความเค้น (Stress)

เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความเข้มของแรงภายใน เมื่อมีการให้แรงกระทำต่อวัสดุตัวหนึ่ง ก็จะทำให้เกิดความเค้นภายในขึ้น ค่าจำกัดความของความเค้น ก็คือ แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด

$$\text{ความเค้น (Stress)} = \frac{\text{แรง (Force ; P)}}{\text{พื้นที่ (Area ; A)}}$$

หน่วยของ Stress ก็คือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Kilograms per Square Centimeter) หรือย่อว่า ksc, ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Pounds per Square Inch) หรือย่อว่า psi อย่างไรก็ตาม Stress ก็อาจจะใช้ค่ากิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ksi) หรือหน่วยอื่นๆ ที่เป็นหน่วยของแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ วัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าความเค้นที่ยอมให้ (Allowable Stress) เป็นลักษณะของตัวเอง

2.1.2.2 การเปลี่ยนรูป (Deformation)

เป็นการเปลี่ยนรูปร่าง ของวัสดุอันเนื่องมาจาก Stress

ความเครียด (Strain)

เป็นหน่วยวัดขนาดของการเปลี่ยนรูป โดยจะแสดงเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดของการเปลี่ยนรูปของวัสดุนั้น ต่อขนาดเดิมของวัสดุก่อนเกิดการเปลี่ยนรูป ตัวอย่างเช่น Strain ในทิศทางตามแนวยาว จะคำนวณได้จาก การนำค่าความเปลี่ยนแปลงของความยาวหารด้วย ความยาวเดิมของวัสดุชิ้นนั้นๆ

$$\text{ความเครียด (Strain, } \epsilon) = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป } (\Delta L)}{\text{ความยาวเดิม (L)}}$$

Strain เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยการวัด แต่สามารถแสดงค่าให้เป็นได้โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงของหน่วยความยาว เช่น เซนติเมตร/เซนติเมตร, นิ้ว/นิ้ว

การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation)

เป็นการเปลี่ยนรูปที่ชิ้นส่วนสามารถคืนสู่สภาพเดิมก่อนที่ชิ้นส่วนนั้นจะถูกแรงกระทำได้เมื่อเรานำแรงนี้ออกไป การเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่นนี้เรียกได้อีกแบบหนึ่งว่า เป็นการเปลี่ยนรูปแบบย้อนกลับได้ เพราะว่า จะไม่มีค่า Strain เหลืออยู่เลย เมื่อ Stress ถูกเคลื่อนย้ายออกไป

ตัวอย่าง หนัวยางที่เรายืดออกแล้วปล่อย จะเห็นได้ว่า ยังมีรูปร่างคงเดิม

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

เป็นการเปลี่ยนรูปที่วัสดุไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ หรือ วัสดุได้เปลี่ยนรูปไปอย่างถาวร วัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกเมื่อมันยังคงอยู่ในรูปร่างที่เปลี่ยนไปทั้งๆ ที่ได้เคลื่อนย้ายแรงออกไปแล้ว บางครั้งเราเรียกการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือ Plastic Strain นี้ว่า Irreversible Permanent Strain เพราะว่าค่า Strain ก็ยังคงอยู่หลังจากที่ได้เคลื่อนย้าย Stress ออกไปแล้ว

ตัวอย่าง รถยนต์ที่พุ่งเข้าชนกำแพง ร้วกัน หรือ กันชนรถยนต์ ก็จะมีการเปลี่ยนรูปไป โดยมีการเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่รถยนต์กระเด็นกลับออกมาจากสิ่งที่ชน ฉะนั้น ร้วกันและกันชนต่างก็ได้ผ่านการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกแล้ว

การคืบ (Creep)

การคืบเป็นการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก โดยปกติแล้ว จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น การเปลี่ยนรูปโดยการคืบ (Creep) นี้ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ โดยจะมีค่าที่ขึ้นอยู่กับขนาดของน้ำหนักบรรทุก



ผลกระทบของความร้อน

โดยปกติแล้ว สะพานมักจะได้รับผลกระทบจากความร้อน Superstructures จะมีการยืดตัวและการหดตัวในแนวยาว ถ้า Member นั้นๆ ถูกกำหนดมาให้สามารถยืดและหดตัวได้ เราก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนรูป (Deformation) อันเนื่องมาจากความร้อน แต่อย่างไรก็ตาม ก็อาจต้องมีการระวังและป้องกันให้บาง Member มีการยืดตัวและการหดตัวอยู่ในทิศทางที่แน่นอน ผู้ตรวจสอบสะพาน ก็จำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ Stress เนื่องจากความร้อนนี้ด้วยความระมัดระวัง เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนดังกล่าว สามารถที่จะทำให้เกิด Frictional Stress ที่มีค่ามากๆ ได้

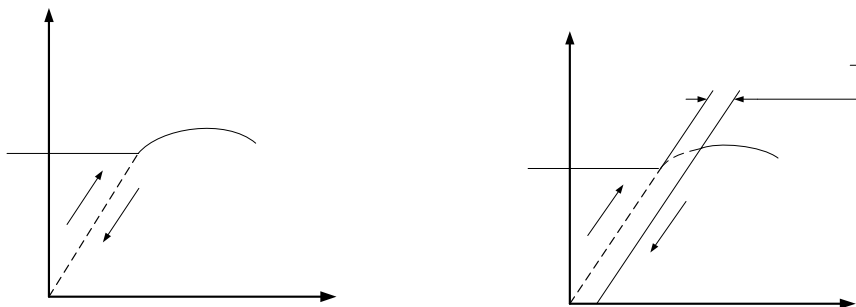
วัสดุจะมีการขยายตัวเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และจะหดตัวเมื่อมีอุณหภูมิลดลง ปริมาณการเปลี่ยนรูปของ Member ที่เกิดจากความร้อน จะขึ้นอยู่กับ

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of Thermal Expansion) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปสำหรับวัสดุแต่ละชนิด
- การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- ความยาวของ Member

2.1.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Relation Ship)

ส่วนใหญ่ของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้าง ค่าของ Stress จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าของ Strain (ดูรูปที่ 2-10) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าสัดส่วนนี้จะใช้ได้กับค่าของ Stress บางค่าโดยเฉพาะเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า พิกัดยืดหยุ่น (Elastic Limit) มี 2 สิ่งที่น่ามาใช้โดยมีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับพิกัดยืดหยุ่น คือ พิกัดปฏิภาค (Proportional Limit) และจุดคลาก (Yield Point)

เมื่อให้ค่าของ Stress ความเค้นเพิ่มขึ้นจนถึงค่าพิกัดยืดหยุ่น (Elastic Limit) วัสดุนั้นจะเปลี่ยนรูปแบบมีความยืดหยุ่น เมื่อผ่านพ้นจุดพิกัดยืดหยุ่นไปแล้ว การเปลี่ยนรูปจะเป็นแบบพลาสติก และ Strain จะไม่แปรผันตรงกับค่า Stress ที่ได้ให้ไป คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้กำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain นั้น เรียกว่า โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือ Young's Modulus



รูปที่ 2-10 Stress-Strain Diagram

โมดูลัสยืดหยุ่น

จะเป็นค่าเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด โดยจะเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความเค้นที่ให้เท่ากับค่าความเครียดที่เป็นผลมาจากความเค้นนั้น

$$\text{โมดูลัสยืดหยุ่น (E)} = \frac{\text{ความเค้น (S)}}{\text{ความเครียด (E)}}$$

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะใช้ได้ตราบใดที่ยังไม่ถึงจุดพิกัดยืดหยุ่น (Elastic Limit) หน่วยของโมดูลัสยืดหยุ่น จะเหมือนกับ หน่วยของ Stress (เช่น ksc, psi หรือ ksi)

2.1.2.4 ความเหนียวและความเปราะ (Ductility and Brittleness)

ความเหนียว เป็นการวัดปริมาณของความเครียดพลาสติกหรือความเครียดถาวร (Plastic or Permanent Strain) ซึ่งวัสดุต่างๆ จะต้องเผชิญ วัสดุที่มีความเหนียวดี จะสามารถต้านทานการเปลี่ยนรูปได้ในปริมาณที่สูงก่อนที่จะแตกหักไป (Break) และวัสดุประเภทนี้จะมีการลดปริมาณพื้นที่หน้าตัดอย่างมาก ก่อนการแตกหัก

วัสดุโครงสร้างทั่วไปที่จะมีความเหนียว จะรวมถึง

- เหล็ก
- อะลูมิเนียม
- ทองแดง

ส่วนวัสดุที่มีความเปราะนั้น จะไม่สามารถต้านทานการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกในปริมาณสูงๆ ได้ การวิบัติของวัสดุที่เปราะนี้จะเกิดขึ้นโดยทันทีโดยที่มีสัญญาณเตือนเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

วัสดุโครงสร้างต่างๆ ไปที่มีความเปราะบางนี้ จะรวมถึง

- คอนกรีต
- เหล็กหล่อ (Cast-Iron)
- หิน

2.1.2.5 ความล้า (Fatigue)

ความล้าเป็นการตอบสนองของวัสดุที่บ่งบอกถึงแนวโน้มของวัสดุที่จะแตกออกเมื่อต้องรับน้ำหนักอย่างซ้ำๆ การวิบัติจากความล้าจะเกิดขึ้นภายในพิสัยของความยืดหยุ่น (Elastic Range) ของวัสดุ หลังจากที่ได้มีการใส่ค่า Stress และปริมาณของ Stress ที่แน่นอนให้แก่วัสดุนั้น

วัสดุแต่ละชนิดก็จะมีค่า Stress สูงสุดสมมติ ซึ่งจะทำให้รับน้ำหนักและเคลื่อนย้ายน้ำหนักออกในจำนวนครั้งที่แน่นอน ค่า Stress นี้ถือว่าเป็นค่าขอบเขตความล้า (Fatigue Limit) ซึ่งปกติแล้ว จะมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงที่จะเกิดการแตก (Breaking Strength) สำหรับน้ำหนักที่ใช้บรรทุกไม่บ่อยนัก

วัสดุที่มีความเหนียว เช่น เหล็กและอะลูมิเนียม จะมี Fatigue Limit ที่ค่อนข้างสูง ในขณะที่วัสดุที่เปราะ เช่น คอนกรีต จะมีค่า Fatigue Limit ที่ต่ำ



2.1.3 การตอบสนองของโครงสร้างสะพานต่อน้ำหนักบรรทุก

แต่ละ Member ของสะพาน มีแนวโน้มที่จะมีการตอบสนองต่อน้ำหนักบรรทุกในกรณีต่างๆ กัน ผู้ตรวจสอบสะพาน จะต้องมีความเข้าใจในพฤติกรรมที่น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อแต่ละ Member เพื่อที่จะทำการประเมินได้ว่า Member นั้นกำลังทำหน้าที่ตามที่ได้ออกแบบมาหรือไม่

การตอบสนองของ Member ของสะพาน ต่อน้ำหนักบรรทุกหลายๆ แบบ โดยการต้านทานแรงพื้นฐาน 4 แบบ ได้แก่

- แรงในแนวแกน (Axial Forces)
- แรงดัด (Bending Forces ; Flexure)
- แรงเฉือน (Shear Forces)
- แรงบิด (Torsional Forces)

ภาวะสมดุล (Equilibrium)

ในการคำนวณค่าของแรงต่างๆ ดังกล่าว การวิเคราะห์นั้นจะอยู่ภายใต้การควบคุมของสมการของภาวะสมดุล ซึ่งจะเป็นสิ่งที่น่าสนใจระบบการสมดุลของแรง ที่อาจจะแสดงได้โดย

$$\sum V = 0$$

$$\sum H = 0$$

$$\sum M = 0$$

โดยที่

$$\sum = \text{ผลรวมของ}$$

$$V = \text{แรงในแนวตั้ง}$$

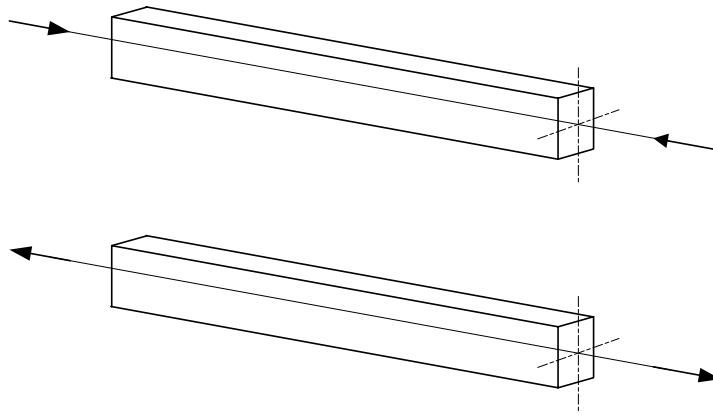
$$H = \text{แรงในแนวราบ}$$

$$M = \text{โมเมนต์ (แรงดัด)}$$

2.1.3.1 แรงในแนวแกน (Axial Forces)

เป็นแรงดึงหรือแรงผลักที่กระทำในแนวเดียวกับแกนขององค์อาคาร ถ้าเป็นการผลัก ก็จะทำให้เกิดแรงกด (Compression) ขึ้น ถ้าเป็นการดึง ก็จะทำให้เกิดแรงดึง (Tension) ขึ้น (ดูรูปที่ 2-11) แรงในแนวแกนจะมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ปอนด์ หรือกิโลปอนด์

เป็นที่ทราบกันดีว่า Member ของโครง Truss เป็น Member แบบที่รับน้ำหนักในแนวแกน Member เหล่านี้ถูกออกแบบเพื่อรับทั้งแรงดึงและแรงอัด สายเคเบิลถูกออกแบบมาให้รับแรงดึง เสาและชิ้นส่วนที่ตั้งในแนวตั้งจะถูกออกแบบมาให้รับแรงอัด



รูปที่ 2-11 Axial Forces

Compress

แรงในแนวแกนที่แท้จริงจะกระทำต่อ พื้นที่หน้าตัด ฉะนั้น จะสามารถคำนวณความเค้นในแนวแกน (Axial Stress) ได้ดังนี้

$$f_a = \frac{P}{A}$$

เมื่อ f_a = ความเค้นในแนวแกน (Axial Stress)

P = แรงในแนวแกน (Axial Force)

A = พื้นที่หน้าตัด (Sectional Area)

Tens

เมื่อ Member ของสะพาน ถูกออกแบบมาให้ต้านทานแรงในแนวแกน พื้นที่หน้าตัดก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับขนาดของแรง ไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึง และก็ขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ใช้

สำหรับ Member ที่จะรับแรงดึง แรงอัด พื้นที่หน้าตัดจะต้องสอดคล้องกับสมการข้างต้นเพื่อให้ได้ค่า Stress ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วหน่วยแรงที่ยอมให้ ในแนวแกนเนื่องจากแรงอัด (Axial Compressive Stress) จะมีค่าต่ำกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ในแนวแกนเนื่องจากแรงดึง มิฉะนั้นจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การโก่งเดาะ (Buckling)

การโก่งเดาะ (Buckling)

เป็นแนวโน้มของ Member ที่จะเปลี่ยนรูปหรือแอ่นออกไปจากระนาบที่ถูกกำหนดให้ทำหน้าที่รองรับแรงอัด เมื่อความยาวและความชะลูด (Slenderness) หรือ Member ที่รับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ก็จะมีอัตราการโก่งเดาะมากขึ้นด้วย Member ที่มีแรงอัดต้องการพื้นที่รับแรงมากขึ้น หรือให้มี Bracing เพื่อเป็นการป้องกันการโก่งเดาะ

2.1.3.2 แรงดัด (Bending Force; Flexure)

แรงดัดในองค์อาคารของสะพาน มีสาเหตุมาจากโมเมนต์ โมเมนต์นี้เกิดจากการรับน้ำหนักในแนวขวาง (Transverse Loading) จึงทำให้องค์อาคารเกิดการแอ่นตัว โมเมนต์ที่เกิดจากแรงดัด จะทำให้เกิดทั้งแรงอัดและแรงดึงในตำแหน่งที่ต่างๆ กันในแต่ละ Member และจะเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ (ดูรูปที่ 2-12) หน่วยของโมเมนต์จะมีค่าเป็น กิโลกรัม-เมตร ปอนด์-ฟุต หรือ กิโลปอนด์-ฟุต



คาน (Beams) และคานขนาดใหญ่ (Girders) เป็นชิ้นส่วนของสะพานที่ทำหน้าที่ต้านทานโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดัด ปีกคาน เป็นส่วนที่วิกฤตที่สุด เพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ต้านทานแรงอัดและแรงดึงที่เกิดจากโมเมนต์ได้มากที่สุด (ดูรูปที่ 2-12)

Member ที่มีการดัด จะมีแกนสะเทิน (Neutral Axis) อยู่ ณ ตำแหน่งที่ไม่มี ความเค้นจากการดัด (Bending Stress) บนพื้นที่หน้าตัดของ Member นั้น Bending Stress จะมีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น (Linear) เมื่อเทียบกับระยะทางจากแกนสะเทิน (ดูรูปที่ 2-12 และ 2-14)

สูตรสำหรับการหาค่าสูงสุดของ Stress จากการดัด ได้แก่ (ดูรูปที่ 2-14)

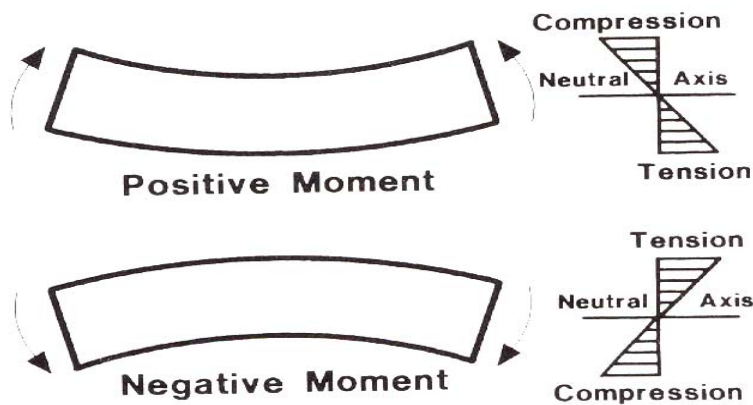
$$f_b = \frac{Mc}{I}$$

เมื่อ f_b = Stress จากการดัด ณ ผิวนอกสุดของคาน

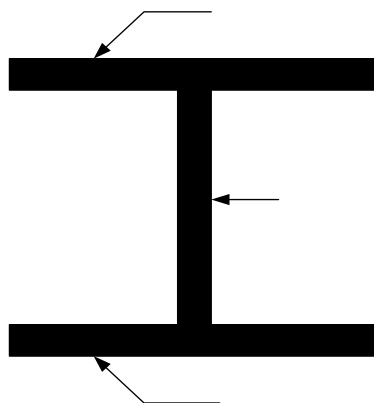
M = โมเมนต์ที่เกิดขึ้น

c = ระยะทางจาก แกนสะเทิน ถึง ผิวนอกสุดของคาน

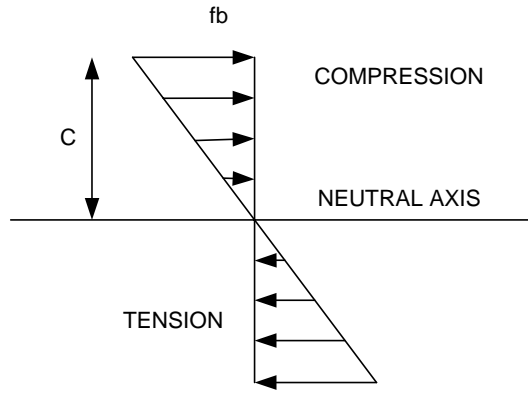
I = โมเมนต์ของเฉื่อย (Moment of Inertia) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของหน้าตัดและรูปร่างของคาน



รูปที่ 2-12 Positive Moment และ Negative Moment



รูปที่ 2-13 Girder Cross Section



รูปที่ 2-14 Bending Stresses

2.1.3.3 แรงเฉือน (Shear Forces)

เป็นแรงที่เป็นผลจากการที่แรงซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม พยายามที่จะเฉือนส่วนหนึ่งขององค์อาคารให้ผ่านไปจากส่วนที่อยู่ติดกัน (ดูรูปที่ 2-15) หน่วยของแรงเฉือน จะเหมือนกับหน่วยของแรงปกติ คือ กิโลกรัมปอนด์ หรือ กิโลปอนด์

ทั้งคานธรรมดา (Beam) และคานขนาดใหญ่ (Girder) ต่างก็เป็น Member ที่ทำหน้าที่ต้านทานแรงเฉือนด้วยเช่นกัน สำหรับคานรูปตัว I หรือ T แรงเฉือนส่วนใหญ่จะถูกต้านทานโดยส่วนเวบ (Web) ของคาน (ดูรูปที่ 2-13) Shear Stress ซึ่งเกิดจากแรงในแนวขวางนั้น ถูกทำให้เห็นชัดเจนขึ้น โดย Shear Stress ในแนวราบ ซึ่งจะมาควบคู่กับ Shear Stress ในแนวตั้งที่มีขนาดเท่ากัน กำลังของแรงเฉือนในแนวตั้งจะเป็นค่าที่วิกฤตที่สุดที่ถูกใช้ในการออกแบบ สูตรสำหรับใช้คำนวณหา Shear Stress ในแนวตั้งในคานรูปตัว I หรือ T ได้แก่

$$f_v = \frac{V}{Aw}$$

เมื่อ f_v = Shear Stress

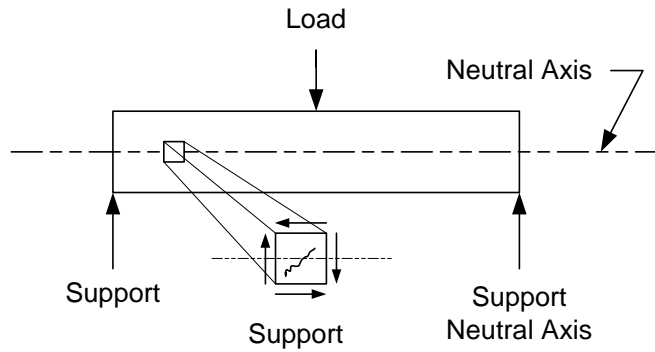
V = แรงเฉือนในแนวตั้ง อันเนื่องมาจาก น้ำหนักบรรทุกภายนอก

Aw = พื้นที่ของเวบคาน (Web)

สำหรับคานรูปสี่เหลี่ยมตัน แรงเฉือนจะถูกต้านทานโดยพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด และสูตรสำหรับ Shear Stress ในแนวตั้ง คือ

$$f_v = \frac{3V}{2A}$$

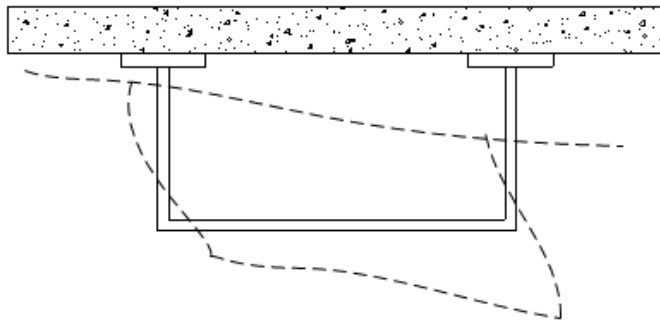
เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัด



รูปที่ 2-15 Shear Forces in Member Element

2.1.3.4 แรงบิด (Torsional Forces or Torque)

เป็นแรงที่เป็นผลมาจากการใส่โมเมนต์จากภายนอกเข้าไป ทำให้ Member เกิดการหมุนหรือบิดไปรอบๆ ของแกนตามแนวยาว (Longitudinal Axis) แรงบิดมีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร ปอนด์-ฟุต หรือ กิโลปอนด์-ฟุต โดยทั่วไปแล้ว ชิ้นส่วนของสะพานจะไม่ถูกออกแบบให้เป็นชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงบิด แต่อย่างไรก็ตาม ในโครงสร้างส่วนของบางสะพาน ประกอบกันเข้าเป็นโครง (Frame) จึงสามารถเกิดแรงบิดขึ้นได้ในชิ้นส่วนในแนวยาว (Longitudinal Member) เมื่อชิ้นส่วนเหล่านี้เกิดการแอ่นไม่เท่ากัน (Differential Deflection) ชิ้นส่วนที่อยู่ติดกันซึ่งอยู่ในแนวขวางนั้น ได้บิดและทำให้เกิดแรงบิดขึ้น และในสะพานที่เป็นรูปโค้ง (Curved Bridges) ก็ต้องรับแรงบิดด้วย (ดูรูปที่ 2-16)

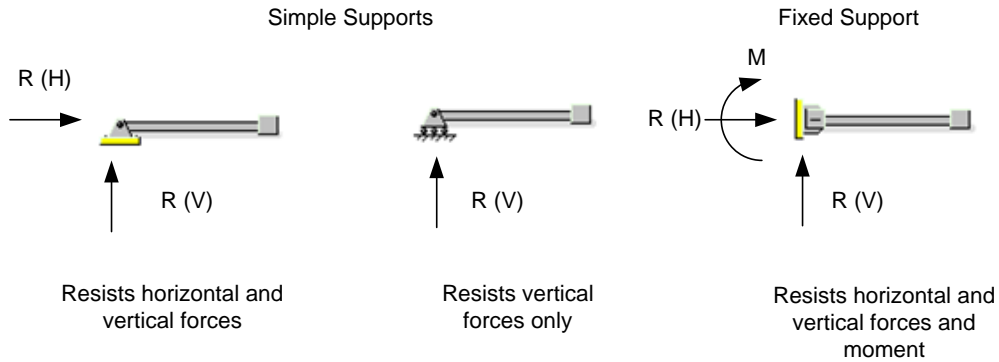


รูปที่ 2-16 Torsional Distortion

2.1.3.5 แรงปฏิกิริยา (Reaction)

เป็นแรงที่เกิดขึ้นที่จุดรองรับ (Support) และจะมีขนาดเท่ากับแรงที่ถ่ายเทมาจากองค์อาคารสู่จุดรองรับ แต่มีค่าตรงกันข้าม โดยปกติแล้ว แรงปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเป็นแรงในแนวตั้ง แต่ก็สามารถเป็นแรงปฏิกิริยาในแนวราบได้เช่นกัน แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่าเพิ่มขึ้นหรือเมื่อเสื่อน้ำหนักบรรทุกเข้ามาอยู่ใกล้ฐานรองรับให้มากกว่าเดิม แรงปฏิกิริยามีหน่วยเป็น กิโลกรัม ปอนด์ หรือ กิโลปอนด์

น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของสะพาน จะมีค่าเท่ากับแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ตอม่อต่างๆ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่เล็กๆ แล้ว คานแต่ละตัวก็ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาผ่านองค์อาคารที่ทำหน้าที่เป็นฐานรองรับ



รูปที่ 2-17 Type of Supports

2.1.4 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบสะพาน

Span ของคานและสะพานต่างๆ ถูกแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ โดยอยู่บนพื้นฐานของลักษณะของจุดรองรับ และความสัมพันธ์ระหว่างช่วง ดังนี้

- ◆ แบบธรรมดา (Simple Span)
- ◆ แบบต่อเนื่อง (Continuous Spans)
- ◆ แบบคานยื่น (Cantilever Span)

สะพานจะมีอยู่ 2 จำพวก ซึ่งคัดจากลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างพื้นสะพาน (Deck)

และ คาน (Beams) ได้แก่

- ◆ แบบไม่ผสม (Non-Composite)
- ◆ แบบผสม (Composite)

อีกลักษณะหนึ่งของการออกแบบได้แก่ ฐานราก ซึ่งทำหน้าที่สำคัญคือ รองรับสะพานทั้งหมด

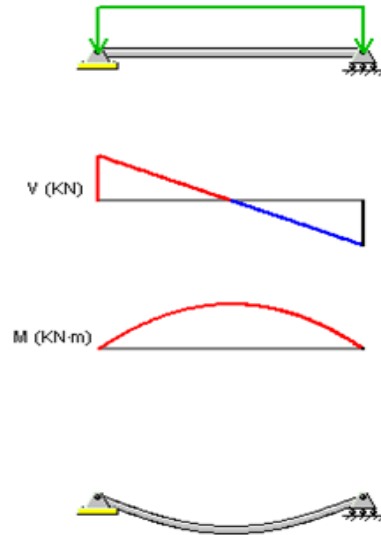
ลักษณะต่างๆ ของการออกแบบนี้ ล้วนแต่มีลักษณะและพฤติกรรมเป็นของตนเองโดยเฉพาะ ซึ่งผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องทำความเข้าใจให้ดี

2.1.4.1 แบบธรรมดา (Simple Span)

เป็นช่วงที่มีจุดรองรับ 2 จุดเท่านั้น และแต่ละจุดรองรับก็อยู่ใกล้ๆ กับจุดสิ้นสุดของช่วง (ดูรูปที่ 2-18)

ช่วงสะพานแบบธรรมดา สามารถจะมี 1 ช่วงสะพาน โดยมีจุดรองรับที่ใกล้ๆ ส่วนปลายของช่วง คือ Abutments หรือ อาจจะมีหลายช่วงสะพาน โดยแต่ละช่วงมีพฤติกรรมที่ไม่เกี่ยวเนื่องกัน (Independent) ลักษณะช่วงสะพานแบบธรรมดา ได้แก่

- ◆ เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนัก ช่วงสะพานจะมีการแอ่นตัวลงด้านล่างและหมุนรอบจุดรองรับ (Abutments)
- ◆ ค่าของผลรวมของแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับขึ้นอยู่กับความยาว Span และน้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำ
- ◆ แรงเฉือนมีค่าสูงสุด ที่จุดรองรับและมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดกึ่งกลางช่วง
- ◆ โมเมนต์ดัด ตลอดทั้งช่วงมีค่าเป็นบวก และมีค่าสูงสุดที่จุดซึ่งอยู่ใกล้ๆ กับจุดกึ่งกลางช่วง (จุดเดียวกันกับจุดที่มีค่าแรงเฉือนเท่ากับศูนย์) ; โมเมนต์ดัดมีค่าเท่ากับศูนย์ที่จุดรองรับทั้งสอง



รูปที่ 2-18 Simple Span

สะพานที่มีช่วงเป็นแบบธรรมดาจะง่ายต่อการวิเคราะห์โดยใช้สมการของภาวะสมดุล อย่างไรก็ตามการออกแบบในลักษณะนี้ก็ได้เป็นแบบที่มีความประหยัดและคุ้มค่า (Economical) ที่สุดเสมอไป

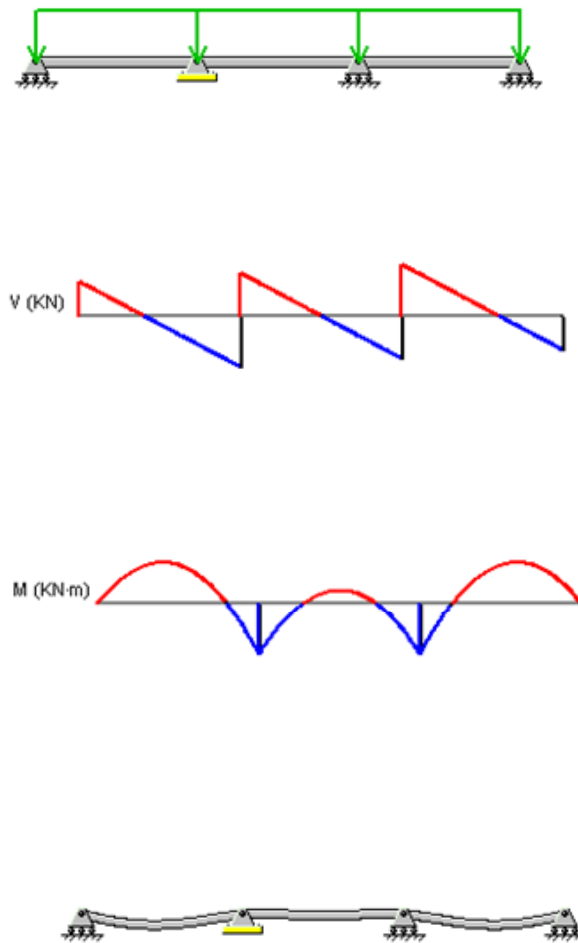
2.1.4.2 แบบต่อเนื่อง (Continuous Spans)

ช่วงสะพานแบบต่อเนื่อง (Continuous Span) จะเป็นรูปโครงร่างของคานที่มีจุดรองรับเพิ่มขึ้นมาในตอนกลางของช่วง ทำให้เกิดช่วงสะพานย่อยขึ้น ซึ่งจะมีพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องเนื่องกับช่วงสะพานย่อยที่อยู่ติดกัน (ดูรูปที่ 2.15)

สะพานที่มีช่วงสะพานแบบต่อเนื่องนี้ จะมี Abutments รองรับที่หัวสะพานและปลายสะพาน โดยมี Piers เป็นตัวรองรับช่วงกลางของสะพาน คุณลักษณะบางประการของสะพานที่มีช่วงต่อเนื่องได้แก่

- ◆ เมื่อทำการบรรทุกน้ำหนัก ช่วงสะพานจะแอ่นตัวลง และมีจุดหมุนที่ฐานรองรับ (ตอม่อ)
- ◆ แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ฐานรองรับ จะขึ้นอยู่กับ โครงร่างของช่วงสะพาน และการกระจายน้ำหนักบรรทุก
- ◆ แรงเฉือนมีค่ามากที่สุดที่ฐานรองรับ และมีค่าเท่ากับศูนย์ ณ จุดกึ่งกลางหรือจุดใกล้เคียงกึ่งกลาง ช่วงสะพาน
- ◆ โมเมนต์ดัดบวก มีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางช่วงสะพาน
- ◆ โมเมนต์ดัดลบ มีค่าสูงสุดที่จุดรองรับที่อยู่ในช่วงกลางระหว่างหัวและท้ายสะพาน (Piers) โมเมนต์ดัดมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ฐานรองรับที่ปลายทั้งสองของสะพาน (Abutments) นอกจากนี้ ยังมีอีก 2 จุดในแต่ละช่วงย่อย ซึ่งโมเมนต์ดัดมีค่าเท่ากับศูนย์ จุดเหล่านี้เป็นที่รู้จักในชื่อ “จุดดัดกลับ”

สะพานที่มีช่วงสะพานเป็นแบบต่อเนื่องนี้ จะช่วยให้สามารถสร้างสะพานได้ยาวขึ้น และมีความคุ้มค่าและประหยัด (More Economical) กว่าสร้างสะพานที่มีช่วงสะพานแบบธรรมดา (Simple Spans) เนื่องจากมีการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้อัตราการของสะพานมีความลึกลง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์สะพานแบบต่อเนื่องนี้ จะทำได้ยากกว่าการวิเคราะห์สะพานแบบช่วงธรรมดา (Simple Spans) อีกทั้งยังมีโอกาสสูงที่จะได้รับผลกระทบต่อภาวะ Overstress เมื่อตอม่อทรุดตัวลง สะพานทั้ง 2 แบบนี้ได้เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป



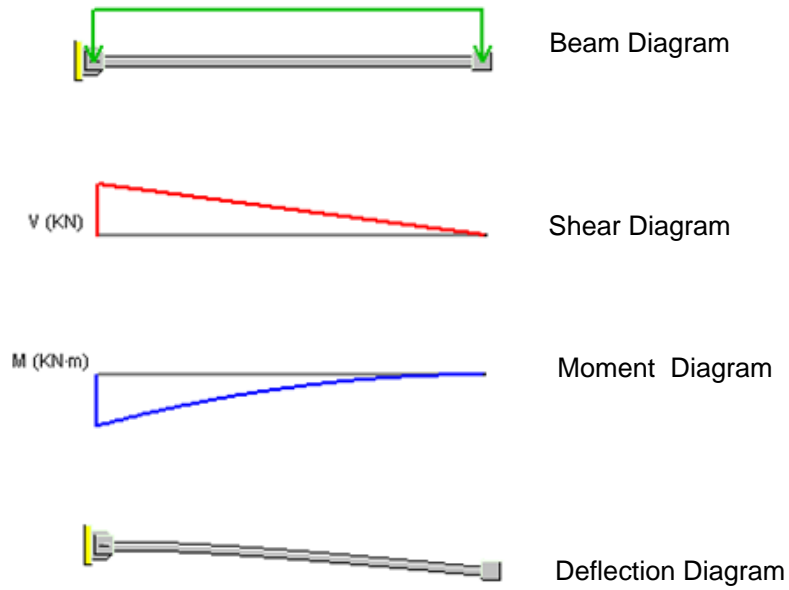
รูปที่ 2-19 Continuous Spans

2.1.4.3 แบบคานยื่น (Cantilever Span)

ช่วงสะพานแบบคานยื่น จะเป็นลักษณะที่ปลายด้านหนึ่งจะถูกยึดติดแน่น เพื่อไม่ให้หมุนหรือแอ่นตัว ในขณะที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะอยู่อย่างอิสระ (ดูรูปที่ 2-20) ปลายด้านที่ถูกยึดติดแน่นนี้จะถูกเรียกว่า ฐานยึดติดแน่น (Fixed Support) (ดูรูปที่ 2-17)

ในขณะที่คานยื่นจะไม่ได้เป็นรูปแบบที่ประกอบด้วยเป็นสะพานทั้งหมด ส่วนต่างๆ ของสะพานจะมีพฤติกรรมเหมือนกับคานยื่น ลักษณะบางประการของแบบคานยื่น ได้แก่

- ◆ เมื่อทำการบรรทุกน้ำหนัก ช่วงสะพานจะแอ่นตัวลง แต่ไม่มีจุดหมุนที่ฐานรองรับ
- ◆ ค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานยึดแน่น (Fixed Support Reaction) จะประกอบไปด้วย แรงในแนวดิ่งและโมเมนต์ต้านทาน
- ◆ แรงเฉือนมีค่ามากที่สุดที่ฐานยึดแน่น (Fixed Support) และมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ปลายอิสระ (Free End)



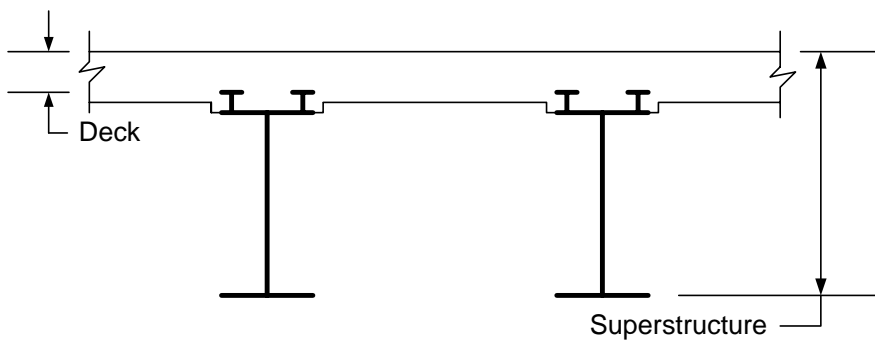
รูปที่ 2-20 Cantilever Span

- ◆ โมเมนต์ตัดตลอดทั้งช่วงจะเป็นโมเมนต์ลบและมีค่ามากที่สุดที่ฐานยึดแน่น เมื่อนำรูปแบบคานยื่นเข้ามาใช้ในการสร้างสะพาน ก็มักจะนำเข้ามาเป็นส่วนเสริมของช่วงสะพานแบบต่อเนื่อง ฉะนั้น โมเมนต์และการหมุน (Rotation) ที่ฐานรองรับคานยื่น จะขึ้นอยู่กับช่วงสะพานย่อยที่อยู่ติดๆ กันและมีค่าเป็นศูนย์ที่ปลายอิสระ

2.1.4.4 แบบไม่ผสม (Non-Composite)

โครงสร้างแบบไม่ผสม (Non-Composite Structure) เป็นรูปแบบที่คานแต่ละตัวในส่วนพื้นสะพาน (Deck) จะมีพฤติกรรมแตกต่างกันไปอย่างอิสระ ฉะนั้น คานเท่านั้นที่จะเป็นตัวที่ทำหน้าที่ต้านทาน น้ำหนักบรรทุกต่างๆ รวมถึงน้ำหนักของตัวคาน ราวสะพาน และน้ำหนักบรรทุกจรต่างๆ

2.1.4.5 แบบผสม (Composite)



รูปที่ 2-21 สะพานแบบ Composite โดยมีพื้นคอนกรีตวางอยู่บนคานเหล็ก

โครงสร้างแบบผสม เป็นลักษณะที่ส่วนพื้นสะพาน (Deck) จะแสดงปฏิกิริยาร่วมกันกับคาน เพื่อดำเนินงานน้ำหนักบรรทุก (ดูรูปที่ 2-21) วัสดุของส่วนพื้นสะพานจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะช่วยในการเสริมความแข็งแรงของชิ้นส่วนนั้น วัสดุที่มักจะทำมาใช้สร้างร่วมกัน คือ คอนกรีตวางบนเหล็ก หรือ คอนกรีตวางบนคอนกรีตอัดแรง การทำงานของชิ้นส่วนแบบผสมนี้เกิดขึ้นได้โดยใช้ สลักเสริมรับแรงเฉือน (Shear Connector) ชนิดต่างๆ ซึ่งถูกติดไว้กับคานและฝังเข้าไปในส่วนพื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต การทำเช่นนี้ทำให้คานและพื้นทำงานร่วมกันเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน โดยจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการลื่นไถลระหว่างส่วนประกอบทั้งสอง เมื่อต้องทำการรับน้ำหนักบรรทุก

การเกิดกิริยาแบบผสม (Composite Action) จะเกิดขึ้นได้เพียงเมื่อ พื้นสะพานคอนกรีตได้แข็งตัวแล้วเท่านั้น เพราะฉะนั้น น้ำหนักบรรทุกคงที่ บางส่วนจะต้องถูกต้านทานโดยกิริยาแบบไม่ผสม คือ เฉพาะคานเท่านั้นที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุก น้ำหนักบรรทุกคงที่เหล่านี้ จะรวมถึง

- ◆ น้ำหนักของคาน
- ◆ น้ำหนักของแผงและตัวยึดรั้วต่างๆ (Diaphragm and Bracing)
- ◆ น้ำหนักพื้นสะพาน คอนกรีต (Concrete Deck)
- ◆ น้ำหนักอื่นๆ ที่มีอยู่ก่อนที่พื้นสะพานคอนกรีตจะแข็งตัว

น้ำหนักอื่นๆ นั้น เรียกว่า น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่เพิ่มเติมภายหลัง (Superimposed Dead Load) จะถูกต้านทานโดยคานและพื้นสะพานคอนกรีตซึ่งจะทำงานร่วมกันแบบผสม น้ำหนักเหล่านี้จะรวมถึง

- ◆ น้ำหนักของผิวถนนที่จะมีขึ้นในอนาคต
- ◆ น้ำหนักทางเดินเท้า
- ◆ น้ำหนักราวสะพาน
- ◆ น้ำหนักอื่นๆ ซึ่งนำมาบรรทุกหลังจากที่พื้นสะพานคอนกรีตได้แข็งตัวแล้ว

เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดนั้น จะถูกนำมาบรรทุกหลังจากที่พื้นสะพานคอนกรีตได้แข็งตัวเรียบร้อยแล้ว จึงถูกต้านทานโดยกิริยาแบบผสมของคานและพื้น

ผู้ทำการตรวจสอบสะพาน สามารถบอกประเภทของสะพานได้ว่า เป็นแบบช่วงธรรมดา แบบช่วงต่อเนื่อง หรือแบบคานยื่น อย่างไรก็ตาม ณ บริเวณการทำงาน ผู้ตรวจสอบสะพานไม่สามารถระบุได้ว่า ความสัมพันธ์ของคานและพื้นสะพาน จะเป็นแบบใด ฉะนั้น จะต้องมีการตรวจสอบแบบแปลนของสะพาน (Bridge Plans) ก่อน เพื่อที่จะบ่งชี้ว่าโครงสร้างนั้น เป็นแบบผสมหรือแบบไม่ผสม

2.1.4.6 ฐานราก (Foundations)

ฐานรากมีความสำคัญต่อความมั่นคง (Stability) ของสะพานเป็นอย่างมากเพราะฐานรากเป็นส่วนที่ต้องรองรับน้ำหนักและโครงสร้างทั้งหมดของสะพาน แบบพื้นฐานของฐานรากมีอยู่ 2 ชนิดคือ

- ◆ แบบฐานแผ่ (Spread Footings)
- ◆ แบบมีเสาเข็ม (Pile Foundations)



แบบฐานแผ่ : จะถูกใช้เมื่อดินชั้นฐาน อยู่ใกล้กับชั้นหิน หรือเมื่อชั้นดินนั้นมีกำลังแบกทานเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักสะพาน ฐานแผ่ส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและหล่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และจะทำหน้าที่กระจายน้ำหนักบรรทุก จากสะพานให้ลงไปสู่ชั้นดินหรือชั้นหินเบื้องล่าง และโดยปกติแล้วฐานแผ่ก็จะถูกกลบทับด้วยดินในปริมาณหนึ่ง

แบบมีเสาเข็ม : จะใช้เมื่อ ชั้นดินบริเวณนั้นไม่เหมาะสมที่จะรองรับน้ำหนักบรรทุกจากสะพาน หรือเมื่อชั้นหินอยู่ห่างจากผิวดินมาก เสาเข็มซึ่งมีลักษณะยาว จะถูกตอกลงไปชั้นดิน อาจจะมีโผล่เหนือพื้นดินเล็กน้อย เสาเข็มนี้อาจทำมาจากเหล็ก คอนกรีต หรือไม้ ปริมาณของเสาเข็มและรูปแบบการจัดวางเสาเข็มหลายๆ แบบได้ถูกนำมาใช้เพื่อรองรับฐานรากของสะพาน ฐานรากแบบมีเสาเข็มนี้ จะถ่ายเทน้ำหนักลงสู่ชั้นดินเบื้องล่าง ซึ่งอยู่ลึกจากผิวดินมาก ถ้าเป็นในกรณีของเสาเข็มแบบใช้แรงเสียดทานที่ผิว (Friction Piles) ก็จะถ่ายเทน้ำหนักสู่ดินบริเวณรอบๆ นอกจากนี้ก็ยังมีวิธีการใช้ “เสาเข็มเจาะ” ในการสร้างฐานรากด้วยซึ่งในบางครั้งก็เรียกว่า ฐานรากแบบตอม่อ (Pier Foundation)

2.1.4.7 การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนัก (Load Capacity Rating)

เป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่จะต้องระลึกเสมอว่า ภารกิจหลักของการตรวจสอบสะพาน คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับ การให้คะแนนความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน เพราะฉะนั้น ผู้ตรวจสอบสะพานจึงควรต้องมีความเข้าใจหลักการของการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน รายละเอียดของวิธีการประเมินรวมทั้งแนวทางในการประเมินนั้นได้กล่าวไว้ แล้วในบทต่างๆ ของคู่มือเล่มนี้

การให้คะแนนการบรรทุกน้ำหนักของสะพาน ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกจรที่สะพานสามารถรองรับได้ แต่ละองค์อาคารของสะพานต่างก็มีวิธีการให้คะแนนความสามารถเป็นลักษณะเฉพาะของตัวเอง โดยปกติแล้วหน่วยของการให้คะแนนความสามารถในการบรรทุกน้ำหนักของสะพานนี้ จะแสดงผลออกมาในรูปแบบของหน่วยเป็น “ตัน” และคำนวณมาโดยอยู่บนพื้นฐานของสูตรต่อไปนี้

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน

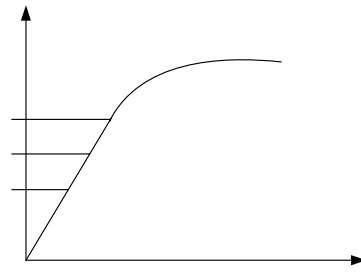
$$= \frac{\text{น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้-น้ำหนักบรรทุกคงที่}}{\text{น้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ (รวมกับน้ำหนักจากการกระแทกแล้ว)}} \times \text{น้ำหนักยานพาหนะ (Tons)}$$

2.1.4.7. ก. ความสามารถในการรับน้ำหนักใช้งาน (Service Load Rating)

ในระดับนี้ สะพานจะได้รับการประเมินว่า จะสามารถรับน้ำหนักเพื่อการใช้งาน (Service Load) อย่างปลอดภัยได้เท่าใด ในระยะเวลาหนึ่ง โดยจะใช้วิธีการของ Allowable Stress Method สำหรับการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของเหล็กนั้น จะใช้ค่า 55 % ของ Yield Stress (ดูรูปที่ 2-22) ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบได้กับค่าที่ใช้ในการออกแบบ

2.1.4.7. ข. ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด (Limit Load Rating)

เป็นการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน ว่าจะสามารถรับน้ำหนักสูงสุดที่ยอมให้ (Maximum Permissible Load) ได้เท่าใด และจะต้องไม่ให้สะพานต้องรับน้ำหนักที่มีค่าสูงกว่านี้เป็นอันขาด สำหรับเหล็กนั้น หน่วยแรงที่ยอมให้ ในการประเมินค่าน้ำหนักสูงสุดนี้ จะใช้ค่า 75 % ของ Yield Stress



Stress

รูปที่ 2-22 Bridge Load Capacity Rating Levels for

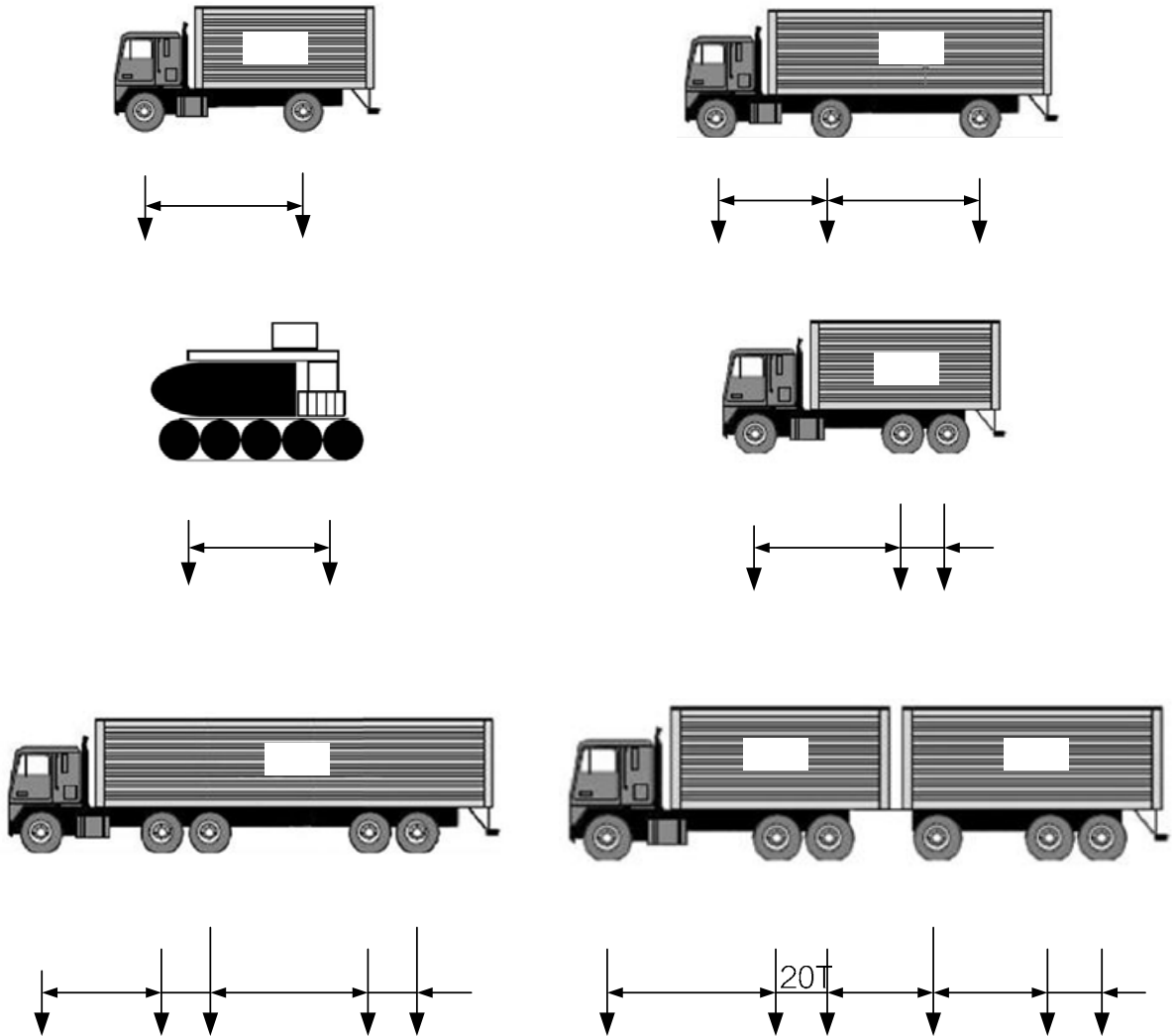
2.1.4.7. ค. พาหนะที่ใช้ในการประเมิน (Rating Vehicles)

พาหนะที่ใช้ในการประเมินความสามารถของสะพานนี้ได้แก่ รถบรรทุกน้ำหนักที่บรรทุกลงบนสะพาน เพื่อทำการให้คะแนนการประเมินทั้ง 2 รูปแบบ (Service และ Limit) พาหนะต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ (ดูรูปที่ 2-23)

F_y

$0.75 F_y$

$0.55 F_y$



รูปที่ 2-23 Rating Vehicles

8K
2 - 23

32K

14'



- ◆ H Loading - รถบรรทุกแบบ H
- ◆ HS Loading – รถบรรทุกแบบ HS
- ◆ Alternate Interstate Loading (Military Loading)
- ◆ Type 3 Unit
- ◆ Type 3 – S2 Unit
- ◆ Type 3 – 3 Unit

ระยะห่างระหว่างเพลาน้ำหนักของ Type 3 Unit, Type 3-S2 Unit และ Type 3-3 Unit จะขึ้นอยู่กับตัวรถจริงๆ อย่างไรก็ตาม ได้กล่าวไปก่อนแล้วว่า พาหนะที่เป็นน้ำหนักบรรทุกแบบ H และ HS นั้น ไม่ได้เป็นตัวแสดงถึงน้ำหนักของพาหนะที่ใช้งานจริงๆ

2.1.4.8 Influence Lines

สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่มีการเคลื่อนที่ได้ วิศวกรกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกเหล่านั้นอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด โดยทั่วไปแล้ว น้ำหนักบรรทุกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Moving Loads) เหล่านี้ จะเป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุด (Concentrated Load) และน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจาย (Distributed Load) น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำเป็นจุดที่เคลื่อนที่ได้นี้ ประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากล้อและน้ำหนักบรรทุกจากเพลาน้ำหนักบรรทุกจากแต่ละช่องจราจร (Lane Loading) ส่วนน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายนั้น จะประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากช่องจราจร (Lane Loading)

จุดวิกฤตสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ได้ จะแตกต่างกันไปสำหรับแต่ละองค์อาคาร (Member) และจุดเชื่อมต่อ (Connections) ในบางครั้ง ก็เป็นไปได้ที่จะตรวจสอบว่า ควรจะวางน้ำหนักบรรทุกนั้นที่จุดใดเพื่อให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด แต่ส่วนใหญ่แล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องสร้าง Influence Line ขึ้นมา เพื่อคำนวณดูว่าควรจะวางน้ำหนักบรรทุกไว้ที่จุดใด

หลักการของ Influence Line นี้ใช้ได้กับทุกโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Planar Structures) ซึ่งรับน้ำหนักในระนาบ เช่น คาน (Beams) โครงข้อแข็ง (Frames) และโครงข้อหมุน (Trusses) สำหรับโครงสร้างสามมิติ เช่น แผ่นเหล็ก (Plates) แผ่นโค้ง (Shells) และตะแกรงข่าย (Grids) ก็จะต้องสร้าง Influence Surfaces ขึ้นมาเพื่อค้นหาจุดวิกฤตในการรับน้ำหนัก

แม้ว่าจริงๆ แล้ว สะพานจะเป็นโครงสร้างสามมิติ (Three Dimensional Space Structures) แต่สะพานก็ถูกจำลองให้มีความง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ (Design and Analysis) จึงทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ของค์อาคารหลัก (เช่น คานขนาดใหญ่ คานชอย และคานพื้น ฯลฯ) เช่นเดียวกับโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ เราควรระลึกไว้ว่า เมื่อสะพานซึ่งเป็นรูปแบบสามมิติ (Three-Dimensional) ถูกจำลองให้เป็นรูปแบบง่ายๆ สำหรับการออกแบบ และการให้คะแนนในการประเมินในรูปแบบของโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Plane Structures) นั้น องค์อาคารรองลงไปอย่างเช่น โครงยึดด้านข้าง (Lateral Bracing) จะถูกวิเคราะห์ เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ไม่ได้

การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่าย (Simplification) นี้ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งพบได้เมื่อทำการคำนวณ Stresses ในองค์อาคารและข้อต่อต่างๆ ของสะพาน การปรับปรุงรูปแบบของโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่ายนี้ จะเป็นที่ยอมรับในการออกแบบสะพานสำหรับน้ำหนักบรรทุกสถิต (Static Loading) โดยปฏิบัติตามข้อกำหนดของ AASHTO ในเรื่องของ Allowable Stress หรือวิธีการใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor

Design Method) แต่อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างนี้ อาจไม่เป็นที่ยอมรับในการออกแบบและการให้คะแนนประเมินสภาพสะพานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรอยแตกที่เกิดจากการล้า (Fatigue Cracking) ในองค์อาคารองต่างๆ (Secondary Members) อย่างเช่น โครงค้ำยันตามขวาง (Cross Bracing) โครงค้ำยันด้านข้าง (Lateral Bracing Members) และข้อต่อ (Connections) และมักจะไม่ใช่ค่าคะแนนการประเมินที่แท้จริงของสะพาน

เนื่องจากว่าการออกแบบสะพานนั้น ได้มีทิศทางเข้าสู่การวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis) ของโครงสร้างแบบ 3 มิติของสะพานโดยการใช้คอมพิวเตอร์ วิศวกรสะพานจึงต้องมีความเข้าใจในการ Influence Line ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจใน Influence Surface เมื่อทำการวางน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักกระแทก (Impact Load) เพื่อหาผลกระทบสูงสุดต่อ Member และข้อต่อต่างๆ

2.2 โครงสร้างสะพาน

ณ ขณะนี้ ผู้ตรวจสอบสะพานควรจะมีความคุ้นเคยกับคำจำกัดความและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกลศาสตร์ของสะพาน และวัสดุที่ใช้สร้างสะพานมาพอสมควรแล้ว ในบทนี้จะนำเสนอคำจำกัดความที่ผู้ตรวจสอบต้องการเพื่อนำไปใช้ในการจำแนกและบรรยายลักษณะของแต่ละชิ้นส่วนของสะพาน ชิ้นส่วนประกอบหลักของสะพานจะถูกบรรยายไว้เป็นอันดับแรก สิ่งต่อมาที่ได้นำเสนอก็คือ รูปร่างพื้นฐานของชิ้นส่วนนั้นๆ และสิ่งสุดท้ายที่นำเสนอคือ วิธีการต่อเชื่อมรูปร่างชิ้นส่วนทั้งหลายเหล่านั้นเข้าด้วยกัน รูปร่างพื้นฐานของชิ้นส่วนจะถูกต่อเชื่อมเข้าด้วยกันเพื่อประกอบกันเป็นองค์ประกอบหลักของสะพาน

2.2.1 องค์ประกอบหลักของสะพาน (Major Bridge Component)

การตรวจสอบสะพานที่ครบถ้วนสมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ตรวจสอบ ในการจำแนกและทำความเข้าใจหน้าที่ขององค์ประกอบหลักของสะพานและชิ้นส่วนต่างๆ ขององค์ประกอบหลักนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วสะพานจะประกอบได้ด้วย 3 ส่วน ขององค์ประกอบหลัก คือ

- แผ่นพื้นสะพาน (Deck)
- โครงสร้างส่วนบน (Superstructure)
- โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure)

2.2.1.1 แผ่นพื้นสะพาน (Deck)

Deck เป็นองค์ประกอบหลักของสะพานที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักบรรทุกจริงโดยตรง

จุดประสงค์ของ Deck : คือ เพื่อให้มีพื้นผิวจราจรที่นุ่มนวลและปลอดภัยในการขับขี่

หน้าที่ของ Deck : Deck มีหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนักบรรทุกจริงและน้ำหนักบรรทุกคงที่ของ Deck ลงไปสู่องค์ประกอบหลักอื่นๆ ของสะพาน ส่วนใหญ่แล้ว Deck จะเป็นหน่วยที่สำคัญหน่วยหนึ่งที่กระจายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ Superstructure ของสะพาน อย่างไรก็ตาม ในสะพานบางชนิด (เช่น สะพานแบบแผ่นพื้นคอนกรีต) แผ่นพื้นสะพานจะเป็นส่วนเดียวกับ Superstructure ซึ่งจะกระจายน้ำหนักบรรทุกจริงโดยตรงลงสู่ Supports



รูปที่ 2-24 ลักษณะของผิวจราจรที่ราบเรียบ



รูปที่ 2-25 Support ที่ด้านใต้พื้นสะพาน

วัสดุที่ใช้ทำแผ่นพื้นสะพาน : วัสดุทั่วไปที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างแผ่นพื้นสะพาน ได้แก่

- ไม้
- คอนกรีต
- เหล็ก

2.2.1.2 โครงสร้างส่วนบนของสะพาน (Bridge Superstructures)

Superstructure ของสะพานเป็นองค์ประกอบของสะพานที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักจาก Deck หรือผิวจราจรของสะพาน เช่นเดียวกับการรับน้ำหนักที่บรรทุกบน Deck

จุดประสงค์ของ Superstructure : คือ เพื่อบรรทุกน้ำหนักที่ถ่ายเทมาจาก Deck ตลอดความยาวช่วงสะพาน และถ่ายเทต่อไปยังจุดรองรับต่อไป

หน้าที่ของ Superstructure : Superstructure มีหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนัก สะพานถูกตั้งชื่อตามประเภทของ Superstructure และ Superstructure อาจจะถูกจัดประเภทโดยคำนึงถึงประเภทของหน้าที่และการใช้งาน (เช่น สะพานมีการถ่ายเทน้ำหนักสู่ Substructure โดยวิธีใด) น้ำหนักบรรทุกนี้ อาจถูกถ่ายเทโดยผ่านแรงดึง แรงกด แรงดัด หรือ ทั้งสามแรงนี้รวมกัน โดยทั่วไปสะพานจะมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ

- แบบคาน (Beam)
- แบบโค้ง (Arch)
- แบบรองรับโดยสายเคเบิล (Cable-Supported)

สะพานแบบคาน : สะพานประเภทนี้จะถ่ายเทน้ำหนักในแนวตั้ง ลงสู่ Substructure ตัวอย่างเช่น

- พื้นคอนกรีต
- คาน (ไม้ คอนกรีต เหล็ก)
- คานขนาดใหญ่ (คอนกรีตหรือเหล็ก)
- โครง Truss (ไม้หรือเหล็ก)

สะพานโค้ง : น้ำหนักจากโครงสร้างบนจะถูกถ่ายในแนวทแยงลงสู่ Substructure คานโค้งที่แท้จริงจะต้องอยู่ในภาวะที่รับแรงกดอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2-26 สะพานคอนกรีตรูปโค้ง



สะพานแบบรองรับโดยสายเคเบิล : นำหนักบรรทุกที่ถูกถ่ายเทให้เป็นแวนดิ่งในสายเคเบิลจะถูกรับไว้โดย Substructure ที่ถูกยึดไว้ได้ด้วย หลักยึด (Anchorage) หรือหอคอย (Tower)



รูปที่ 2-27 สะพานแบบรองรับโดยสายเคเบิล

วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง Superstructure ของสะพาน

นอกจากสะพานจะถูกเรียกชื่อตามชนิดของ Superstructure แล้ว สะพานยังอาจจะถูกเรียกชื่อตามชนิดของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง Superstructure ของสะพาน ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการนำวัสดุต่างๆ เข้ามาใช้ในการก่อสร้าง Superstructure ของสะพานดังนี้

- หินธรรมชาติ
- ไม้
- อิฐ
- เหล็กหล่อ
- คอนกรีต
- เหล็กรูปพรรณ

2.2.1.3 โครงสร้างส่วนล่างของสะพาน (Substructure)

Substructure ของสะพาน คือ ชั้นส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักจาก Superstructure

จุดประสงค์ของ Substructure : มีหน้าที่ถ่ายเทน้ำหนักจาก Superstructure ของสะพานให้ลงสู่ฐานรากดินหรือหิน

หน้าที่ของ Substructure : Units ต่างๆ ของ Substructure จะทำหน้าที่ทั้งรับแรงในแนวแกน และแรงดัดในองค์ประกอบต่างๆ หน่วยทั้งหลายเหล่านี้จะต้านน้ำหนักทั้งในแนวดิ่งและแนวราบที่ถูกถ่ายเทมาจาก Superstructure โดย Substructure ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

- ตอม่อริมฝั่ง (Abutments)
- ตอม่อกลางน้ำทั้งแบบ Piers และ Bents

Abutments เป็นตัวรับน้ำหนักที่ส่วนปลายของ Substructure ของสะพาน ส่วน Piers และ Bents เป็นตัวรับน้ำหนักที่ช่วงในของ Substructure ตลอดความยาวของสะพาน



รูปที่ 2-28 Concrete Abutment



รูปที่ 2-29 Concrete Pier

วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง Substructure

- หินธรรมชาติ



- ไม้
- อิฐ
- คอนกรีต
- เหล็ก

2.2 รูปร่างพื้นฐานของชิ้นส่วนโครงสร้าง

การที่จะสามารถบ่งชี้รูปร่างพื้นฐานของชิ้นส่วนต่างๆ นั้น ต้องอาศัยความเข้าใจในรูปร่างของวัสดุต่างๆ ทั้ง ไม้ คอนกรีต และเหล็ก ที่ใช้ในการก่อสร้างสะพาน

2.2.2.1 รูปร่างของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความพิเศษในการนำมาใช้ก่อสร้างสะพาน เพราะเราสามารถนำคอนกรีตมาหล่อเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ อย่างหลากหลาย ชิ้นส่วนที่เป็นคอนกรีตจะถูกใช้ในการรับแรงในแนวแกนและแรงดัด เนื่องจากว่า การดัดจะเป็นการรวมตัวของทั้งแรงดึงและแรงดัด คอนกรีตไม่ใช่วัสดุที่รับแรงดัดได้ดี ฉะนั้นจึงได้มีการเสริมเหล็กในคอนกรีต ทั้งเหล็กธรรมดา (ซึ่งทำให้กลายเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก) และเหล็กเสริมอัดแรง (ซึ่งทำให้กลายเป็นคอนกรีตอัดแรง) การเสริมเหล็กให้แก่คอนกรีตนี้จะเป็นการช่วยให้ชิ้นส่วนนั้นสามารถรับแรงดึงได้ การเสริมเหล็กอัดแรงจะเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าการเสริมเหล็กธรรมดา แต่อย่างไรก็ตาม คอนกรีตอัดแรงก็มีการเสริมเหล็กด้วยจำนวนที่น้อยกว่า ฉะนั้นจึงมีความคุ้มค่ามากกว่า

รูปร่างของคอนกรีตเสริมเหล็ก :

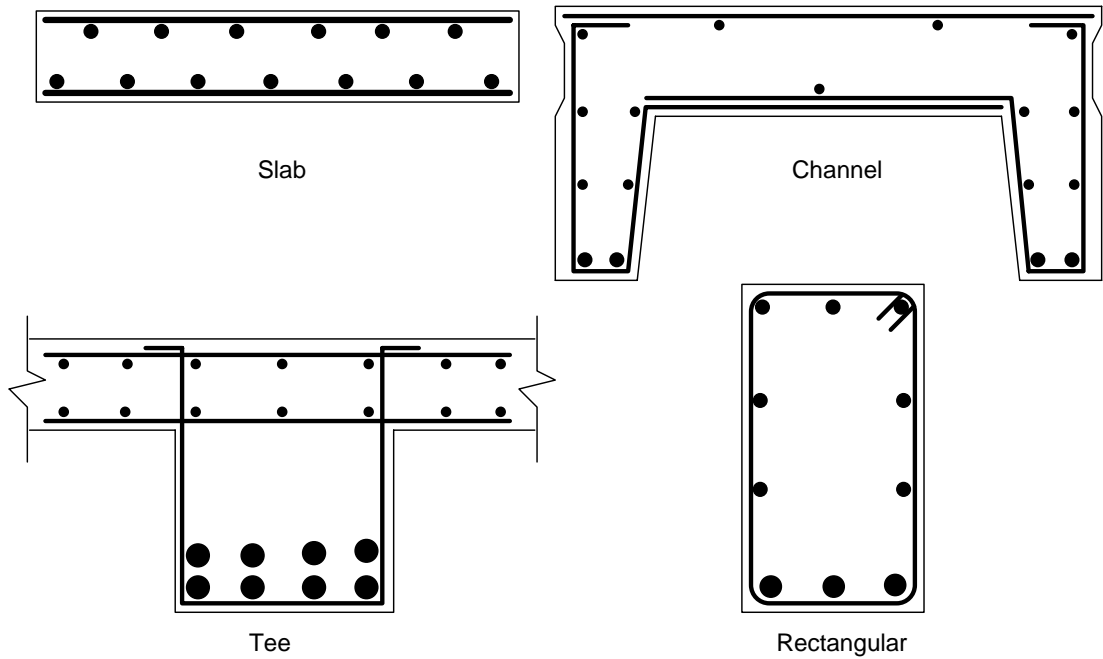
คอนกรีตเสริมเหล็กมีรูปร่างโดยทั่วไป คือ

- แผ่นพื้น (Slabs)
- คานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Beams)
- คานรูปตัว T (Tee Beams)
- คานรูปร่าง (Channel Beams)

สะพานที่ใช้ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างดังกล่าวและมีการเสริมเหล็กด้วย จะถูกสร้างขึ้นมากในระหว่างปี พ.ศ. 2477 ถึง พ.ศ. 2492 และมักจะเป็นการหล่อคอนกรีตในที่ (Cast-In-Place) ปัจจุบันนี้รูปแบบการออกแบบดังกล่าวไม่ได้ถูกนำมาใช้แล้ว แต่สะพานทั้งหลายยังสามารถใช้งานได้อยู่ ชิ้นส่วนที่เป็นคอนกรีตประเภทนี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างสะพานสั้นหรือสะพานขนาดกลาง

- ชิ้นส่วนที่เป็นรูปแผ่นพื้น จะถูกใช้เป็นส่วนพื้นของสะพาน
- คานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้เป็นทั้งชิ้นส่วนของ Superstructure และ Substructure ส่วนหัวของ Pier มักจะเป็นคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งรองรับ Superstructure ไว้
- ชิ้นส่วนที่เป็นคานรูปร่าง (Channel) มักจะถูกใช้ประกอบของ Superstructure เท่านั้น และผลิตโดยการหล่อชิ้นส่วนล่วงหน้า (Precasts) มากกว่าที่จะหล่อในที่ (Cast In Place) คานรูปร่าง (Channel) จะถูกหล่อเป็นรูปคล้ายตัวอักษร "C" และเมื่อทำการติดตั้งจะวางในลักษณะคว่ำลง ชิ้นส่วน

นี้จะทำหน้าที่ทั้ง Superstructure และ Deck มักจะใช้ในสะพานช่วงสั้น (Short Span) เท่านั้น และมักจะมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ทางขึ้นเพื่อให้รถวิ่งได้



รูปที่ 2-30 รูปร่างพื้นฐานของคอนกรีตเสริมเหล็ก

- ชั้นส่วนที่เป็นรูปตัว ที ("T") มักจะถูกใช้เป็นองค์ประกอบของ Superstructure เท่านั้น รูปร่างแบบตัวที ("T") จะทำหน้าที่ของคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแผ่นพื้น เพื่อทำให้เกิดส่วน Deck และ Superstructure ที่สมบูรณ์

รูปร่างของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง

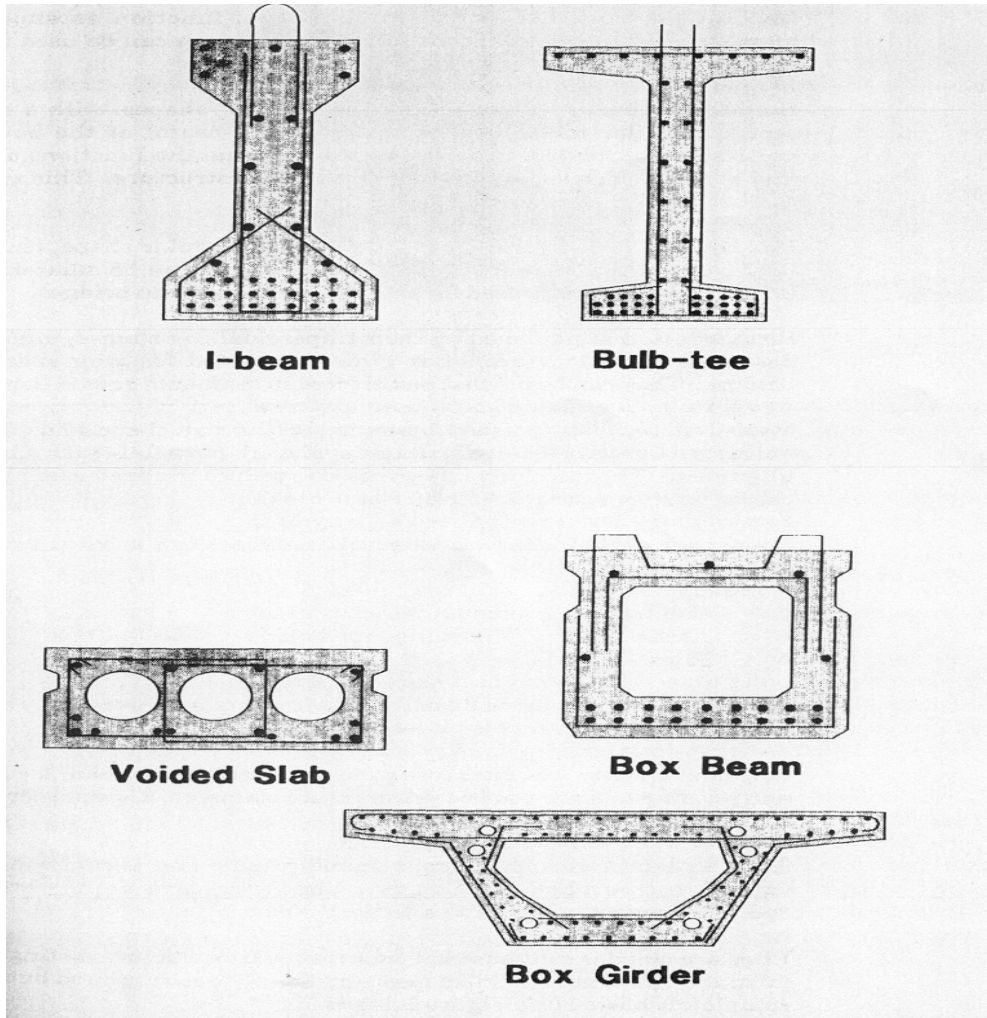
รูปร่างโดยทั่วไปของชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง มีดังต่อไปนี้

- คานรูปต่อไอ (I) (I-Beam)
- คานรูปตัวที ชนิด Bulb-Tee (Bulb Tee)
- คานรูปกล่อง (Box-Beams)
- ชิ้นส่วนรูป Box Girder (Box Girder)
- แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวง (Voided - Slab)

คานคอนกรีตอัดแรงนี้ ทำจากคอนกรีตกำลังอัดสูง (High Strength Concrete) และจะทำการผลิตที่โรงงานของผู้ผลิต ด้วยการที่มีวัสดุที่แข็งแรงขึ้น มีรูปทรงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังมีแรงดึงเสริม (Pre-Stress Forces) จึงทำให้ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า เพราะฉะนั้นจึงสามารถนำไปสร้างในงานที่มีความยาวช่วงมากๆ ได้ และยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจะได้อีกมากกว่าปกติ สะพานที่ใช้ชิ้นส่วนและวัสดุที่เป็นคอนกรีตอัดแรงนี้ ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย ในสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา



- **คานรูปตัวไอ (I-Beam)** ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนของ Superstructure และรองรับส่วนพื้นของสะพาน คานรูปแบบนี้สามารถมีความยาวช่วงได้มากถึง 46 เมตร (150 ฟุต)



รูปที่ 2-31 Prestressed Concrete Shapes

- **คานรูป Bulb-Tee** มีรูปร่างคล้ายตัวที ("T") และมีส่วนล่างเป็นรูป Bulb (คล้ายๆ กับปีกกลางของคานรูปตัวไอ) ที่ส่วนล่างของส่วนลำตัวของคาน คานรูป Bulb-Tee จะรวมหน้าที่ของคานรูปตัวไอ (I) และพื้นคอนกรีต (Slab) เพื่อให้เกิด Superstructure และ Deck ที่มีความสมบูรณ์ สามารถมีความยาวช่วงได้ถึง 55 เมตร (180 ฟุต)
- **คานรูปกล่อง (Box-Beams)** มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยปกติจะมีความลึกไม่น้อยกว่า 43 เซนติเมตร (17 นิ้ว) คานรูปกล่องนี้สามารถนำมาเรียงชิดติดกันหรือห่างกันก็ได้ และถูกนำมาใช้ในงานของสะพานที่มีความยาวช่วงสั้นถึงความยาวช่วงปานกลาง
- **Box Girder** จะมีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู ทำหน้าที่เป็นทั้งส่วนพื้นสะพาน (Deck) และ Superstructure Box Girder จะถูกนำมาใช้ในงานสะพานที่มีความยาวช่วงมากๆ หรือสะพานที่เป็นรูปโค้ง ชิ้นส่วน Box Girder นี้สามารถผลิตได้ล่วงหน้าจากโรงงานผลิต หรือจะทำการหล่อในที่ก็ได้

- **แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวง (Voided Slab)** จะมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม และมีรูกลวงอยู่ภายในแผ่นพื้น ส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นส่วนที่หล่อมาจากโรงงาน เมื่อนำมาติดตั้งจะถูกวางในแนวนานานกับแนวของถนน รูกลวงที่อยู่ภายในมีประโยชน์คือ ช่วยลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวงนี้ สามารถนำไปใช้ได้ในสะพานที่มีความยาวช่วงตั้งแต่ 9-24 เมตร (30-80 ฟุต)

2.2.3 การพังทลายของโครงสร้าง

การพังทลายของโครงสร้าง มีความหมายทางวิศวกรรมว่า สภาวะของโครงสร้างที่ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามความมุ่งหมายตามที่ได้ออกแบบไว้ โครงสร้างสะพานสามารถพังได้ในรูปแบบ Catastrophic หรือ Through Obsolescence ไม่ว่าจะเป็นการพังในลักษณะไหนก็ตาม ล้วนแต่เป็นผลทำให้โครงสร้างนั้นไม่สามารถทำหน้าที่ได้ต่อไปตามความมุ่งหมาย

ประเภทของการพัง

ประมาณกึ่งหนึ่งของการพังของสะพานมีสาเหตุมาจากภาวะน้ำท่วม น้ำท่วมครั้งหนึ่งสามารถทำลายสะพานได้มากมายหลายสะพาน โดยเฉพาะสะพานที่มีขนาดเล็ก มีสาเหตุของการพังหลักๆ 2 ประการ ที่เกี่ยวเนื่องกับภาวะน้ำท่วม ประการแรก คือ การกัดเซาะ (Scour) และอีกประการหนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุทางอ้อม คือ ปริมาณของซากปรักหักพังที่รวมกันเป็นปริมาณมากๆ ที่โครงสร้างสะพานกักไว้ ซากเศษชิ้นส่วน (Debris) เหล่านี้ ทำให้ทิศทางการไหลของน้ำเปลี่ยนไปได้ ทำให้เกิดการกัดเซาะ หรือทำให้เกิดแรงดันในแนวระนาบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการพังของโครงสร้าง

การกัดเซาะในฐานรากของสะพาน เกิดขึ้นมากที่สุดและเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สะพานได้พังลง การกัดเซาะ คือ ผลลัพธ์ของการทำลาย (Erosive Action) อันเป็นสาเหตุมาจากน้ำที่ไหลผ่านได้กัดเซาะวัสดุของผิวพื้นและคันขอบของลำน้ำ วัสดุต่างๆ กันก็จะมีอัตราการกัดเซาะที่อัตราและสภาวะต่างๆ กัน

ดินร่วนจะเกิดการกัดเซาะได้เร็วที่สุด ในขณะที่ดินเหนียวและดินแข็งจะเกิดการกัดเซาะได้ช้า สำหรับหินนั้น หินผาจะเกิดการกัดเซาะทรายและกรวดจะเกิดการกัดเซาะได้ภายในไม่กี่ชั่วโมง ถ้าท้องน้ำที่เป็นวัสดุที่มีความเหนียว ก็จะใช้เวลาหลายๆ วัน ส่วนหินทราย หินดินดาน ก็จะใช้เวลาเป็นเดือนๆ กว่าจะเกิดการกัดเซาะ สำหรับหินปูนนั้น การกัดเซาะจะใช้เวลาหลายๆ ปี

ต้องไม่ลืมว่า การกัดเซาะสูงสุดในดินเหนียวและดินแข็ง ระหว่างช่วงอายุการใช้งานของสะพาน สามารถอยู่ได้ถึงถึงความลึกของการกัดเซาะในท้องน้ำที่เป็นทราย

การกัดเซาะทั้งหมด จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนประกอบหลัก

- 1) การทับถมและการพัดพาของตะกอนและเศษซากต่างๆ
- 2) การกัดเซาะทั่วไปและการกัดเซาะแบบแยกตัว (Contraction Scour)
- 3) การกัดเซาะเป็นแห่งๆ

นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ทางด้านข้างและการเพิ่มระดับของสายน้ำ ก็ทำให้เกิดการกัดเซาะและปัญหาต่างๆ ที่ทำให้เกิดการกัดเซาะถนนบริเวณคอสะพาน หรือทำให้ทิศทางการกระแสน้ำเปลี่ยนไป การเคลื่อนที่ด้านข้างของกระแสน้ำได้รับผลกระทบจาก Geomorphology ของสายน้ำ สิ่งกีดขวางอื่นๆ ลักษณะของน้ำท่วม และลักษณะของวัสดุที่ส่วนพื้นของท้องน้ำ หรือที่บริเวณฝั่งของท้องน้ำ



การทับถมและการพัดพาเป็นการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของระดับพื้นท้องน้ำ เนื่องจากสาเหตุทางธรรมชาติหรือโดยมนุษย์ การทับถม คือ กระบวนการที่วัสดุที่ถูกกัดเซาะมาจากส่วนอื่นของทางน้ำ ส่วนการพัดพานั้นเป็นการลดระดับหรือการกัดเซาะพื้นของลำน้ำ ทั้งสองแบบนี้ต่างก็มีผลกระทบต่อสะพาน การทับถมจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำลดลง ส่วนการพัดพาจะทำให้เกิดการ Undermining ที่ฐานรากของสะพาน



รูปที่ 2-32 การกัดเซาะที่ฐานของ Pier และ Abutment

การกัดเซาะแบบแยกตัว จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายวัสดุต่างๆ ออกจากลำน้ำ ตลอดทั้งหน้าตัดขวาง ส่วนการกัดเซาะโดยทั่วไปอาจจะเป็นผลลัพธ์ของการแยกตัวของกระแสน้ำ การเปลี่ยนแปลงในการไหลของน้ำที่ควบคุมระดับของผิวน้ำ หรือที่ตั้งของสะพานที่สัมพันธ์กับความโค้ง (Bend) สาเหตุสำคัญที่พบบ่อยที่สุดและเกี่ยวข้องกับสะพาน คือ Encroachment ของดินที่ถมไว้หรือของ Abutment ซึ่งทำให้กระแสน้ำมีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งก็จะทำให้เกิดการกัดเซาะมากขึ้นไปอีก (รูปที่ 2-33) เป็นตัวอย่างของการกัดเซาะแบบทั่วไปที่เป็นผลมาจากกระแสน้ำมีความเร็วเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากสายน้ำมีความโค้ง และพื้นที่เป็นทรายด้วย



รูปที่ 2-33 การถูกกัดเซาะของตอม่อ

การกัดเซาะแบบเนิ่นๆ จะกัดเซาะวัสดุเป็นบริเวณเล็กๆ จากพื้นท้องร่องหรือคันดิน จะเกิดการกัดเซาะที่บริเวณรอบๆ Piers หรือ Abutments หรือ Spurs และคันดิน ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากความเร่งความเร็วของกระแสน้ำและการเกิดน้ำวน เพราะมีสิ่งกีดขวางกระแสน้ำเป็นการยากมากในการที่จะประมาณความลึกของการกัดเซาะ กฎพื้นฐานทั่วไปจะใช้ค่า 4 เท่า ของค่าความแตกต่างระหว่างระดับน้ำท่วมกับระดับน้ำต่ำสุด เป็นค่าที่มากที่สุดของการกัดเซาะที่จะเกิดขึ้น

เป็นที่แน่ชัดว่า การกัดเซาะเป็นสาเหตุอันหนึ่งที่สามารถทำให้สะพานพังได้ ฉะนั้นจึงเป็นสิ่งเป็นสิ่งสำคัญมากที่ผู้ทำการตรวจสอบสะพาน จะต้องระมัดระวังกับปัญหานี้ ผู้ตรวจสอบจะต้องบันทึกสภาพปัจจุบันของสะพานและกระแสน้ำอย่างถูกต้อง เพราะสิ่งเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับการกัดเซาะ และยังคงบ่งชี้ถึงสภาวะที่จะเป็นตัวแสดงถึงปัญหาหลัก และต้องสามารถใช้กระบวนการแจ้งให้ทราบถึงการค้นพบการเกิดการกัดเซาะที่เกิดขึ้นแล้ว หรือมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น เพื่อดำเนินการ การตรวจสอบและการประเมินสภาพสะพานต่อไป

รอยแตกเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้สะพานพัง มักจะเป็นผลมาจากการเชื่อมที่ขาดคุณภาพ ต่อมา เมื่อมีการควบคุมคุณภาพรอยเชื่อมให้ดีขึ้น ก็ช่วยลดปัญหานี้ลงได้ รอยแตกวิกฤตในชิ้นส่วนของโครงสร้างของสะพานจะทำให้ชิ้นส่วนหรือ Component นั้นพัง และเป็นสาเหตุให้สะพานพังได้

นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้สะพานพังได้ เช่น อุบัติเหตุที่เกิดจากการที่เรือหรือรถมาชนสะพาน (Impact Damages) แผ่นดินไหว แรงลม การเป็นสนิม การชะล้างของวัสดุ เป็นต้น

ทั้งนี้ผู้ทำการตรวจสอบสะพานจะเป็นบุคคลสำคัญมากเพราะเป็นผู้ที่สามารถจะลดโอกาสพังทลายของสะพานลงได้ โดยมีความรอบคอบและละเอียดในการตัดสินใจและวิเคราะห์ สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่นำไปสู่มาตรการการป้องกันที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันการพังทลายของสะพาน

บทที่ 3

คุณสมบัติของคอนกรีต

3.1 คุณสมบัติของคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่เป็นส่วนผสมของส่วนประกอบหลายอย่าง รวมทั้งซีเมนต์ (Cement) ด้วย ส่วนประกอบต่างๆ ถูกผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม และทำปฏิกิริยาทางเคมีกันจึงทำให้เกิดวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน และใช้ในการก่อสร้างได้ดี จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อสร้างเป็นส่วนประกอบต่างๆ ของสะพาน (Bridge Components)

ส่วนผสมพื้นฐาน

คอนกรีตประกอบไปด้วยส่วนผสมพื้นฐาน ดังนี้

- ◆ ซีเมนต์ (Cement)
- ◆ น้ำ (Water)
- ◆ อากาศ (Air)
- ◆ มวลรวม (Aggregates)

ส่วนผสมแรกสุด คือ ปูนซีเมนต์ และชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบดังต่อไปนี้

- ◆ หินปูน (Limestone) – ให้ออกไซด์ (Lime)
- ◆ หินซีเมนต์ (Cement Rock) - ให้ออกไซด์ซิลิกา (Silica)
- ◆ หินดินดาน (Clay Stone) – ให้ออกไซด์อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide)
- ◆ แร่เหล็ก (Iron Ore) – ให้ออกไซด์เหล็ก (Iron Oxide)



ส่วนผสมที่สองของคอนกรีต คือ น้ำ โดยน้ำทุกชนิดที่พอจะดื่มได้ ถือว่า มีคุณภาพดีพอที่จะใช้ผสมทำคอนกรีต ส่วนน้ำดื่มที่มีรสชาติจนสังเกตเห็นได้และมีกลิ่น ควรจะต้องสงสัยไว้ก่อน สิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำ เช่น สารเคมี เกลือ น้ำตาล หรือ สาหร่าย ล้วนแต่มีผลกระทบต่อไม่พึงปรารถนาให้เกิดขึ้นในการผสมคอนกรีต

ส่วนผสมที่สาม คือ ฟองอากาศเล็กๆ ที่กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะช่วยให้เกิด

- ◆ ความทนทานเพิ่มขึ้น (Increased Durability)
- ◆ มีการแตกรุดลง (Reduced Cracking)
- ◆ มีความสามารถในการเทดีขึ้น (Improved Workability)
- ◆ ช่วยลดการแยกตัวของน้ำ (Reduced Water Segregation)

ส่วนผสมที่สี่ คือมวลรวม (Aggregates) ซึ่งจะมีปริมาณ ถึง 75% ในส่วนผสมของคอนกรีต มวลรวมที่มีคุณภาพดีจะช่วยให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและคงทน อันมีลักษณะดังนี้

- ◆ ทนทานต่อการสึกกร่อน
- ◆ ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ
- ◆ มีความเสถียรต่อปฏิกิริยาเคมี
- ◆ มีรูปร่างที่ดี
- ◆ สะอาดและมีคุณภาพเท่ากันทุกส่วน
- ◆ มีเนื้อคอนกรีตที่เรียบ ไม่มีหลุมบ่อ

น้ำหนักปกติของคอนกรีต จะมีน้ำหนัก 1 หน่วย เท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตโดยทั่วไปได้แก่ ทราย กรวด หินไม่ และ เถ้า

คุณสมบัติของทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของคอนกรีต มีดังนี้

- ◆ การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal Expansion) – คอนกรีตจะขยายตัว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจะหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง
- ◆ ความเป็นรูพรุน – ฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม และทำให้สามารถเกิดการดูดซึมน้ำ และน้ำไหลผ่านได้ภายใต้แรงดัน
- ◆ ปริมาตรเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้น – คอนกรีตขยายตัวเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น และหดตัวเมื่อความชื้นลดลง
- ◆ ความทนไฟ – คอนกรีตสามารถทนต่อผลกระทบจากความร้อนได้สูง แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่สูงกว่า 700 °F ก็สามารถทำให้คอนกรีตเสียหายได้

คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ที่สำคัญ ได้แก่

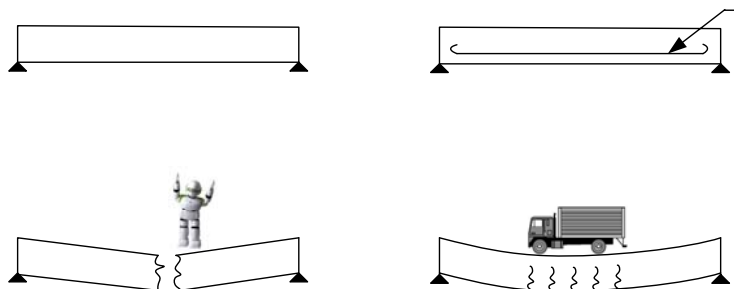
- ◆ กำลัง (Strength) – คอนกรีตเปล่าโดยไม่เสริมเหล็ก มีกำลังอัด (Compressive Strength) สูงมาก ตั้งแต่ 175 ksc (2,500 psi) ถึง 420 ksc (6,000 psi) อย่างไรก็ตาม คอนกรีตมีกำลังดึง (Tensile Strength) เพียง 10 % ของกำลังอัด กำลังเฉือน (Shear Strength) มีค่า 12 % ถึง 13 % ของกำลังอัด และกำลังดัด (Flexural Strength) มีค่า 14 % ของกำลังอัด คอนกรีตที่มีกำลังสูงกว่านี้ คือ มีกำลัง ตั้งแต่ 420 ksc (6,000 psi) ถึง 770 ksc (11,000 psi) ก็สามารถนำมาใช้งานได้เช่นกัน
- ◆ ความยืดหยุ่น (Elasticity) – ภายใต้การใช้งานปกติ คอนกรีตสามารถเปลี่ยนรูป (Deform) ได้ภายใต้ น้ำหนักบรรทุก และคืนสู่รูปเดิมได้เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกออก เราเรียกพฤติกรรมนี้ว่า Elastic Deformation
- ◆ การคืบ (Creep) – นอกจาก Elastic Deformation แล้ว ถ้าคอนกรีตอยู่ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลานานๆ คอนกรีตจะมีการเปลี่ยนรูปโดยไม่สามารถคืนสู่รูปเดิมได้ โดยน้ำหนักบรรทุกนี้ จะมีค่าตั้งแต่ 100% ถึง 200% ของค่า Initial Elastic Deformation ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับเวลา เป็นสำคัญ
- ◆ การมีคุณสมบัติคงที่ – คอนกรีตเปล่า (Plain Concrete) ที่ไม่ได้เสริมเหล็ก จะมีคุณสมบัติเชิงกลเหมือนกัน โดยไม่จำกัดว่า จะถูกกระทำโดยน้ำหนักจากทิศทางใด

องค์ประกอบ 5 ประการที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้น คือ

- ◆ มีปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น
- ◆ มีมวลรวมคุณภาพดี
- ◆ อัตราส่วน น้ำ ต่อซีเมนต์ลดลง
- ◆ ปริมาณฟองอากาศลดลง
- ◆ ได้รับความบ่ม (Curing) ที่นานขึ้น

คอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตมักเป็นวัสดุที่ถูกเลือกใช้ในการก่อสร้างสะพาน เนื่องจากคอนกรีต สามารถรับแรงอัดได้สูงมาก แต่ อย่างไรก็ตาม การใช้คอนกรีตในงานต่างๆ ก็ยังถูกจำกัดอยู่ เนื่องจากคอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงดึงได้น้อยมาก จึงต้องมีการเสริมเหล็กเพื่อช่วยทำหน้าที่นี้ (ดูรูปที่ 3-1)



รูปที่ 3-1 Reinforced Concrete



เหล็กเสริมในคอนกรีตนี้ จะมีกำลังดึงมากกว่าคอนกรีตประมาณ 100 เท่า ดังนั้นในคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กเสริมจึงต้องทำหน้าที่รับแรงดึงในขณะที่คอนกรีตทำหน้าที่รับแรงอัด และเหล็กเสริมจะอยู่ในตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับด้านผิวที่เกิดแรงดึง

เหล็กเสริมดังกล่าวนี้ จะอยู่ในแนวตั้งฉากกับเหล็กเสริมกันรั่ว (Temperature Shrinkage Steel) ซึ่งมีไว้เพื่อรับ Stresses ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาตรของคอนกรีต

เหล็กเสริมอาจจะมีลักษณะแบบ ผิวเรียบ (Plain) หรือ เป็นแบบหยักข้ออ้อย (Deformed) ก็ได้ (ดูรูปที่ 3-2) โดยเหล็กแบบข้ออ้อยทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเนื้อคอนกรีตได้มากกว่า ในสะพานยุคใหม่ ล้วนแต่ใช้เหล็กเสริมแบบข้ออ้อยทั้งนั้น

การเรียกชื่อเหล็กเสริม จะเรียกตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้นๆ เหล็กเสริมยังสามารถช่วยให้ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กมีกำลังอัดเพิ่มมากขึ้นได้ด้วย ถ้ามีการเสริมเหล็กเข้าไปในชิ้นส่วนคอนกรีตอย่างเหมาะสม วัสดุทั้ง 2 อย่าง คือ คอนกรีต และเหล็ก จะทำหน้าที่ร่วมกัน ซึ่งทำให้เกิดวัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงทนทาน

ตารางเหล็ก เส้นกลม เสริมคอนกรีต (มอก.20-2527)

Diameter (mm.)	Weight (kg/m.)	Area (cm ²)	Perimeter (cm.)
RB6	0.22	0.28	1.89
RB9	0.50	0.64	2.83
RB12	0.89	1.13	3.77
RB15	1.39	1.77	4.71
RB19	2.23	2.84	5.97
RB22	2.98	3.80	6.91
RB25	3.85	4.91	7.86

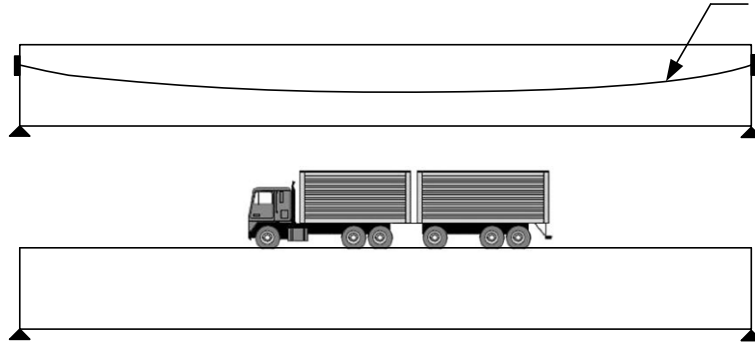
ตารางเหล็ก ข้ออ้อย เสริมคอนกรีต (มอก.24-2527)

Diameter (mm.)	Weight (kg/m.)	Area (cm ²)	Perimeter (cm.)
DB10	0.62	0.79	3.14
DB12	0.89	1.13	3.77
DB16	1.58	2.01	5.03
DB20	2.47	3.14	6.29
DB25	3.85	4.91	7.86
DB28	4.83	6.16	8.80

รูปที่ 3-2 Standard Deformed Reinforcing Bars

คอนกรีตอัดแรง

คอนกรีตอัดแรงจะใช้เส้นลวดเหล็กกำลังสูงแทนเหล็กธรรมดา ในการที่จะลดขนาดของแรงดึงใน Member ที่เป็นคอนกรีตนั้น จะมีการทำให้เกิดแรงอัดขึ้นภายใน Member นั้น โดยใช้ลวดเหล็กอัดแรง ซึ่งจะทำให้เกิดการหักล้างของแรงดึงที่เกิดขึ้นและแรงอัดที่เพิ่มเข้าไป วิธีอัดแรงเข้าไปในคอนกรีตเช่นนี้ จะช่วยให้ Final Tensile Forces ยังอยู่ในขีดจำกัด (Limit) ของกำลังดึงของคอนกรีต ฉะนั้น ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงที่ได้รับการออกแบบที่เหมาะสม จะไม่ทำให้เกิดรอยแตกจากแรงดัด (Flexure Cracks) เมื่อต้องทำการบรรทุกน้ำหนักใช้งาน (Service Load) (ดูรูปที่ 3-3)



รูปที่ 3-3 Prestress Concrete

วิธีการอัดแรงคอนกรีต จะมี 3 วิธี

- ◆ การอัดแรงแบบดึงก่อน (Pretensioning) – ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดนี้ ลวดเหล็กอัดแรง จะถูกวางให้อยู่ในตำแหน่ง และถูกดึงด้วยแรงที่ออกแบบไว้ แล้วจึงมีการเทและบ่มคอนกรีตลงไป ในภายหลัง (ดูรูปที่ 3-4)



รูปที่ 3-4 ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงชนิดดึงก่อน (Pretensioning)

Prestre

Sm

No Flexure



- ◆ การอัดแรงแบบดึงทีหลัง (Post Tensioning) – จะมีการวางท่อ (Duct) ไว้ในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน และมีการเทคอนกรีตทับไว้ เมื่อทำการบ่มคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว เหล็กเสริมอัดแรงก็就会被สอดเข้าไปในท่อนั้นและก็ถูกดึงด้วยแรงตามขนาดที่ได้คำนวณไว้ (ดูรูปที่ 3-5)
- ◆ วิธีการแบบผสม (Combination Method) – ใช้กับชิ้นส่วนที่มีความยาวมากๆ โดยที่การใช้วิธีการอัดแรงแบบดึงก่อน อาจจะไม่มีความปลอดภัยเพียงพอ



รูปที่ 3-5 Pretensioned Concrete

- ◆ เส้นลวดอัดแรง (Wires ; ASTM A421) เป็นเหล็กที่มีกำลังดึงสูง (High Tensile Strength) และจะมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ – เป็นเส้นลวดเดี่ยว (Single) หรือ คู่ขนาน (Parallel Wire Cables) : โดยเส้นลวดคู่ขนานนี้มักถูกใช้ในการอัดแรงแบบดึงทีหลัง (Post Tensioning) ขนาดที่นิยมใช้ คือ ลวดขนาด 0.7 เซนติเมตร
- ◆ กลุ่มเส้นลวดตีเกลียว (Strands ; ASTM A416) – ทำมาจากการใช้เส้นลวดมาพันกันแบบตีเกลียว ในอเมริกา ส่วนใหญ่จะใช้ลวด (Wire) 7 เส้นมาเข้ากลุ่มตีเกลียว ใช้ในการอัดแรงแบบดึงก่อน (Prestressing) และจะอยู่ในเกรดที่มีกำลังดึงเท่ากับ 18,900 ksc (270 ksi)
- ◆ เหล็กเส้น (Bars ; ASTM 322 และ A29) – เหล็กเส้นกำลังสูง มักจะมีกำลังดึงประลัยต่ำสุดที่ 10,150 ksc (145 ksi) และเหล็กนี้จะมีการหดตัวตลอดความยาว (Full- Length Deformation) ซึ่งก็จะเป็นทำหน้าที่เหมือนตัวรับแรงคู่ควบ (Couples) และวัสดุอุปกรณ์ของระบบตัวยึด (Anchorage Hardware)

ในชิ้นส่วนที่ได้รับการอัดแรงแบบดึงก่อน (Pretensioned) จะมีการถ่ายเท Tensile Stress โดยผ่านแรงยึดเหนี่ยวของลวดเหล็กกับคอนกรีต (Bonding) ซึ่งเป็นปฏิกิริยา ที่มีความปลอดภัย

ในชิ้นส่วนที่ได้รับการอัดแรงแบบดึงทีหลัง จะมีการถ่ายเท Tensile Stress จากลวดอัดแรง (Tendons) โดยกลไกที่ส่วนปลาย (Mechanical End) และสมอยึด (Anchorage) รวมถึงอุปกรณ์ยึดอื่นๆ ถ้าต้องการให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวด้วย ก็จะมีการอัดน้ำปูน (Grout) เข้าไปในท่อ (Duct) และทำการปิดปลายท่อให้เรียบร้อย

วิธีการจะสมบูรณ์โดยหล่อคอนกรีตให้สัมผัสกับเหล็กอัดแรงโดยตรง ในการอัดแรงแบบดึงที่หลัง (Post Tensioning) การทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว (Bonding) นั้น จะสำเร็จได้เมื่อทำการอัดน้ำปูน (Grout) เข้าไปในท่อ หลังจากทำการอัดแรงเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เพื่อเป็นการควบคุมรอยแตกต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นส่วนปลายของชิ้นส่วนอัดแรงแบบดึงก่อนนั้น ในบางครั้งลวดอัดแรงก็อาจจะไม่ถูกทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยว (Unbonded) และนอกจากนั้น การควบคุมรอยแตกก็ยังทำได้โดยจัดให้มีส่วนหุ้มเหล็กเพื่อป้องกันไม่ให้เหล็กสัมผัสกับคอนกรีต สำหรับชิ้นส่วนที่อัดแรงแบบดึงภายหลัง เมื่อไม่ต้องการแรงยึดเหนี่ยวแล้ว ก็ไม่มีความจำเป็นต้องทำการอัดน้ำปูนของเส้นลวด แต่ต้องให้มีการป้องกันสนิม เช่น การชุบสังกะสี (Galvanizing) การอาบน้ำมัน (Greasing) หรือการใช้วัสดุอื่น ๆ

3.2 ความเสื่อมสภาพของคอนกรีต

การชำรุดของสะพานคอนกรีต จะมีหลายรูปแบบ ดังนี้

- ◆ รอยแตก (Cracking)
- ◆ การหลุดเซาะ (Scaling)
- ◆ การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)
- ◆ การหลุดล่อน (Spalling)
- ◆ การเกิดขี้เกลือ (Efflorescence)
- ◆ การเกิดรูพรุนเหมือนรวงผึ้ง (Honeycomb)
- ◆ การหลุดออกเป็นเม็ดๆ (Pop-Out)
- ◆ การสึกหรอของพื้นผิว (Wears)
- ◆ การเสียหายที่เกิดจากการถูกชน (Collision Damage)
- ◆ การสึกกร่อน (Abrasion)
- ◆ การชำรุดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overload Damage)
- ◆ การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforce Steel Corrosion)
- ◆ การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)

รอยแตก (Cracking)

รอยแตกอาจเกิดขึ้นเพียงส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของแต่ละชิ้นส่วนคอนกรีต ในคอนกรีตเสริมเหล็ก รอยแตกจะมีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตาม ในคอนกรีตอัดแรง จะต้องมีการใช้อุปกรณ์วัดรอยแตก (Crack Gauge) จึงจะเหมาะสมสำหรับการวัดรอยแตกและแยกแยะรอยแตกต่างๆ รอยเปื้อนจากสนิมและการเกิดขี้เกลือมักจะปรากฏให้เห็นตามรอยแตกต่างๆ รอยแตกทั้งขนาดใหญ่และเล็กที่เกิดขึ้นในองค์อาคารหลัก (Main Members) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Member ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง ควรจะต้องถูกบันทึกไว้อย่างระมัดระวัง ขนาดของรอยแตกอาจถูกแยกแยะออกเป็น รอยแตกขนาดเท่าเส้นผม (Hairline) รอยแตกขนาดกลาง (Medium) หรือ รอยแตกขนาดใหญ่ (Wide) รอยแตก

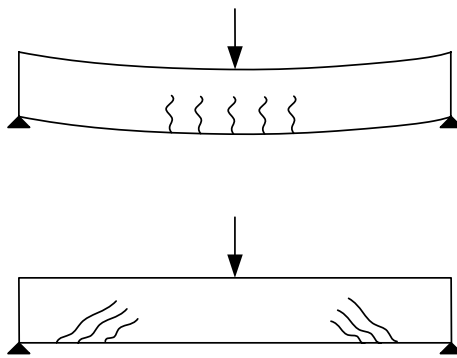


ขนาดเท่าเส้นผมจะเป็นรอยแตกที่ไม่สามารถวัดขนาดได้ด้วยอุปกรณ์ธรรมดา ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป รอยแตกเท่าเส้นผมนี้จะไม่ใช่เรื่องสำคัญที่จะมีผลกระทบต่อการทำงานของรับน้ำหนักของโครงสร้าง ส่วนรอยแตกขนาดกลางและขนาดใหญ่ นั้น เราสามารถใช้อุปกรณ์ง่าย ๆ วัดได้ รอยแตกเหล่านี้ อาจจะเป็นสิ่งที่สำคัญมากและควรที่จะได้รับการตรวจสอบและบันทึกไว้ในบันทึกการตรวจสอบ สำหรับในกรณีของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงแล้ว รอยแตกทุกรอยล้วนแต่มีความสำคัญหมด เมื่อทำการบันทึกถึงรอยแตกต่างๆ ความยาว ความกว้าง ตำแหน่ง และทิศทางของรอยแตกแนวราบ แนวตั้ง หรือแนวเฉียง จะต้องได้รับการบันทึกให้ชัดเจน ถ้าปรากฏว่ามีคราบสนิมหรือซีเมนต์เกลือ หรือมีหลักฐานว่ามีการเคลื่อนที่ของทั้งสองด้านของรอยแตกเกิดขึ้น ก็ต้องระบุไว้ด้วย

ในคานคอนกรีต จะมีรอยแตกอยู่ 2 ประเภท คือ รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Structural Cracks) และรอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Non Structural Cracks)

รอยแตกเชิงโครงสร้าง มีสาเหตุมาจาก Stresses ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) และถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ (ดูรูปที่ 3-6)

- ◆ รอยแตกจากการดัด (Flexure Cracks)
- ◆ รอยแตกจากการเฉือน (Shear Cracks)



รูปที่ 3-6 ชนิดของรอยแตก

รอยแตกจากการดัด จะมีลักษณะอยู่ในแนวตั้ง (Vertical) และเริ่มแตกจากบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุด (Maximum Tension Zone) หรือเกิดโมเมนต์สูงสุด (Maximum Moment Trussing) แล้วแผ่ไปยังส่วนที่เกิดแรงอัด (Compression Zone) ณ จุดกึ่งกลางช่วงของชิ้นส่วน จะพบรอยแตกจากการดัดได้ที่ด้านล่างของชิ้นส่วนซึ่งเป็นส่วนถูกดัด หรือ มี Flexure Stresses สูงสุด ถ้าเป็น Continuous Member ก็ให้ตรวจสอบด้านบนของ Members ที่อยู่ด้านบนของ Pier

รอยแตกจากการเฉือน เป็นรอยแตกในแนวเฉียง ที่มักจะเกิดขึ้นที่เวยคาน (Web) โดยปกติแล้ว จะพบรอยแตกนี้ได้ทั้งบริเวณใกล้กับ แผ่นรองสะพาน (Bearing) และรอยแตกจะเริ่มที่ด้านล่างของ Member นั้นและขยายต่อไปในแนวเฉียงไปยังด้านบนของ Member

รอยแตกที่ไม่ใช่รอยแตกเชิงโครงสร้าง (Non Structural Cracks) จะถูกแยกออกเป็น 3 ชนิด คือ

- ◆ รอยแตกเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Cracks)
- ◆ รอยแตกเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Cracks)

◆ รอยแตกเนื่องจากคอนกรีตหยาบ (Mass Concrete Cracks)

รอยแตกเหล่านี้ มักจะมีขนาดเล็กและไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของ Member นั้น อย่างไรก็ตาม รอยแตกเหล่านี้จะเป็นช่องทางให้น้ำและสารเจือปนอื่นๆ เข้าไปได้ ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาที่ร้ายแรงอื่นๆ ต่อไป

รอยแตกเนื่องจากอุณหภูมิเกิดขึ้นจากการขยายตัวและเนื่องจากความร้อนและการหดตัวของคอนกรีต

รอยแตกเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Cracks) เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตเนื่องมาจากขั้นตอนการบ่มคอนกรีต (Curing)

Mass Concrete Cracks เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก (Temperature Gradient) มีมากเกินไปในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีปริมาณมากๆ ทันทีหลังจากการเทคอนกรีต หรือเป็นระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้น

ในพื้นที่สะพานที่เป็นคอนกรีต (Concrete Bridge Decks) รอยแตกจากอุณหภูมิและการหดตัวนี้ สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในแนวขวาง (Transverse) และแนวยาว (Longitudinal) สำหรับในกำแพงกันดิน (Retaining Walls) และ Abutments รอยแตกเหล่านี้จะอยู่ในแนวตั้ง (Vertical) ส่วนในคานคอนกรีต รอยแตกเหล่านี้จะเกิดขึ้นในแนวตั้งหรือแนวขวางบนตัว Member นั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก Stress จากอุณหภูมิและการหดตัวนี้ เกิดขึ้นได้ในทุกทิศทาง รอยแตกเหล่านี้อาจเกิดขึ้นในทิศทางอื่นๆ ก็ได้

การหลุดแฉะ (Scaling)

เป็นลักษณะที่มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้าและมวลรวมคอนกรีตในบริเวณหนึ่งๆ อย่างต่อเนื่องและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Gradual and Continuing) จะสามารถบอกปริมาณการเสียหายประเภทนี้ โดยการวัดขนาดพื้นที่และความลึกของการหลุดแฉะ รวมทั้งความชัดเจนในการมองเห็นมวลรวม (Aggregate) โดยมี 4 ระดับ ดังนี้

- ◆ ขนาดเบา – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า จนถึงความลึก 6 มิลลิเมตร และสามารถมองเห็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้
- ◆ ขนาดกลาง – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า ตั้งแต่ความลึก 6 มิลลิเมตร จนถึง 1.2 เซนติเมตร และมีการสูญเสียเนื้อปูนระหว่างมวลรวม
- ◆ ขนาดรุนแรง – มีการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า ตั้งแต่ความลึก 1.2 จนถึง 2.5 เซนติเมตร และมองเห็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้ชัดเจนมาก
- ◆ ขนาดรุนแรงมาก – มีการสูญเสียส่วนของมวลรวมหยาบ พร้อมกับการสูญเสียปูนฉาบที่ผิวหน้า รวมถึงเนื้อปูนที่อยู่รอบๆ มวลรวมหยาบ มีความลึกมากกว่า 2.5 เซนติเมตร ขึ้นไป และเหล็กเสริมในคอนกรีต โผล่ออกมาให้เห็น (Exposed)

เมื่อรายงานผลการตรวจสอบ Scaling นี้ ผู้ตรวจสอบควรต้องระบุตำแหน่งของการชำรุดขนาดของพื้นที่ที่ชำรุดและความลึกของการชำรุดนี้

การหลุดแยกออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)

จะเกิดขึ้นเมื่อชั้นต่างๆ ของคอนกรีตได้หลุดแยกออกที่ผิวนอกสุดหรือส่วนที่อยู่ใกล้ผิวนอกสุดของชั้นเหล็กเสริมสาเหตุหลักของการหลุดชนิดนี้คือ การขยายตัวของเหล็กเสริมที่เป็นสนิม ซึ่งเป็นเนื่องมาจากการแทรกซึมของสารจำพวก



คลอไรด์หรือเกลืออนิมที่เกิดขึ้นจะเข้าไปครอบคลุมและมีปริมาณมากถึง 10 เท่าของปริมาตรเหล็กเสริม พื้นที่ที่เกิดการหลุดออกของคอนกรีตนี้ จะเป็นโพรงข้างใต้ผิวคอนกรีต โดยสังเกตได้จากการฟังเสียงเมื่อใช้ค้อนเคาะ เมื่อพื้นที่ส่วนดังกล่าวได้หลุดออกจาก Member อย่างถาวร จึงเรียกได้ว่าเป็นการหลุดออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)

เมื่อทำการรายงานถึงความเสียหายนี้ ผู้ตรวจสอบควรที่จะต้องระบุตำแหน่งและขนาดของพื้นที่ที่เกิดการชำรุด

การหลุดล่อน (Spalling)

เป็นการยุบตัวของคอนกรีตเป็นรูปคล้ายวงกลมหรือวงรี มีสาเหตุมาจากการแยกตัวหรือการถูกเคลื่อนย้ายของส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนกรีตที่ผิวหน้า ทำให้เห็นรอยแตกที่ค่อนข้างจะขนานกับผิวคอนกรีต และการหลุดล่อนนี้ ก็อาจมีสาเหตุมาจากการที่เหล็กเสริมเป็นสนิมและการเกิดแรงเสียดทานจากการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ส่วนใหญ่แล้วเมื่อมีการหลุดล่อน ก็จะสามารถเห็นเหล็กเสริมได้ สามารถแยกแยะการหลุดล่อนของคอนกรีตได้ดังนี้

- ◆ การหลุดล่อนขนาดเล็ก จะมีความลึกน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร หรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร
- ◆ การหลุดล่อนขนาดใหญ่ จะมีความลึกมากกว่า 2.5 เซนติเมตร หรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร
- ◆ เมื่อทำรายงานเกี่ยวกับหลุดล่อน ผู้ตรวจสอบควรจะต้องระบุตำแหน่งของรอยชำรุด ขนาดของพื้นที่และความลึกของการชำรุด

การเกิดขี้เกลือ (Efflorescence)

การเกิดขี้เกลือคือ การเกิดคราบสีขาวบนคอนกรีต มีสาเหตุมาจากการตกผลึกของสารละลายประเภทเกลือ (แคลเซียมคลอไรด์- Calcium Chloride) ซึ่งออกมาสู่ผิวคอนกรีตได้โดยผ่านการดูดซับและการไหลเวียนของความชื้นในคอนกรีต การเกิดขี้เกลือนี้ เป็นตัวบ่งชี้ว่า คอนกรีต ณ ที่นั้น ได้ถูกปนเปื้อนแล้ว (Contaminated)

การเกิดรูพรุนเหมือนรังผึ้ง (Honeycomb)

เป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีสาเหตุมาจากการจี้คอนกรีตไม่เหมาะสม (Improper Vibration) ระหว่างการก่อสร้าง อันเป็นผลให้เกิดการแยกตัวของมวลรวมหยาบ ออกจากมวลรวมละเอียดและซีเมนต์

การหลุดออกเป็นเม็ดๆ (Pop-Out)

ชั้นส่วนเล็กๆ รูปโคน (Conical) จะแตกและหลุดออกจากเนื้อคอนกรีตทำให้เกิดหลุมเล็กๆ ทั้งไว้ โดยทั่วไปแล้วมักจะพบสะเก็ดของคอนกรีตที่หลุดออกมาอยู่ในบริเวณใต้หลุมที่เกิดขึ้น การชำรุดชนิดนี้ มีสาเหตุมาจาก การทำปฏิกิริยาของมวลรวมกับซีเมนต์ที่เป็นต่างมากๆ (High Alkaline) และก็มีสาเหตุมาจากมวลรวม เช่น หินดินดาน เกิดการขยายตัวเนื่องจากความชื้น

การสึกหรอ (Wears)

เกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตที่สัมผัสกับการจราจร (Exposed to Traffic)

การเสียหายที่เกิดจากการถูกชน (Collision Damage)

การที่ยานพาหนะประเภทต่างๆ ได้ชนกับสะพาน ล้วนแต่สร้างความเสียหายให้แก่ส่วนประกอบของสะพานทั้งสิ้น คานคอนกรีตอัดแรงจะเป็นส่วนที่ค่อนข้างจะถูกระทบกระเทือนได้ง่าย (Sensitive) ต่อความเสียหายประเภทนี้

การสึกกร่อน (Abrasion)

การสึกกร่อนเป็นผลมาจากการที่แรงภายนอกได้กระทำต่อผิวของ Member ที่เป็นคอนกรีต การกัดเซาะของกระแสน้ำที่มีโคลนตมอยู่มากซึ่งไหลบนผิวคอนกรีตหรือวัสดุที่ลอยมากับน้ำ ก็สามารถทำให้คอนกรีตเกิดการสึกกร่อนได้ ที่บริเวณตอม่อและเสาเข็ม เช่นเดียวกับคอนกรีตที่อยู่ในบริเวณที่มีคลื่นมาก ก็อาจเกิดการสึกกร่อนได้โดยการถูกระทบจากทรายและโคลนที่อยู่ในน้ำ

ความเสียหายที่เกิดจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overload Damage)

เกิดขึ้นเมื่อองค์อาคารคอนกรีตต้องแบกรับความเค้นมากเกินไป (Overstressed) ให้บันทึกรวดแรงสั่นสะเทือนและการแอ่นตัวที่มากเกินไปด้วย

การเกิดสนิมในเหล็กเสริม (Reinforce Steel Corrosion)

เป็นผลสืบเนื่องมาจากการผสมทางเคมีของคอนกรีต เหล็กเสริมซึ่งฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตจะถูกปกป้องมิให้เกิดสนิม ในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นด่างสูง จะมีชั้นเยื่อบางๆ อยู่ที่ผิวของเหล็กเสริมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสนิม

อย่างไรก็ตาม การป้องกันวิธีนี้ จะถูกกำจัดโดยการแทรกซึมของสารพวกคลอไรด์ ซึ่งทำให้น้ำและออกซิเจนสามารถเข้าสร้างความเสียหายต่อเหล็กเสริมโดยสร้างไฮดรอกไซด์ หรือสนิมขึ้น (Rust) ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตนี้จะเข้าสู่เหล็กเสริมโดยแพร่กระจายซึมเข้าคอนกรีตหรือเข้าตามรอยแตกในคอนกรีต

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)

คอนกรีตอัดแรงจะสูญเสียกำลังจากหลายรูปแบบของการเสื่อมสภาพของคอนกรีต Member ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง จะถูกระทบกระเทือนได้ง่ายจากสนิมและการล้าในรอยแตก การเกิดสนิมที่ลวดอัดแรงสามารถนำไปสู่การวิบัติของ Member นั้น การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างลวดอัดแรง และคอนกรีต จะทำให้ Member นั้นพังทลายได้ Member ที่ไม่ได้รับแรงยึดเหนี่ยว จะได้ผลกระทบจาก Zipper Effect การคลายตัว (Relaxation) ของคอนกรีตอัดแรง ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก การอยู่ใต้ Tensile Stress มากๆ เป็นเวลานาน จะทำให้คอนกรีตสูญเสียกำลัง การหดตัวของคอนกรีต ยังทำให้เหล็กอัดแรงเกิดการ Relaxation มากขึ้นไปอีกด้วย ซึ่งก็จะทำให้ Member นั้นสูญเสียกำลังด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การล้าของคอนกรีตยังทำให้ Member สั่นลง ซึ่งจะทำให้เกิดการ Creep ของลวดเหล็กอัดแรง และนำไปสู่การสูญเสีย Strength ของลวดเหล็กอัดแรงในที่สุด



3.3 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีต

เมื่อทำการตรวจสอบสภาพการชำรุดเสียหายของ Member ที่เป็นคอนกรีต จำเป็นที่จะต้องมีการเข้าไปในบริเวณที่ได้รับรายงานความเสียหาย การเข้าไปทำงานได้สะดวกนี้จะทำให้ผู้ตรวจสอบสามารถทำการตรวจสอบสภาพความเสียหายได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำรายงานการตรวจสอบและการประเมินผลได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

การตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection)

รูปแบบหนึ่งของความเสียหายที่ตรวจสอบได้โดย Visual Inspection คือ การตรวจหารอยแตก (Cracks) (ดูรูปที่ 3-7) รอยแตกทุกรอยที่พบจะต้องถูกบันทึกไว้ การตรวจสอบในภายหลังจะทำให้สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและขนาดของรอยแตก ซึ่งบ่งบอกถึงสภาพที่ต้องใส่ใจดูแล



รูปที่ 3-7 Cracks

เมื่อบันทึกข้อมูลของรอยแตก ผู้ตรวจสอบจะต้องบรรยายสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

- ◆ ชนิดของรอยแตก
- ◆ ความยาวของรอยแตก
- ◆ ตำแหน่งของรอยแตก
- ◆ ขนาดของรอยแตก
- ◆ ทิศทางของรอยแตก
- ◆ ลักษณะที่ปรากฏ หรือ สี

เนื่องจากว่ารอยแตก เป็นหนึ่งในสัญญาณบอกเหตุที่สามารถเชื่อถือได้ว่า จะมีปัญหาอะไรเกิดขึ้นบ้างในอนาคต ฉะนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องหาสาเหตุและขอบเขตของรอยแตก ถ้าสามารถค้นหารายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ มา

ได้ ก็จะสามารถทำการประเมินสภาพและรูปแบบของรอยแตกว่า รอยแตกนั้นได้หยุดขยายตัวแล้วหรือว่า กำลังขยายตัวต่อไป

อีกส่วนหนึ่งที่บ่งบอกถึงการชำรุดเสียหายที่สามารถสังเกตเห็นได้ระหว่างการตรวจสอบก็คือร่องรอยการเกิดสนิม เป็นสิ่งที่สำคัญมากที่จะต้องรายงานการเกิดสนิมใน Concrete Members เพราะว่สนิมจะเกิดขึ้นในเหล็กเสริม เหล็กเสริมที่เป็นสนิมจะทำให้เกิดการเสียดังในคอนกรีตและการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม เกิดรอยแตกในคอนกรีต และเกิดการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ทั้งนี้ ควรจะต้องระบุตำแหน่งและวัดขนาดขอบเขตของการเกิดสนิม แล้วบันทึกลงไปในวันทำการตรวจสอบ

ร่องรอยการเสื่อมสภาพต่างๆ ของคอนกรีตที่กล่าวไว้เบื้องต้นในหัวข้อ 3.2 ก็สามารถถูกตรวจสอบด้วย Visual Inspection เช่นกัน ดังรูปที่ 3-7 ถึง 3-13



รูปที่ 3-8 Light Scalling



รูปที่ 3-9 Delamination and Spall



รูปที่ 3-10 Spall (Pothole)



รูปที่ 3-11 Efflorescence

การตรวจสอบทางกายภาพ (Physical Examination)

นอกจากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าแล้ว เรายังตรวจสอบคอนกรีตด้วยวิธีทางกายภาพ อย่างเช่น การใช้ค้อนเคาะฟังเสียงคอนกรีต (Hammer Sounding) และวิธีการสำรวจแบบลากโซ่ (Chain-Drum)

การใช้ค้อนเคาะเพื่อฟังเสียงคอนกรีต เป็นวิธีที่ใช้กันบ่อยโดยใช้ค้อนเคาะที่ผิวของคอนกรีต เสียงที่สะท้อนกลับมากลับมาในคอนกรีตจะบ่งบอกถึงสภาพความสมบูรณ์ (Integrity) ของคอนกรีตได้ แต่วิธีนี้จะใช้ไม่ได้ผลกับคอนกรีตที่มีบริเวณผิวกว้างๆ เช่น แผ่นพื้นสะพาน ยังมีวิธีการอีกมากมายหลายแบบในการประเมินสภาพผิวพื้นคอนกรีตในแนวราบ (Horizontal) ขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม สำหรับผิวคอนกรีตที่อยู่แนวตั้ง (Vertical) ยังไม่สามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ค้อนเคาะ



รูปที่ 3-12 Honeycomb



รูปที่ 3-13 Wear

Chain-Drum เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างรวดเร็วในการตรวจสอบแผ่นพื้นสะพานคอนกรีตขนาดใหญ่ พื้นที่ที่มีการแยกตัวเป็นชั้นๆ (Delamination) จะถูกตรวจสอบได้ โดยการฟังเสียงที่ให้ความรู้สึกว่ามีรูกลวง หรือมีโพรงข้างใน วิธีการสำรวจแบบ Chain-Drum นี้ ไม่ได้มีความถูกต้องแม่นยำโดยทั้งหมด อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย และยังใช้เป็นวิธีการตรวจสอบเบื้องต้น เผื่อว่าอาจจำเป็นต้องใช้วิธีการตรวจสอบที่แพงกว่านี้ได้ในอนาคต



วิธีการตรวจสอบขั้นสูง

มีวิธีการตรวจสอบคอนกรีตโดยใช้เทคนิคขั้นสูงอยู่หลายวิธี

วิธีการแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive) มีดังนี้

- ◆ วิธีการใช้คลื่น Acoustic หรือคลื่น Ultrasonic
- ◆ การใช้เครื่องมือตรวจสอบ การเลือนหลุดเป็นแผ่นๆ (Delimitation)
- ◆ วิธีการใช้ไฟฟ้า (Electrical Method)
- ◆ การทดสอบโดยใช้ Flat Jack
- ◆ การใช้ Radar ทะลวงพื้น (Ground-Penetrating Radar)
- ◆ วิธีการ Impact-Echo
- ◆ การใช้รังสีความร้อนอินฟราเรด (Infrared Thermography)
- ◆ การใช้ Laser Ultrasonic
- ◆ การใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Disturbance)
- ◆ การใช้ Neutron Probe เพื่อตรวจสอบคลอไรด์
- ◆ การใช้ Nuclear
- ◆ การใช้ Pachometer
- ◆ วิธีการเจาะและสะท้อนกลับ (Rebound and Penetration)
- ◆ การทดสอบ Ultrasonic

ส่วนวิธีการแบบทำลายนั้น มีดังนี้

- ◆ Carbonation
- ◆ Concrete Strength
- ◆ Endoscopes
- ◆ Moisture Content
- ◆ Reinforcing Steel Strength

การตรวจสอบสภาพสะพานด้วยสายตา

4.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้ การตรวจสอบสะพานมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ของประเทศ เพราะสะพานต่างๆ ในประเทศของเราต่างก็เก่าลงและมีการชำรุดมากขึ้นทุกวัน การประเมินสภาพของสะพานอย่างละเอียดและถูกต้อง จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการคงไว้ซึ่งระบบการใช้นถนนหนทางที่ไว้วางใจได้

ในบทนี้ จะได้กล่าวถึงหน้าที่และความรับผิดชอบ ของผู้ตรวจสอบสะพาน และจะยังบรรยายว่าผู้ทำการตรวจสอบสะพาน จะสามารถเตรียมการตรวจสอบ และขั้นตอนการตรวจสอบที่สำคัญอย่างไรบ้าง รวมทั้งจะมีรายละเอียดของอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบสะพาน และสุดท้ายก็จะได้กล่าวถึงความปลอดภัยในการตรวจสอบสะพานสำหรับผู้ทำการตรวจสอบด้วยเช่นกัน

4.2 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน

4.2.1 ความรับผิดชอบ

ผู้ตรวจสอบสะพาน มีความรับผิดชอบพื้นฐานอยู่ 5 ประการ คือ

- ต้องดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัยและความมั่นใจของสาธารณชน
- ปกป้องทรัพย์สินสาธารณะ
- จัดสรรการสนับสนุนโครงการตรวจสอบสะพาน
- จัดทำบันทึกข้อมูลของสะพานอย่างถูกต้อง
- ปฏิบัติตามข้อกำหนดด้วยความรับผิดชอบ



การดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัยและความมั่นใจของสาธารณะ คือ ความรับผิดชอบหลักของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน เนื่องจากว่าประชาชนทั่วไปต่างก็เดินทางโดยใช้ถนน และสะพานอย่างไม่ลังเลใจ หากว่า สะพานเกิดพังขึ้นมา ความมั่นใจของประชาชนต่อระบบสะพานของเราก็จะลดถอยลงตามไปด้วย

บทบาทของวิศวกรผู้ออกแบบในการเสริมสร้างความปลอดภัยของสะพาน มีดังนี้

- กำหนดให้มีอัตราส่วนความปลอดภัย
- ออกแบบโดยมีความปลอดภัยสูงกว่าปกติ ตามความเหมาะสม

บทบาทของผู้ตรวจสอบสะพาน มีดังนี้

- ทำการตรวจสอบโดยละเอียด และระบุการชำรุดเสียหายและสภาพของสะพาน
- จัดเตรียมเอกสารและรายงาน ของการชำรุดต่างๆ ดังกล่าว รวมทั้งนำเสนอคำแนะนำเพื่อการแก้ไข

การปกป้องทรัพย์สินสาธารณะ : หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน คือ การปกป้องสะพานอันเป็นทรัพย์สินสาธารณะ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องระบุและแก้ไขปัญหาเล็กๆ น้อยๆ ก่อนที่ปัญหาเหล่านั้นจะนำไปสู่ความเสียหายซึ่งจะต้องใช้ค่าซ่อมแซมสูง ผู้ทำการตรวจสอบสะพาน จะต้องสามารถระบุขึ้นส่วนของสะพานที่ต้องได้รับการซ่อมแซม เพื่อที่จะดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัยในการใช้สะพาน และหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายในการสร้างสะพานทดแทน

จัดเตรียมการสนับสนุนโครงการตรวจสอบสะพาน : กรมทางหลวง จะเป็นผู้ให้การสนับสนุนโครงการตรวจสอบสะพาน ในหัวข้อดังต่อไปนี้

- กระบวนการและขั้นตอนการตรวจสอบสะพาน (Inspection Procedures)
- ความถี่ในการตรวจสอบ (Frequency of Inspection)
- คุณสมบัติของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน (Qualifications of Personnel)
- การรายงานผลการตรวจสอบ (Reporting)
- รายการข้อมูลของสะพาน (Inventory)

โครงการการตรวจสอบสะพานได้รับงบประมาณอันเป็นภาษีของประชาชน ฉะนั้น ผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องมีส่วนในการใช้เงินนี้ให้เกิดประโยชน์ต่อสาธารณะชน

การจัดทำบันทึกข้อมูลของสะพานอย่างถูกต้อง : มีเหตุผล 3 ประการ ว่าทำไม จึงมีความต้องการบันทึกข้อมูลสะพานที่ถูกต้อง

- เพื่อจัดทำและรักษาแฟ้มข้อมูลประวัติของโครงสร้าง
- เพื่อระบุและประเมินความต้องการในการซ่อมแซมสะพาน
- เพื่อระบุและประเมินความต้องการในการบำรุงรักษาสะพาน

ปฏิบัติตามข้อกำหนดด้วยความรับผิดชอบ : บันทึกการรายงานผลการตรวจสอบสะพานเป็นเอกสารที่มีผลเชิงกฎหมาย การบรรยายต่างๆ ต้องกระชับรัดกุม ครอบคลุมรายละเอียด และมีใจความสมบูรณ์

ตัวอย่างของข้อความของการบรรยายผลการตรวจสอบสะพาน : “คานที่มีสภาพดีพอใช้” เป็นตัวอย่างของการบรรยายที่ใช้ไม่ได้ ในขณะที่ “คานชอยอยู่ในสภาพที่ดีพอใช้ โดยมีการชะงของคอนกรีตที่ปีกคานด้านล่าง ของคาน B และ D ตลอดช่วงความยาวคาน” เป็นการให้การบรรยายที่ดีกว่า อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ “พื้นสะพานอยู่ในสภาพทรุดโทรม” เป็นการบรรยายที่ไม่ดี ในขณะที่ “พื้นสะพานอยู่ในสภาพทรุดโทรมโดยมีการเฉือนของคลอไรด์อยู่ประมาณ 30% และมีการหลุดล่อนของคอนกรีตตามที่ได้เขียนไว้ในภาพวาดแบบร่าง (Sketch) ที่อยู่ในหน้าที่ 42” จะเป็นการบรรยายที่ดีกว่า ไม่ควรเปลี่ยนแปลงบันทึกการตรวจสอบดั้งเดิมโดยไม่ได้ทำการปรึกษากับผู้ที่ทำการตรวจสอบและบันทึกข้อความนั้นๆ การตรวจสอบสะพานควรจะต้องยึดหลักตามคู่มือการตรวจสอบสะพานของกรมทางหลวง เว้นแต่จะแจ้งไว้ในรายงานการตรวจสอบ

ผลลัพธ์ของการขาดความรับผิดชอบ : เมื่อมีการละเลยการยึดถือหลักความรับผิดชอบพื้นฐานซึ่งได้กล่าวไว้แล้วเบื้องต้น แต่ละบุคคล ไม่ว่าจะเป็นหัวหน้าหน่วยงาน วิศวกร และผู้ทำการตรวจสอบ ล้วนแต่มีส่วนรับผิดชอบด้วยกันทั้งสิ้น ผู้ทำการตรวจสอบควรพยายามที่จะมีความชัดเจนตรงเป้าหมายและสมบูรณ์แบบให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อุบัติเหตุต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุนำไปสู่การเกิดคดีความ ขึ้นโรงขึ้นศาลนั้น อาจเกิดขึ้นได้โดยสัมพันธ์กับหัวข้อต่างๆ ต่อไปนี้

- ความบกพร่องของอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย
- องค์ประกอบหลักกวิบัติโดยรอยแตกวิกฤต
- องค์ประกอบของโครงสร้างส่วนล่างวิบัติโดยการกัดเซาะ
- การวิบัติรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joints) ส่วนพื้นสะพาน หลุมบ่อ หรืออันตรายอื่นๆ ต่อสาธารณะชนที่เดินทางอยู่
- ขั้นตอนการบรรทุกน้ำหนักที่ไม่เหมาะสมหรือมีความบกพร่อง

4.2.2 หน้าที่

ผู้ทำการตรวจสอบสะพานจะมีหน้าที่พื้นฐานอยู่ 5 ประการ

- วางแผนการตรวจสอบ
- จัดเตรียมการตรวจสอบ
- ดำเนินการตรวจสอบ
- จัดเตรียมการรายงาน
- ระบุสิ่งที่ต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษา

การวางแผนการตรวจสอบ : การวางแผนล่วงหน้าจะช่วยให้การตรวจสอบดำเนินไปโดยลำดับขั้นตอนและดำเนินไปอย่างเป็นระบบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การวางแผนจะรวมถึงการกำหนดลำดับการตรวจสอบ การกำหนด



ตารางเวลา การเตรียมการสำหรับความต้องการในการตรวจสอบแบบพิเศษ (เช่น การทดสอบแบบไม่ทำลาย-Non Destructive Testing และการตรวจสอบใต้น้ำ) การจัดการบันทึกสนาม การเตรียมขั้นตอนการควบคุมจราจร และกรรมวิธีอื่นๆ ที่จะช่วยให้มีการตรวจสอบสะพานที่ละเอียดสมบูรณ์

การเตรียมการตรวจสอบ : การเตรียมการก่อนการตรวจสอบนี้จะรวมถึง การจัดการรวบรวมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการทดสอบ การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน และแบบแปลนที่ตั้งของสะพาน

การดำเนินการตรวจสอบ : หน้าที่ในหัวข้อนี้จะรวมถึง การรักษาระบบการกำหนดหมายเลขขององค์ประกอบต่างๆ ของสะพาน ทั้งรูปแบบและทิศทาง การพัฒนาลำดับการตรวจสอบและขั้นตอนการตรวจสอบที่เหมาะสม

การจัดเตรียมรายงาน : การจัดทำเอกสารมีความสำคัญมากในการตรวจสอบโดยละเอียด ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องรวบรวมข้อมูลให้เพียงพอที่จะจัดทำรายงานที่ละเอียดและสมบูรณ์แบบได้

การระบุสิ่งที่ต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษา : เป็นหน้าที่พื้นฐานข้อสุดท้าย ที่จะต้องระบุสิ่งที่ต้องการการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ผู้ตรวจสอบจะต้องสามารถระบุสิ่งเหล่านั้นได้ เพื่อก่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยต่อสาธารณชน และการใช้งานที่ยืนยาวของสะพาน

4.3 ความรับผิดชอบและหน้าที่ของผู้ทำการตรวจสอบสะพาน

ความสำเร็จของการตรวจสอบในภาคสนาม (On-Site) โดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับความพยายามในการเตรียมตัวเพื่อการตรวจสอบ สิ่งสำคัญๆ ในการเตรียมตัว มีดังต่อไปนี้

- การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน
- การระบุองค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ
- การพัฒนาขั้นตอนการตรวจสอบ
- การเตรียมการบันทึก แบบฟอร์ม และภาพวาดร่าง (Sketches) ต่างๆ
- การเตรียมการสำหรับการควบคุมการจราจร
- การคำนึงถึง การพิจารณาอย่างพิเศษ
- การจัดการเครื่องมือและอุปกรณ์
- การเตรียมการเพื่อทำความเข้าใจถึงวิธีการเข้าไปตรวจสอบ
- การทบทวนหลักแห่งความปลอดภัย

4.3.1 การทบทวนข้อมูลโครงสร้างของสะพาน

ขั้นตอนแรกของการเตรียมตัวตรวจสอบสะพาน คือ การทบทวนข้อมูลต่างๆ ของสะพานนั้นๆ เช่น

- แบบก่อสร้างจริงของสะพาน (As-Built Bridge Plans)
- รายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ
- บันทึกการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา
- ข้อมูลทางธรณีเทคนิค (Geotechnical Data)
- ข้อมูลทางอุทกวิทยา (Hydrological Data)
- แบบของระบบสาธารณูปการ
- แบบ Right-Of-Way

แบบแปลนของสะพาน : จะบอกข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของสะพาน จำนวนช่วงสะพาน เป็นสะพานแบบ Simple หรือ แบบต่อเนื่อง (Continuous) และวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

นอกจากนี้แบบแปลนของสะพานยังจะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมแบบผสม (Composite Action) ระหว่างแผ่นพื้นสะพาน (Deck) กับคาน (Girders) การใช้พฤติกรรมของ Frame Action ที่องค์ประกอบของโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure Members) และ แบบรูปรายละเอียดของข้อต่อที่เข้าร่วมทั้งปีที่ทำการก่อสร้าง และน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ ก็ถูกรวมไว้ในแบบแปลนของสะพาน

รายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ : จะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับประวัติของสะพาน และบันทึกสภาพของสะพาน ในระยะเวลาที่ผ่านมา ข้อมูลนี้จะถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจว่า ชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบใดของสะพาน ต้องการได้รับการดูแลเป็นพิเศษ และ ข้อมูลนี้ยังช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถเปรียบเทียบระดับความชำรุดเสียหายในปัจจุบันกับระดับความเสียหายที่ได้บันทึกไว้จากการตรวจสอบครั้งก่อน

บันทึกการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม : จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบได้รายงานการซ่อมแซมในการตรวจสอบแต่ละครั้ง โดยจะบันทึก ประเภทการซ่อมแซม ขอบเขตการซ่อมแซมและวันที่ทำการซ่อมแซม

ข้อมูลทางธรณีเทคนิค : จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุของฐานรากซึ่งอยู่ใต้โครงสร้าง ทราบ ดินตะกอนหรือดินเหนียว ล้วนแต่เผชิญกับปัญหาการทรุดตัวและการกัดเซาะมากกว่าหิน ฉะนั้นโครงสร้างที่อยู่บนวัสดุเหล่านี้ จึงควรได้รับการดูแลเอาใจใส่มากกว่า โครงสร้างที่อยู่บนหิน

ข้อมูลอุทกวิทยา : จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่างและที่ตั้งของลำน้ำ การเตรียมอุปกรณ์ป้องกัน อัตราน้ำท่วมและระดับของผิวน้ำระหว่างภาวะน้ำท่วม ผู้ตรวจสอบสามารถใช้ข้อมูลนี้ ในการบันทึกการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของรูปร่างลำน้ำ และระดับน้ำ

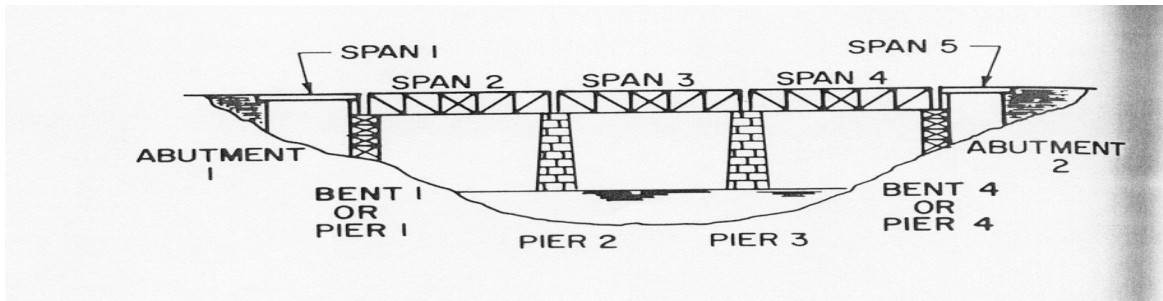
ข้อมูลเพิ่มเติม : แบบแปลนของระบบสาธารณูปโภค จะช่วยในการกำหนดแบบและปริมาณการติดตั้งสาธารณูปโภค ส่วนแบบ Right-Of-Way นั้น จะช่วยกำหนดขอบเขตของ Right-Of-Way



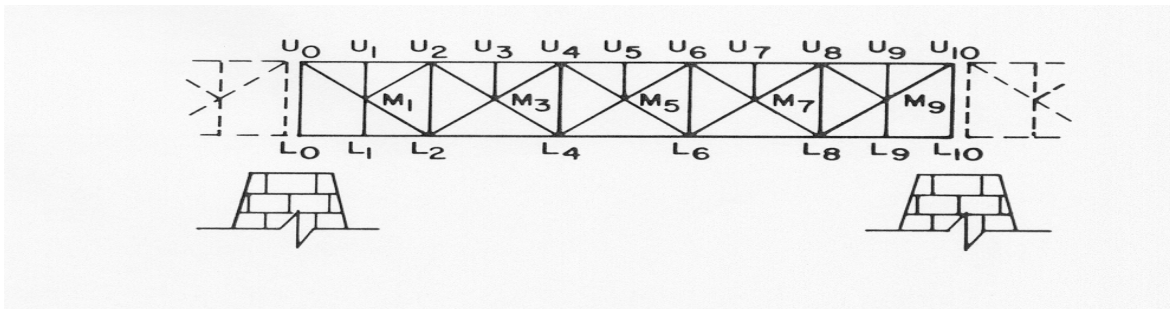
4.3.2 การระบุองค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ

การกำหนดทิศทางการวางตัวของโครงสร้างเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นการจัดระบบในการเรียกชื่อและตำแหน่งขององค์ประกอบและชิ้นส่วนต่างๆ ในโครงสร้างของสะพาน (ดูรูปที่ 4-1) ถ้ามีแบบหรือรายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ อยู่ด้วย ก็ควรจะกำหนดให้มีระบบการระบุชื่อและตำแหน่งให้เหมือนที่ได้กำหนดไว้แล้วในรายงานหรือแบบดังกล่าว

แต่ถ้าหากไม่มีบันทึกการรายงานไว้ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องกำหนดระบบการระบุชื่อและตำแหน่งขึ้นมาใหม่ ระบบการกำหนดหมายเลขที่อยู่ในคู่มือเล่มนี้เป็นเพียงตัวอย่างแบบหนึ่งเท่านั้น ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่ใช้ในการกำหนดตัวเลขอีกส่วนในการกำหนดทิศทางการวางตัวนั้น สามารถใช้อ้างอิงจากหลักกิโลเมตรได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องระบุจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของสะพาน



รูปที่ 4-1 ระบบการกำหนดตัวเลขให้แก่ชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน



รูปที่ 4-2 ตัวอย่างการกำหนดหมายเลขให้แก่โครง Truss

ระบบการกำหนดหมายเลขชิ้นส่วนของพื้นสะพาน : (Deck Elements) การกำหนดหมายเลขชิ้นส่วนของพื้นสะพานจะต้องรวมแต่ละ Section ของพื้นสะพานด้วย (ที่อยู่ระหว่างรอยต่อก่อสร้าง) และก็ต้องรวมถึง Expansion Joint ราวสะพาน แผงบัง (Parapets) และเสาไฟส่องสว่าง สิ่งต่างๆ เหล่านี้ต้องมีหมายเลขกำกับด้วยโดยเรียงจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดของสะพาน

ระบบการกำหนดหมายเลขชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) : ควรจะประกอบไปด้วยช่วงสะพานและคาน และถ้าเป็นโครง Truss ก็ต้องรวมจุดต่อในโครงอีกด้วย การกำหนดหมายเลขของช่วงสะพานจะเรียงจากจุดเริ่มต้นของสะพาน ซึ่งจะกำหนดให้เป็นช่วงสะพานหมายเลข 1 และเรียงต่อไปตามลำดับ ถ้ามีคานหลายตัว ก็ควรจะกำหนดให้มีหมายเลขเรียงจากซ้ายไปขวา โดยหันหน้าไปตามทิศทางการจราจร สำหรับ Floor Beams ก็ควรจะถูกกำหนดหมายเลขเช่นเดียวกับช่วงสะพาน คือ เริ่มจากจุดเริ่มต้นสะพานไปยังจุดสิ้นสุดสะพาน เพียงแต่ว่า Floor Beams ตัวแรก ควรจะถูกกำหนดให้เป็นหมายเลข 0 ซึ่งจะช่วยให้เป็นการกำหนดพิกัดตัวเลขของคานสะพานและแต่ละช่วง (Bay) ของสะพาน จึงทำให้หมายเลขของ Floor Beams ถูกกำหนดไว้ที่จุดสิ้นสุดของช่วงสะพานนั้นๆ

ส่วนโครงข้อหมุน (Truss) นั้นจะมีการกำหนดหมายเลขของโครงถักคล้ายๆ กับคานของพื้นสะพาน โดยจะเริ่มจากจุดต่อโครงถักหมายเลข 0 ให้ใส่หมายเลขทั้งโครงสร้างที่อยู่ด้านเหนือน้ำและด้านใต้น้ำ จุดต่างๆ ที่อยู่ในเส้นแนวตั้งเดียวกันก็จะมีหมายเลขเดียวกัน แต่ถ้าไม่มีจุดที่อยู่ในช่องด้านล่างของเส้นแนวตั้ง ซึ่งที่อยู่ด้านล่างก็จะเว้นไป 1 หมายเลข (ดูรูปที่ 4-2) ผังการออกแบบแบบผังบัง จะใช้วิธีการกำหนดหมายเลขในจนถึงจุดกึ่งกลางของโครงถักแล้วจึงนับถอยหลังจนถึงศูนย์ โดยจะใช้ตัวเลขที่เป็นจำนวนเฉพาะ (Prime Numbers) อย่างไรก็ตาม ระบบการกำหนดหมายเลขแบบนี้ไม่เหมาะสำหรับการตรวจสอบในภาคสนาม เนื่องจากหมายเลขต่างๆ ที่กำหนดไว้อาจถูกลบเลือนไปได้ เนื่องจากฝุ่นผงต่างๆ

ระบบการกำหนดหมายเลขชิ้นส่วนของโครงสร้างส่วนล่าง : จะหมายถึงการกำหนดหมายเลขให้แก่ ตอม่อริม (Abutment) และตอม่อกลางน้ำ (Pier) Pier หมายเลข 1 จะอยู่ที่จุดเริ่มต้นสะพาน Pier หมายเลข 2 จะอยู่ที่จุดสิ้นสุดสะพาน ส่วน Abutment ก็จะถูกกำหนดเลขหมายเรียงตามลำดับกันไป โดยจะให้ Pier อยู่ใกล้จุดเริ่มต้นของสะพานมากที่สุด

4.3.3 การพัฒนาลำดับขั้นตอนการตรวจสอบ

โดยปกติแล้ว การตรวจสอบสะพานจะเริ่มจากการตรวจสอบพื้นสะพาน (Deck) และชิ้นส่วนของโครงสร้างส่วนบนแล้วก็ต่อเนื่องไปยังโครงสร้างส่วนล่าง อย่างไรก็ตาม จะมีองค์ประกอบหลายอย่างที่ต้งพิจารณาเมื่อทำการวางแผนจัดลำดับขั้นตอนในการตรวจสอบสะพาน ดังมีหัวข้อต่อไปนี้

- ชนิดของสะพาน
- สภาพขององค์ประกอบของสะพาน
- สภาพโดยรวมของสะพาน
- ความต้องการของหน่วยงานผู้ทำการตรวจสอบสะพาน
- ขนาดของสะพานและความซับซ้อนของสะพาน
- สภาพการจราจร
- ขั้นตอนพิเศษ

ตัวอย่างของลำดับการตรวจสอบสะพาน ขนาดโดยเฉลี่ยทั่วไปจะมีดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-1 ในขณะที่การพัฒนาลำดับขั้นตอนการตรวจสอบมีความสำคัญ สิ่งที่จะทำให้เกิดคุณค่าและประโยชน์ขึ้นได้ ก็คือ การปฏิบัติตามขั้นตอนนั้นๆ อย่างสมบูรณ์โดยตลอดเวลาของการตรวจสอบสะพาน



ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างของขั้นตอนการตรวจสอบ

<p>1. ถนนและชิ้นส่วนของพื้นสะพาน</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ ถนนช่วงก่อนพื้นสะพาน (Approach Roadways) ◆ อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยสำหรับการจราจร (Traffic Safety Features) ◆ ส่วนพื้นของสะพาน (Bridge Deck) ◆ ทางเท้าและราวกันตก (Sidewalks and Railings) ◆ ช่องระบายน้ำ (Drainage) ◆ ป้ายสัญญาณต่างๆ (Signing) ◆ ระบบไฟฟ้า ไฟส่องสว่าง ◆ แผงกั้นของทาง, ประตู และอุปกรณ์ควบคุมการจราจรต่างๆ 	<p>3. ชิ้นส่วนของโครงสร้างส่วนล่าง</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ ตอม่อริม (Abutments) ◆ คานโค้ง (Skewbacks or Arches) ◆ สิ่งป้องกันเชิงลาด (Slope Protection) ◆ ตอม่อกลางน้ำ (Piers) ◆ ฐานราก (Footing) ◆ เสา และเสาเข็ม (Piles) ◆ กำแพงม่าน (Curtain Wall)
<p>2. ชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพาน</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ แผ่นรองสะพาน (Bearings) ◆ ส่วนประกอบหลักที่รองรับน้ำหนัก (Main Supporting Members) ◆ ส่วนประกอบรองและตัวยึดต่างๆ (Secondary Members and Bracing) ◆ สาธารณูปการ (Utilities) ◆ แทนยึด (Anchorage) 	<p>4. ลำน้ำและส่วนประกอบของทางน้ำ</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ รูปตัดความยาวและแนวของลำน้ำ ◆ ท้องพื้นของลำน้ำ (Channel Streambed) ◆ ดินขอบของลำน้ำ (Channel Embankment) ◆ สิ่งป้องกันคันขอบของลำน้ำ (Channel Embankment Protection) ◆ ตัวยึดกันกระแทก (Fenders) ◆ เครื่องเปิดระบบไฮดรอลิค (Hydraulic Opening) ◆ มาตรฐานวัดความลึกของน้ำ (Water Depth Scales) ◆ ไฟและเครื่องช่วยการนำทาง (Navigational Lighten Aids)

4.3.4 การเตรียมบันทึก

การเตรียมบันทึก แบบฟอร์ม และภาพวาดร่าง (Sketches) ต่างๆ ก่อนการตรวจสอบตัวสะพานจริงนั้น จะช่วยให้ลดงานที่ไม่จำเป็นต่างๆ ในภาคสนามได้ ควรจัดให้มีการเตรียมสำเนาของแบบฟอร์มสำหรับการตรวจสอบ เพื่อใช้ในการบันทึกและเก็บข้อมูล

ให้ถ่ายสำเนาภาพวาดแบบร่างต่างๆ (Sketches) ที่ได้จากรายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ ซึ่งจะระบุการชำรุดเสียหายไว้แล้ว และเราสามารถทำบันทึกเพิ่มเติมได้อย่างง่ายดาย และก็ควรจะเตรียมแบบฟอร์มเพื่อเหลือเผื่อขาดไว้ด้วย เพราะแบบฟอร์มอาจจะชำรุดหรือสูญหายได้

ถ้าหากว่าไม่มีภาพวาดแบบร่างต่างๆ มาก่อน ก็อาจเตรียมจัดทำขึ้นมาใหม่ได้สำหรับใช้กับชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบที่มีรูปร่างเหมือนกัน สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะช่วยให้สามารถประหยัดเวลาในการตรวจสอบส่วนต่างๆ ของสะพาน ไม่ว่าจะเป็นส่วนพื้นสะพาน ระบบพื้น ดัวยี่ตั่ง Abutments Piers และกำแพงกันดิน

4.3.5 การควบคุมจราจร (Traffic Control)

การตรวจสอบก็เหมือนการก่อสร้างและการซ่อมบำรุงสะพาน ซึ่งทำให้เกิดสถานการณ์ที่ไม่คาดคิดต่อผู้ขับขี่ยานพาหนะเสมอ เมื่อต้องมีการทำงานซึ่งอยู่ใกล้กับการสัญจรไปมา ผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องยึดมั่นในกฎข้อปฏิบัติต่างๆ ซึ่งจะมีความรวดเร็วในการอธิบาย การใช้อุปกรณ์การควบคุมการจราจรต่างๆ เช่น กรวย ป้ายสัญญาณต่างๆ และป้ายไฟลูกศรกระพริบ

หลักการและกระบวนการต่างๆ ที่จะเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในบริเวณการปฏิบัติงานแก่ผู้ขับขี่รถยนต์ และผู้ตรวจสอบสะพาน ได้รวมหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ให้ถือหลักความปลอดภัยในการจราจรเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุดในการตรวจสอบสะพานทุกๆ ครั้งของทุกๆ สะพาน ซึ่งการปฏิบัติงานของคณะผู้ตรวจสอบจะมีผลกระทบต่อจราจร
- ควรจะจัดให้มีการกำหนดเส้นทางจราจรให้ชัดเจนรวมถึงการจัดอุปกรณ์ควบคุมการจราจร โดยเปรียบเทียบกับจากสถานการณ์อื่นๆ บนทางหลวง
- ควรจะให้มีการกีดขวางการจราจรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ควรจะมีการแจ้งเตือนและการชี้แนะที่ชัดเจนและถูกต้อง แก่ผู้ที่กำลังขับขี่ยานพาหนะเข้าใกล้บริเวณการตรวจสอบสะพาน และให้เป็นเช่นนั้นไปตลอดการปฏิบัติงาน
- สำหรับการตรวจสอบสะพานที่ต้องใช้เวลานาน ก็ควรจะจัดให้มีการตรวจสอบระบบการควบคุมระบบการจราจรด้วย
- ผู้ที่รับผิดชอบการปฏิบัติการควบคุมการจราจร ทุกคนจะต้องได้รับการฝึกฝนมาอย่างเพียงพอ

นอกจากนี้แล้ว อาจจะต้องมีการปรับปรุงตารางเวลาเพิ่มให้สอดคล้องกับความต้องการของการควบคุมจราจร ยกตัวอย่างเช่น จำนวนช่องจราจร ที่จำเป็นจะต้องปิดในแต่ละครั้งเพื่อดำเนินการตรวจสอบสะพาน ซึ่งอาจไม่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในขณะที่ จะเป็นการได้ประสิทธิภาพสูงสุดถ้าทำการตรวจสอบระบบพื้นจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา การควบคุมการจราจรอาจจะเป็นตัวกำหนดการทำงานตลอดช่วงความยาวรวมถึงคานหลายๆ ตัวในขณะเดียวกัน



4.3.6 ข้อคำนึงเป็นพิเศษต่างๆ

ความต้องการด้านเวลา : รายงานการตรวจสอบหรือเพิ่มบันทึกข้อมูลของสะพาน ควรจะระบุระยะเวลาที่ต้องการสำหรับการตรวจสอบสะพาน ซึ่งจะแยกย่อยออกเป็นเวลาสำหรับการเตรียมงานในสำนักงาน เวลาสำหรับเดินทาง เวลาที่ใช้ในภาคสนาม และเวลาสำหรับการเตรียมทำรายงาน

ช่วงเวลาเร่งด่วน : ในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น การกำหนดการจำกัดการจราจร จะต้องคำนึงถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนของแต่ละวันด้วย เช่นอาจทำได้ในช่วง 10.00 น. ถึง 14.00 น. และอาจต้องห้ามปฏิบัติการตรวจสอบสะพานในบางวัน ในสถานการณ์ดังกล่าวเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบจริงๆ อาจจะน้อยกว่า 40 ชั่วโมง ต่อ 1 สัปดาห์ การทำงาน และควรจะปรับตารางเวลาให้เข้ากัน

เวลาที่ใช้เพื่อติดตั้งและเก็บอุปกรณ์ : จะต้องจัดวางไว้เพื่อการเตรียมอุปกรณ์นี้ ทั้งก่อนและหลังการตรวจสอบสะพาน เช่น อุปกรณ์สำหรับโยงยึด (Rigging) จะใช้เวลาเตรียมหลายวันก่อนที่ผู้ทำการตรวจสอบจะมาถึงสถานที่ทำการตรวจสอบ อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องเพิ่มความดัน (Compressors) และอุปกรณ์ทำความสะอาดอาจต้องใช้เวลาเตรียมเพื่อเตรียมการทุกๆ วัน สรุปได้ว่าต้องมีการจัดสรรเวลาสำหรับเตรียมติดตั้งและเก็บอุปกรณ์อย่างเพียงพอ

ช่องทางเข้า-ออก (Access) : การเตรียมการเพื่อการตรวจสอบจะต้องคำนึงถึงการเตรียมช่องทางเข้า-ออกด้วย แม้ว่าแต่ละสะพานจะมีความคล้ายกัน แต่ก็ใช้เวลาในการเข้า-ออกเพื่อตรวจสอบไม่เท่ากัน เช่น อาจจะต้องใช้เวลานานในการยกเครื่องมือเพื่อเข้าไปสู่ระบบพื้นที่อยู่ใกล้ระบบสาธารณูปการ (Utility Lines) ในสะพานหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสะพานหนึ่งที่ไม่มีความซับซ้อนใดๆ ในสะพานบางแห่งอาจต้องทำการเปิดเครื่องกั้นต่างๆ เพื่อที่จะเข้าไปในบางส่วนของบริเวณของสะพาน

สภาพโดยรวม : สภาพโดยรวมของสะพาน จะเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจว่า การตรวจสอบสะพานจะใช้เวลานานเท่าใด รายงานการตรวจสอบครั้งก่อนๆ จะเป็นสิ่งที่บอกถึงสภาพโดยรวมของสะพานด้วย การตรวจสอบสภาพขึ้นส่วนที่มีการชำรุดเสียหาย (เช่นการวัดขนาด การวาดแบบร่าง และการถ่ายภาพ) จะใช้เวลามากกว่า การตรวจขึ้นส่วนที่ดูแล้วเห็นว่ายังอยู่ในสภาพดี

ภูมิอากาศ : สภาพภูมิอากาศที่ผันผวน อาจจะไม่ใช้สิ่งที่หยุดการตรวจสอบได้ทั้งหมด แต่ก็มีส่วนสำคัญในกระบวนการตรวจสอบสะพาน ในระหว่างที่สภาพภูมิอากาศมีความผันผวนนี้ ควรจะหลีกเลี่ยงการปีนป่ายต่างๆ จะต้องมีความระมัดระวังเพื่อความปลอดภัยให้เพิ่มขึ้น และอาจเป็นเรื่องยากที่จะเก็บรักษานักขึ้นที่ต่างๆ ให้แห้งดี ในช่วงฤดูที่มีสภาพภูมิอากาศไม่ดี ควรจัดตารางเวลาให้เข้มงวดขึ้นกว่าช่วงฤดูที่มีภูมิอากาศดี

ใบอนุญาต : เมื่อทำการตรวจสอบสะพานที่เป็นทางรถไฟ หรือเป็นสะพานข้ามเส้นทางสัญจรทางน้ำ ควรจะต้องดำเนินการขอใบอนุญาตเข้าตรวจสอบให้เรียบร้อยก่อนที่จะทำการตรวจสอบภาคสนาม

4.3.7 การเตรียมตัวเพิ่มเติม

การเตรียมตัวเพิ่มเติมสำหรับการตรวจสอบสะพาน จะรวมถึงดังต่อไปนี้

- การจัดการอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ
- การเตรียมการสำหรับวิธีการเข้า-ออก เพื่อตรวจสอบสะพาน
- การรายงาน กระบวนการเพื่อความปลอดภัย

4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบ

ขั้นตอนและกรรมวิธีในการตรวจสอบสะพานโดยส่วนมากจะขึ้นอยู่กับประเภทของสะพาน วัสดุที่ใช้สร้างสะพาน และสภาพโดยทั่วไปของสะพาน เพราะฉะนั้นผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องมีความคุ้นเคยกับขั้นตอนพื้นฐานสำหรับสะพานหลากหลายรูปแบบ

ขั้นตอนแรกในกระบวนการตรวจสอบ คือ การกำหนดทิศทางและแนวทางตัวสะพานและที่ตั้งของสะพาน การกำหนดทิศทางนี้ควรต้องรวมถึงทิศทางตามเข็มทิศ ทิศทางการไหลของสายน้ำและทิศทางของเส้นทางที่มีอยู่ ควรจะต้องเขียนตัวเลขหรือตัวอักษรลงบนสะพานเพื่อเป็นการระบุชิ้นส่วนและองค์ประกอบต่างๆ ของโครงสร้างสะพาน จุดประสงค์ของการทำเครื่องหมายเหล่านี้ก็คือ เพื่อช่วยรักษาตำแหน่งที่ตั้งของผู้ตรวจสอบและยังช่วยป้องกันการหลงลืมที่จะตรวจสอบส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงสร้างสะพาน

หลังจากที่ได้กำหนดแนวและทิศทางเรียบร้อยแล้ว ผู้ตรวจสอบก็พร้อมที่จะเริ่มทำการตรวจสอบสะพาน ผู้ตรวจสอบจะต้องมีความระมัดระวังและให้ความตั้งใจแก่งานในมือของตน และไม่ควรละเลยส่วนใดๆ ก็ตามของสะพาน เพราะส่วนต่างๆ ของสะพานที่มีความสำคัญต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างสะพาน จะต้องได้รับการดูแลอย่างดีเป็นพิเศษ

ในการตรวจสอบ จะต้องมีการประสานที่ดีระหว่างความรอบคอบและการเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ การสังเกตการณ์ต้องเป็นไปอย่างระมัดระวังและตั้งใจ ร่องรอยชำรุดต่างๆ อย่าง ต้องได้รับการบันทึกไว้ การตรวจสอบที่ระมัดระวัง มีค่าเท่าเทียมกับข้อมูลที่บันทึกได้ระหว่างการตรวจสอบ

4.4.1 แนวทางพื้นฐานของการตรวจสอบ

ส่วนพื้นสะพาน (Deck) : ผู้ตรวจสอบสะพาน ควรจะตรวจพื้นที่ทางช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach) ว่ามีความไม่เรียบ (Unevenness) การทรุดตัว (Settlement) หรือความขรุขระ (Roughness) หรือไม่ และต้องตรวจสอบสภาพของไหล่ทาง (Shoulder) เียงลาด (Slope) การระบายน้ำ (Drainage) และราวกันตกก่อนขึ้นสะพาน (Approach Guardrail) ด้วยเช่นกัน

ส่วนพื้นสะพานและทางเท่านั้น ก็ต้องได้รับการตรวจสอบเพื่อหาร่องรอยชำรุดต่างๆ โดยต้องบันทึกขนาดประเภท ขอบเขต และตำแหน่งของร่องรอยชำรุดต่างๆ โดยตำแหน่งของรอยชำรุดนี้ควรจะต้องมีการอ้างอิงโดยใช้เส้นศูนย์กลาง (Center Line) หรือเส้นขอบถนน (Curb Line) หมายเลขช่วงสะพาน และระยะจากหมายเลขของตอม่อหรือรอยต่อ

ให้ตรวจสอบ Expansion Joint ว่ามีระยะห่างที่เหมาะสมและมีการ Seal ที่เพียงพอ โดยให้บันทึกความกว้างของ Joint ที่เปิดอยู่ที่เส้นขอบทางทั้งสอง โดยบันทึกค่าอุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศต่างๆ ไป ในช่วงเวลาที่ทำการตรวจสอบ



สุดท้าย ให้ตรวจสอบสิ่งต่างๆ ที่ช่วยให้เกิดความปลอดภัย ป้ายสัญลักษณ์ต่างๆ และระบบไฟส่องสว่างที่มีอยู่ และให้ระบุสภาพของสิ่งต่างๆ ดังกล่าว

Superstructures : จะต้องทำการตรวจสอบ Superstructures อย่างละเอียดและทั่วถึง เพราะว่าถ้าองค์ประกอบหลักได้พังลง ก็อาจจะเป็นสาเหตุให้สะพานพังทลายลงมาได้ รูปแบบโดยทั่วไปขององค์ประกอบหลักที่เป็นตัวรับน้ำหนัก ได้แก่

- คานต่างๆ ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ (Beams and Girders)
- คานพื้นและคานชอย (Floor Beams and Stringers)
- โครงข้อหมุน (Trusses)
- สายเคเบิล (Catenary and Suspender Cables)
- Eyebars Chains
- คานโค้ง (Arch Ribs)
- โครงข้อแข็ง (Frames)
- Pin และ Hanger Plates

แผ่นรองสะพาน (Bearings) : ต้องได้รับการตรวจสอบอย่างถี่ถ้วน เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่าง ให้บันทึกความแตกต่างของการเอียง (Rocker Tilt) กับเส้นอ้างอิง (Fixed Reference Line) โดยให้บันทึกทิศทางของการเอียง อุณหภูมิ และสภาพภูมิอากาศต่างๆ ไป ในขณะที่ตรวจสอบด้วย

โครงสร้างส่วนล่าง (Substructures) : โครงสร้างส่วนล่างเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) และจะประกอบไปด้วย ตอม่อริม (Abutments) และตอม่อกลางน้ำ (Piers and Bents) ถ้ามีแบบก่อสร้างจริงอยู่ด้วย หน่วยของการวัดขนาด (Dimensions) ของโครงสร้างส่วนล่างจะต้องนำไปเปรียบเทียบกับหน่วยที่อยู่ในแบบด้วย เนื่องจากว่า วิธีการขั้นต้นของการตรวจสอบสะพาน คือ การตรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) ฉะนั้น ควรจะต้องมีการกำจัดฝุ่นละออง ใบไม้ มูลสัตว์ และเศษวัสดุต่างๆ ออกไปให้หมดเพื่อให้ตรวจสอบและการประเมินได้อย่างใกล้ชิด ควรตรวจว่าแต่ละหน่วยของโครงสร้างส่วนล่างมีการทรุดตัวหรือไม่ โดยการมองไปตามแนวของโครงสร้างส่วนบน และแนวตั้ง (Plumbing Vertical Faces) ในการปฏิบัติรวมกับการตรวจสอบการกัดเซาะ (Scour) ของทางน้ำ หน่วยต่างๆ ของโครงสร้างส่วนล่างจะต้องได้รับการตรวจสอบว่ามีการถูกเจาะบั้งหรือไม่ โดยให้บันทึกทั้งขนาดและตำแหน่ง

ทางน้ำ (Waterways) : ทางน้ำมีธรรมชาติที่เป็นแบบ Dynamic เพราะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางไหล (Path) และปริมาณการไหล (Volume) ตลอดเวลา ฉะนั้น สะพานซึ่งทอดข้ามสิ่งเหล่านี้ ต้องได้รับการตรวจสอบที่ระมัดระวัง เพื่อหาผลกระทบจากสิ่งเปลี่ยนแปลงไปดังกล่าว

ควรจัดเก็บรักษาสันที่ข้อมูลของภาพตัดตามยาวและแนวของลำน้ำ โดยบันทึกการผันผวนของกระแส (Meandering) ทั้งเหนือน้ำและใต้น้ำ ให้รายงานถึงความเฉียง (Skew) หรือตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมของ Pier และ Abutment ด้วย

การกัดเซาะ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากๆ เมื่อต้องทำการประเมินค่าของผลกระทบจากทางน้ำต่อสะพาน ต้องมีการวัดปริมาณของการกัดเซาะที่เกิดขึ้นโดยใช้ Grid System และวัดขนาดความลึกของลำน้ำ ในแต่ละจุดของ Grid ด้วย

การพังทลายของคันดิน ต้องได้รับการบันทึก ไม่ว่าจะเป็นที่เหนือน้ำหรือใต้น้ำ เช่นเดียวกับการสะสมทับถมของเศษวัสดุด้วย โดยให้บันทึกประเภท ขนาด ขอบเขต และตำแหน่ง ของสิ่งเหล่านี้ และให้บันทึกระดับน้ำกับระดับอ้างอิง เช่น ที่ด้านล่างของโครงสร้างส่วนบน

4.4.2 การตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน

ผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องมีความคุ้นเคยกับคำจำกัดความต่างๆ ที่ใช้บรรยายการชำรุดเสียหายของสะพาน เช่น

- การเกิดสนิม (Corrosion-Rusting)
- รอยแตก-แยกจากกันโดยไม่หลุดจากกันเป็นชิ้นๆ (Cracking)
- การแยกตัว-แยกออกจากกันเป็นชิ้นๆ (Splitting)
- การเลื่อนของรอยต่อ-รอยต่อแยกออกจากกัน (Connection Slippage)
- รับแรงเค้นมากเกินไป-การเปลี่ยนรูปร่างเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุก (Overstress)
- ความเสียหายจากการชน (Collision Damage)-ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากสะพานถูกชนโดยรถยนต์หรือเรือ

วัสดุแต่ละชนิดก็จะมีลักษณะความชำรุดเสียหายที่แตกต่างกันไป ฉะนั้น ผู้ตรวจสอบสะพานต้องมีความคุ้นเคยกับขั้นตอนการตรวจสอบที่หลากหลายรูปแบบกับวัสดุแต่ละชนิด

การตรวจสอบคอนกรีต : ให้บันทึกข้อมูลของรอยแตกทุกรอยที่สามารถมองเห็นได้ โดยให้บันทึกถึงชนิดรอยแตก ขนาด ความยาว และตำแหน่งที่ตั้งของรอยแตกนั้นๆ รวมทั้งให้บันทึกถึงการเกิดเกิดสนิม (Rust) และการเกิดเชื้อเกลือ (Efflorescence) ด้วยเช่นกัน อาจมีการหลุดชะของคอนกรีตที่ผิวของคอนกรีตทั่วๆ ไปได้ ดังนั้นควรจะต้องบันทึกพื้นที่ของการหลุดชะ ตำแหน่ง ความลึก และลักษณะทั่วๆ ไปไว้ด้วย ให้ตรวจสอบภาพผิวของคอนกรีตที่มีการเลื่อนหลุดหรือเป็นรูกลวงหรือไม่ ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้ค้อน สำหรับการเลื่อนหลุด (Delamination) ของคอนกรีตนั้น จะต้องบันทึกข้อมูลอย่างครบถ้วน โดยใช้ภาพ Sketch เพื่อแสดงตำแหน่งและขนาดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ส่วนการหลุดล่อนของคอนกรีต (Spalling) นั้น จะไม่เหมือนกับการเลื่อนหลุดเพราะเราสามารถมองเห็นการหลุดล่อนได้ทันที ควรจะต้องบันทึกการหลุดล่อนโดยใช้ภาพวาด (Sketches) ซึ่งต้องระบุความลึกของการหลุดล่อน ระบุว่ามียเหล็กเสริมโผล่ออกมาหรือไม่ รวมถึงให้ระบุว่าเหล็กเสริมนั้นมีการชำรุดหรือสูญเสียหน้าตัด (Section Loss) หรือไม่

การตรวจสอบเหล็ก : เมื่อตรวจสอบโครงสร้างเหล็ก ให้ตรวจสอบว่า มีการเกิดสนิมมากน้อยแค่ไหนและรุนแรงเพียงใด และให้วัดปริมาณการสูญเสียหน้าตัดของเหล็กเสริม ให้บันทึกการรอยแตกทุกรอย โดยให้วัดความยาว ขนาด และ



ตำแหน่งของรอยแตก องค์ประกอบที่โค้งงอหรือชำรุดเสียหาย ต้องถูกบันทึกไว้ โดยให้ระบุประเภทของความเสียหาย และ ปริมาณการแอ่นตัว (Deflection)

ให้ตรวจสอบว่า มีการหลวมของหมุดยึดและสลักเกลียวต่างๆ หรือไม่ ซึ่งจะได้โดยใช้ค้อนเคาะที่ด้านหนึ่งและใช้ หัวแม่มือจับอีกด้านหนึ่งของสลักเกลียวหรือหมุดยึดนั้น ถ้ามีการหลวม ก็ย่อมที่จะรู้สึกได้ว่าการเคลื่อนที่เกิดขึ้น หากมีการ สูญหายของหมุดยึดหรือสลักเกลียว ก็ให้ทำการบันทึกไว้ด้วยเช่นกัน

4.5 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.5.1 เครื่องมือมาตรฐาน

ในการที่จะให้การตรวจสอบมีความถูกต้องและครอบคลุมรายละเอียดได้ ครบถ้วนนั้น จะต้องใช้เครื่องมืออย่าง เหมาะสม เครื่องมือที่ได้มาตรฐาน ซึ่งผู้ตรวจสอบสะพานควรใช้ในการตรวจสอบสะพานนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่ม ทั่วๆ ไป คือ

- เครื่องมือสำหรับทำความสะอาด (ดูรูปที่ 4-3)
- เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบ (ดูรูปที่ 4-4)
- เครื่องมือสำหรับช่วยในการสังเกตด้วยตาเปล่า (ดูรูปที่ 4-5)
- เครื่องมือสำหรับการวัดขนาด (ดูรูปที่ 4-6)
- เครื่องมือสำหรับการจัดทำเอกสาร
- เครื่องมืออื่นๆ



รูปที่ 4-3 เครื่องมือสำหรับทำความสะอาด



รูปที่ 4-4 เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบ



รูปที่ 4-5 เครื่องมือสำหรับช่วยในการสังเกตด้วยตาเปล่า

เครื่องมือสำหรับทำความสะอาด ควรประกอบไปด้วยสิ่งต่อไปนี้

- ไม้กวาด (Wisk Broom) - ใช้กวาดเศษวัสดุต่างๆ (Debris) และฝุ่นผง (Dirt)
- แปรงลวด (Wire Brush) - ใช้ขัดชิ้นส่วนที่เป็นโลหะเพื่อกำจัดเกล็ดสนิมและสิ่งที่ยึดติด
- เครื่องมือลอก (Scrapper) - ใช้ลอกสนิมหรือส่วนที่ปูดออกมาจากชิ้นส่วนต่างๆ
- ไขควงปากแบน (Flat Bladed Screwdriver) - ใช้ทำความสะอาดและตรวจทั่วๆ ไป
- พลั่ว (Shovel) - ใช้ตักเศษดินและเศษวัสดุต่างๆ (Debris) ในบริเวณพื้นที่ของแผ่นรองสะพาน (Bearings)



รูปที่ 4-6 เครื่องมือสำหรับการวัดขนาด

เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบ ควรประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

- มีดพก - ใช้งานทั่วไป
- ค้อนด้ามยาว - ใช้ทุบเศษดินและสนิมที่เกาะอยู่ ใช้เคาะฟังเสียงเนื้อคอนกรีต และยังใช้เคาะเพื่อตรวจว่าตัวยึด (Fasteners) มีการหลวมหรือถูกเขื่อน บ้างหรือไม่
- ลูกดิ่ง - ใช้ตรวจแนวตั้งของโครงสร้างส่วนบนหรือโครงสร้างส่วนล่าง
- เข็มขัดเครื่องมือชนิดที่มีกระเป๋าเล็กๆ - จะมีความสะดวกในการถือและลำเลียงเครื่องมือขนาดเล็ก

เครื่องมือสำหรับช่วยในการสังเกตด้วยตาเปล่า ควรจะประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

- กล้องส่องทางไกล - ใช้สังเกตการณ์พื้นที่ก่อนเข้าทำการตรวจสอบ
- ไฟฉาย - ใช้ส่องเมื่อต้องการตรวจสอบในที่มืด
- แวนขยาย (ขยาย 5 เท่า ถึง 10 เท่า) - ใช้ตรวจรอยแตกและพื้นที่ที่อาจมีการแตก
- กระจก - ใช้ตรวจในบริเวณที่ไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบได้ (เช่น ข้างใต้รอยต่อของพื้นสะพาน)
- สีย้อม - ใช้ในการระบุรอยแตกและความยาวของรอยแตก

เครื่องมือสำหรับวัดขนาด ควรประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้

- เทปวัดขนาดเล็ก (ยาว 6 ฟุต) - ใช้วัดขนาดรอยชำรุดต่างๆ และใช้วัดขนาดของชิ้นส่วนและรอยต่อต่างๆ
- เทป 100 ฟุต - ใช้วัดขนาดขององค์ประกอบ (Components) ต่างๆ
- ก้ามวัด (Calipers) - ใช้วัดความหนาของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งอยู่ห่างจากขอบที่มองเห็นได้

- เครื่องมือวัดรอยแตก (Optical Crack Gauge) – ใช้วัดความกว้างของรอยแตก อย่างแม่นยำ
- เครื่องมือวัดความหนาของชั้นสี (Paint film Gauge) – ใช้วัดความหนาของชั้นสีที่ทาทับไว้
- เครื่องมือวัดความเอียงและเครื่องมือวัดมุม (Tilt Meter and Protractor) - ใช้วัดความเอียง (Tilling) ของโครงสร้างส่วนล่างและวัดมุมการเอียงของแผ่นรองสะพาน (Bearing Tilt)
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) – ใช้วัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมขณะนั้นและวัดอุณหภูมิของโครงสร้างส่วนบน
- เครื่องวัดระดับ (Carpenter's Level) – ใช้วัดความชันของพื้นสะพานและวัดการทรุดตัวของพื้นทาง

เครื่องมือสำหรับจัดทำเอกสาร ควรประกอบไปด้วยสิ่งต่อไปนี้

- แบบฟอร์มการตรวจสอบ กระดานรองและดินสอ – ใช้ในการบันทึกข้อมูลของสะพาน
- สมุดสนาม – ใช้บันทึกข้อมูลเพิ่มเติม จากโครงสร้างที่มีความซับซ้อนกว่าปกติ
- ไม้บรรทัด – ใช้วาดรูปที่ต้องการความประณีต
- กล้องถ่ายรูป – ใช้ถ่ายรูปเพื่อจัดทำภาพประกอบรายงานเพื่อแสดงที่ตั้งและสภาพของสะพาน
- กล้องโฟลารอยด์ – ใช้ถ่ายรูปเพื่อจัดทำเอกสารโดยทันที ในกรณีที่มีสภาพเสียหายรุนแรงและต้องการให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบในทันที
- ซอลด์ และปากกาทำเครื่องหมาย – ใช้เขียนชื่อหรือทำเครื่องหมายบนชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงรอยชำรุดต่างๆ เพื่อช่วยในการทำงานด้านการจัดการและการจัดทำรูปแบบต่างๆ
- เครื่องเจาะรู – ใช้ทำเครื่องหมายบนชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก เพื่อการจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ เช่น การเอียงของแผ่นรองสะพาน (Bearing Tilt) และการเปิดของรอยต่อ (Joint Openings)
- ตะปู “P – K” – ตะปูสำรวจของ Parker Kalon จะถูกใช้ในการกำหนดจุดอ้างอิงที่จำเป็นเพื่อการจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของโครงสร้างส่วนล่างและรอยแตกขนาดใหญ่

อุปกรณ์ต่างๆ ไป (เบ็ดเตล็ด) ควรประกอบไปด้วยสิ่งต่อไปนี้

- คีมรูปตัว “C” – ใช้เมื่อต้องวัดขนาดที่ทำด้วยความยากลำบาก
- น้ำมันหล่อลื่น – ใช้ช่วยในการคลายหมุนยึด, สลักเกลียว ต่างๆ
- น้ำยาป้องกันแมลง – ใช้ทาป้องกันยุง ร และ ตัวหมัดต่างๆ
- ยาฆ่าตัวต่อและแตน – ใช้กำจัดรังของตัวต่อและแตน เพื่อที่จะสามารถเข้าไปตรวจสอบได้
- ชุดปฐมพยาบาล – ใช้รักษาแผลขนาดเล็ก, การถูกงูกัด และผึ้งต่อย
- กระดาษชำระ – ใช้ในกรณีฉุกเฉินต่างๆ



4.5.2 อุปกรณ์พิเศษ

ในการตรวจสอบตามปกตินั้น ไม่มีความจำเป็นที่จะใช้อุปกรณ์พิเศษแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามในกรณีที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างบางชนิดเป็นพิเศษจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้อุปกรณ์พิเศษสำหรับการตรวจสอบ ผู้ทำการตรวจสอบจึงควรจะต้องมีความคุ้นเคยกับการใช้อุปกรณ์พิเศษต่างๆ

อุปกรณ์การสำรวจ (Survey Equipment) : ในบางสถานการณ์ อาจมีความจำเป็นที่จะต้องใช้กล้องสำรวจ (Transit) เครื่องวัดระดับ (Level) หรือเครื่องมือสำรวจอื่นๆ การใช้เครื่องมือเหล่านี้จะทำให้กำหนดตำแหน่งที่ตั้งขององค์ประกอบต่างๆ ได้อย่างแม่นยำโดยสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่นๆ เช่นเดียวกับการกำหนดจุดอ้างอิง

อุปกรณ์การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing Equipment) : การใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing-NDT) เป็นวิธีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงสร้างโดยไม่มีทำให้วัสดุต้องเสียหาย อุปกรณ์ NDT จะช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถเห็นถึงสภาพภายในของชิ้นส่วนของสะพาน และประเมินการชำรุดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ โดยทั่วไปแล้ว จะต้องใช้ช่างฝีมือที่ต้องผ่านการฝึกหัดมาเป็นอย่างดี ในการทำการทดสอบแบบ NDT และแปลความหมายของผลการตรวจสอบ

อุปกรณ์การตรวจสอบใต้น้ำ : การตรวจสอบใต้น้ำจะเป็นการตรวจสอบหน่วยต่างๆ ของโครงสร้างส่วนล่างและส่วนลำน้ำใต้ผิวน้ำ ถ้าลำน้ำนั้นตื้น ก็สามารถทำการตรวจสอบเหนือน้ำได้ โดยการใช้เหล็กเสริม หรือกิ่งไม้

ถ้าลำน้ำนั้นลึก การตรวจสอบใต้น้ำจะต้องทำโดยใช้นักดำน้ำที่ชำนาญ ก็จะต้องใช้อุปกรณ์การดำน้ำซึ่งจะรวมถึงแท่นรอง (Platform) เครื่องหยั่งความลึก (Fathometer) เรดาร์ ระบบการเติมอากาศ วิทยุติดต่อกัน และอุปกรณ์ฟังเสียง

อุปกรณ์อื่นๆ : อาจมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆ เพื่อเตรียมสะพาน ก่อนที่จะทำการตรวจสอบ อุปกรณ์ดังกล่าวจะรวมถึง

- เครื่องเป่าลม เครื่องฉีดน้ำ – ใช้ในการฉีดล้างเศษดิน เศษวัสดุออกจากพื้นผิวต่างๆ
- อุปกรณ์ทำความสะอาดผิว – เช่น กระดาษทราย จะใช้ในการทำความสะอาดผิวเหล็กหรือโลหะต่างๆ
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการเผา (Burning) เจาะ (Drilling) หรือบด (Grinding)

4.6 วิธีการเข้าตรวจสอบ

การเข้าไปสำรวจสะพานในบริเวณที่เข้าถึงได้ยากนั้น จะมีอยู่ 2 วิธีการ คือ การใช้อุปกรณ์ช่วยให้เข้าไปได้กับการใช้พาหนะช่วยในการเข้าพื้นที่ตรวจสอบ อุปกรณ์ที่ใช้ทั่วๆ ไปนั้นได้แก่ บันได ทางเดินโยงยึด (Rigging) และการใช้นั่งร้าน ส่วนพาหนะที่ใช้ทั่วๆ ไปได้แก่ รถยกคน (Manlift) รถกระบะเข้าธรรมดา (Bucket Truck) และรถกระบะเข้าพิเศษ (Snoopers) ส่วนใหญ่แล้วการใช้รถยก หรือ รถกระบะเข้าธรรมดา (Bucket Truck) จะใช้เวลาในการตรวจสอบสะพานน้อยกว่าการใช้บันได หรือ ทางเดินโยงยึด (Rigging) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวก็จะมีค่าใช้จ่ายมากกว่า

4.6.1 อุปกรณ์ช่วยในการเข้าไปตรวจสอบ

จุดประสงค์ในการใช้อุปกรณ์ คือ เพื่อช่วยให้ผู้ทำการตรวจสอบเข้าไปอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดที่ตั้งขององค์ประกอบของสะพาน จนสามารถทำการตรวจสอบได้อย่างใกล้ชิดและสัมผัสได้ อุปกรณ์ต่อไปนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

บันได (Ladders) : เราสามารถใช้บันไดเพื่อช่วยให้สามารถเข้าไปตรวจด้านล่างของสะพานเพื่อตรวจสอบหน่วยต่างๆ ของโครงสร้างส่วนล่างได้ แต่ก็ควรจะใช้เฉพาะในส่วนที่ใช้บันไดไว้อย่างสะดวกเท่านั้น กล่าวคือ บันไดจะต้องไม่เอียงเกินไป

ทางเดินโยงยึด (Rigging) : จะประกอบไปด้วยสายเคเบิลและแผ่นพื้น (Cables and Platforms) จะใช้ Rigging ในการเข้าไปในพื้นที่ด้านใต้แผ่นพื้นและองค์อาคารหลักที่รับน้ำหนัก โดยจะใช้ทางเดินโยงยึด (Rigging) เมื่อไม่สามารถเข้าไปในพื้นที่นั้นโดยวิธีอื่นได้ หรือว่าเมื่อมีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบเป็นพิเศษ เช่น การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) หรือการเคลื่อนย้ายหมุด ส่วนใหญ่จะใช้ทางเดินโยงยึด (Rigging) เมื่อต้องการอยู่เหนือผิวน้ำเหนือถนนหรือทางรถไฟที่มีช่องทางสำหรับเข้าตรวจสอบไม่เพียงพอและจะใช้กับสะพานที่มีความสูงเกินกว่า 12 เมตร (40 ฟุต)

นั่งร้าน (Scaffolds) : โดยทั่วไปแล้ว การใช้นั่งร้านจะปรับเปลี่ยนได้ง่ายกว่าการใช้ทางเดินโยงยึด (Rigging) และการใช้นั่งร้านเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้มองทางที่เข้าไปสำรวจได้อย่างเพียงพอ สำหรับโครงสร้างที่สูงไม่เกิน 12 เมตร (40 ฟุต) และมีปริมาณการจราจรที่น้อยมากหรือไม่มีเลย

การใช้เรือ (Boats or Barges) : อาจมีความจำเป็นต้องใช้เรือเมื่อต้องการตรวจสอบโครงสร้างที่อยู่เหนือผิวน้ำ เรือเล็ก (Boat) จะใช้เมื่อทำการตรวจสอบบางอย่างหรือทำการถ่ายรูป ส่วนเรือขนาดใหญ่ (Barges) นั้นจะใช้เป็นฐานรองรับ (Platform) เมื่อทำการตรวจสอบใต้น้ำ

เครื่องมือช่วยปีน (Climbers) : เครื่องมือนี้เป็นฐานรองรับเคลื่อนที่ (Mobile Platforms) ที่ปีนไปตามสายเคเบิลเหล็ก (Steel Cables) มีความเหมาะสมมากในการใช้ช่วยการตรวจสอบ Pier ที่มีความสูงมาก หรือ ด้านข้างของ Member ที่มีความยาวมากๆ เครื่องมืออาจถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “แมงมุม” (Spiders)

แพ (Floats) : ตัวแพนี้อาจจะเป็นแผ่นไม้ที่เชื่อมอกแขวนอยู่ จะใช้เมื่อผู้ตรวจสอบต้องการเข้าไปตรวจสอบในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเป็นเวลาค่อนข้างนาน

เก้าอี้ Bosun (or Boatswain) : เก้าอี้จะถูกแขวนไว้ด้วยเชือกและจะรองรับผู้ตรวจสอบได้ครั้งละ 1 คน เท่านั้น เราสามารถยกระดับหรือลดระดับของอุปกรณ์นี้ได้ตามความต้องการ



การปีน (Climbing) : สำหรับโครงสร้างบางชนิด ถ้าวิธีการเข้าไปตรวจสอบต่างๆที่กล่าวมาไม่สามารถนำมาใช้ได้ ผู้ทำการตรวจสอบก็จำเป็นต้องปีนไปตามส่วนต่างๆ ของสะพาน แต่ก็ต้องพึงรำลึกถึงและอยู่ภายใต้กฎแห่งความปลอดภัยเสมอ วิธีการปีนมีอยู่ 2 แบบ คือ การปีนแบบอิสระ และการปีนแบบไม่อิสระ การปีนแบบอิสระก็คือ การปีนโดยไม่ได้ใช้เข็มขัดนิรภัยรัดไว้กับโครงสร้างสะพาน แต่การปีนแบบไม่อิสระนั้นจะต้องมีการใช้อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย และใช้วิธีการอย่างถูกต้องทางเทคนิค

4.6.2 พาหนะช่วยในการเข้าไปตรวจสอบ (Access vehicles)

จะมีพาหนะอยู่หลายแบบที่ช่วยให้การตรวจสอบสามารถเข้าไปตรวจสอบสะพานได้ มีตัวอย่างต่างๆ ไปดังต่อไปนี้

รถยก : เป็นรถที่มีแท่นยื่นหรือกระเช้าที่สามารถลำเลียงเจ้าหน้าที่ตรวจสอบได้ เพิ่มมากขึ้น กระเช้าจะติดอยู่ที่ปลายแขนไฮดรอลิคของรถ ผู้ตรวจสอบจะเป็นผู้ขับด้วยโดยใช้แผงควบคุมที่อยู่ในกระเช้า แต่รถยกชนิดนี้จะไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้บนทางหลวงพิเศษ (Highway) แต่จะเหมาะกับงานในพื้นที่ทั่วไปได้หลากหลาย

รถกระเช้า (Bucket Trucks) : มีลักษณะคล้ายกับรถยก แต่จะใช้งานบนทางหลวงพิเศษ (Highway) ได้ และผู้ตรวจสอบจะเป็นผู้ควบคุมกระเช้าเท่านั้น บางทีก็ต้องใช้ขาหยั่งพิเศษยื่นออกมาจากโครงรถเพื่อช่วยในการทรงตัวของรถ เมื่อต้องยื่นแขนกระเช้าออกไปมากๆ รถกระเช้าบางชนิดสามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวสะพานได้ในขณะตรวจสอบสะพาน รถกระเช้าส่วนใหญ่จะมีแขนหลายท่อน เพื่อใช้สามารถยื่นแขนออกไปได้ไกลถึง 18 เมตร (60 ฟุต)

รถกระเช้าพิเศษ (Snoopers) : เป็นรถกระเช้าที่มีแขนที่ถูกออกแบบให้งอพับได้ เพื่อที่จะสามารถยื่นกระเช้าเข้าไปใต้สะพานได้ ในขณะที่ตัวรถจอดอยู่ด้านบนพื้นสะพาน และสามารถหมุนแขนไปมาได้ทำให้มีความคล่องตัวในการทำงานมาก ขาหยั่งที่มีล้อด้วย ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ในการทำงาน แขนท่อนที่สามารถยืดออกและหดเข้าได้ ทำให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ทำงานได้มากขึ้นไปอีก

4.7 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

ความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในการปฏิบัติงานการตรวจสอบภาคสนาม ทั้งนี้ เพื่อผลงานที่มีประสิทธิภาพและตรงตามกำหนดเวลา การตรวจสอบสะพานเป็นงานที่มีอันตรายแฝงอยู่ เพราะฉะนั้น จะต้องทำให้ผู้ที่ร่วมทำการตรวจสอบทุกคน มีความระมัดระวังอย่างถึงถิ่นทั่วถึง ไม่ว่าจะเป็นทัศนคติ ความตื่นตัว และสามัญสำนึก ทั้ง 3 อย่างนี้ ล้วนแต่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัย

4.7.1 การระวังรักษาความปลอดภัยทั่วไป

เหตุผล : เนื่องจากอุบัติเหตุจะเป็นตัวก่อให้เกิดความเจ็บปวด ทุกข์ทรมาน และความลำบากแก่ครอบครัว ทั้งยังทำให้สิ้นค่าใช้จ่าย สำหรับเครื่องมือ การสูญเสียผลผลิต และค่ารักษาพยาบาล การตั้งใจปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัย จะเป็นส่วนช่วยให้ลดค่าใช้จ่าย ที่ไม่จำเป็นลงได้

พื้นฐานความปลอดภัย : สิ่งสำคัญที่สุดในการพิจารณาสำหรับการตรวจสอบสะพานอย่างปลอดภัย ก็คือความตระหนักของผู้ตรวจสอบในการที่จะสร้างให้สภาพการทำงานมีความปลอดภัย การปฏิบัติงานที่ดีที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานนั้น ประกอบไปด้วย

- พักผ่อนเพียงพอและมีความตื่นตัว
- รักษาสภาพร่างกาย
- ใช้เครื่องมือที่เหมาะสม
- รักษาพื้นที่ปฏิบัติงานให้สะอาดเรียบร้อย
- ทำงานอย่างเป็นระบบ และเกี่ยวเนื่องกัน
- ปฏิบัติตามกฎหมายและระเบียบแห่งความปลอดภัย ทั้งตามกฎหมายและของหน่วยปฏิบัติงาน
- มีสามัญสำนึกและการตัดสินใจที่ดี
- ให้หลีกเลี่ยงสิ่งมีคมและสิ่งเสียดทุกชนิด

ความรับผิดชอบเพื่อความปลอดภัย : ผู้ว่าจ้างจะเป็นผู้รับผิดชอบในการเตรียมการเพื่อความปลอดภัยในการทำงานดังนี้

- แจ่งหรือประกาศให้ทราบถึงกฎข้อบังคับและแนวทางต่างๆ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัย
- จัดให้มีการฝึกเพื่อรักษาความปลอดภัย
- จัดให้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เหมาะสม

บุคคลผู้เป็นที่ปรึกษาจะเป็นผู้รับผิดชอบในการคงไว้ซึ่งความปลอดภัย ดังนี้

- การให้คำปรึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติงาน
- แนวทางในการนำขั้นตอนแห่งความปลอดภัยไปปฏิบัติ
- แนวทางในการใช้อุปกรณ์อย่างถูกต้อง
- การกำชับให้ปฏิบัติตามกฎข้อบังคับของความปลอดภัย

ผู้ตรวจสอบสะพาน จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบสูงสุดในความปลอดภัยของตนเอง และยังรวมถึง

- การรู้ขีดจำกัดของสภาพร่างกายของตน
- มีความรู้เกี่ยวกับกฎและวัตถุประสงค์ของงาน
- ความปลอดภัยของเพื่อนร่วมงาน
- การรายงานอุบัติเหตุ (ภายใน 24 ชม.)



4.7.2 การป้องกันบุคลากร

สวมใส่เสื้อผ้าที่เหมาะสมกับงานตรวจสอบ : มีความสำคัญมาก เสื้อผ้าที่สวมใส่ควรมีขนาดที่พอดีกับผู้สวมใส่ และเหมาะกับสภาพอากาศ ในการปฏิบัติงานทั่วไปของการตรวจสอบ ผู้ที่ทำการตรวจสอบ ควรจะสวมใส่รองเท้าบู๊ท ที่เป็นหนังที่มีสันช่วยในการเกาะพื้นได้ดี เมื่อทำการขึ้นไปตามองค์ประกอบต่างๆ ของสะพาน ผู้ทำการตรวจสอบควรจะสวมใส่รองเท้าบู๊ทที่มีแกนเหล็ก (มีสันกันลื่นและไม่เหนียว) รวมทั้งต้องใช้ถุงมือหนัง การใช้กระเป๋าเล็กๆ ใส่เครื่องมือก็ช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถนำเครื่องมือและบันทึกต่างๆ ไปด้วย ในขณะที่ต้องใช้มือเพื่อการปีนหรือกำลังตรวจสอบอื่นๆ

อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยในการตรวจสอบ : ในเมื่ออุปกรณ์ต่างๆ ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้น ผู้ทำการตรวจสอบก็ต้องใช้อุปกรณ์นั้น เพื่อป้องกันตนเอง อุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่

- หมวกแข็ง – ใช้ป้องกันศีรษะ หากมีสิ่งต่างๆ ตกลงมาจากที่สูง และยังป้องกันไม่ให้ศีรษะของผู้ตรวจสอบชนกับองค์ประกอบต่างๆ ของสะพาน
- เสื้อกั๊กสะท้อนแสง – มีความจำเป็นมากเมื่อต้องทำงานในที่ที่อยู่ใกล้จราจร
- แว่นหน้ากากป้องกันดวงตา – การป้องกันดวงตามีความสำคัญมากเมื่อตรวจสอบ ต้องอยู่ในที่ซึ่งมีวัสดุต่างๆ ลอยฟุ้งไปมา แว่นสวมป้องกันสายตา ยังไม่เพียงพอเนื่องจากยังไม่มีกำบังด้านข้าง ควรใช้เพียงแว่นที่มีเลนส์เพียงอันเดียวเท่านั้น เมื่อต้องทำการปีน (ต้องไม่เป็นแว่นที่มีเลนส์ 2 เลนส์ - No Bifocals)
- เสื้อชูชีพ – ควรสวมเสื้อชูชีพเสมอเมื่อต้องทำการตรวจสอบเหนือน้ำหรือเมื่ออยู่บนเรือ
- หน้ากากป้องกันฝุ่น – ช่วยป้องกันไม่ให้หายใจนำมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายเข้าไปสู่อุด
- เครื่องฟอกอากาศ – ช่วยป้องกันไม่ให้สูดอากาศที่เจือปนอยู่ในอากาศที่เกิดจากการระเบิดทราย สี และจากมูลฝอยต่างๆ
- เข็มขัดนิรภัยและเชือก – จะต้องสวมใส่เข็มขัดนิรภัยเสมอเมื่อทำงานเหนือน้ำ การจราจร และเมื่อทำงานในที่สูง ควรผูกเข็มขัดนิรภัยยึดไว้กับองค์ประกอบของสะพานที่มั่นคงแข็งแรง หรือสิ่งที่เห็นว่าปลอดภัย แต่ต้องไม่ใช่ผูกกับนั่งร้านหรือสายเคเบิลของนั่งร้าน
- ถุงมือ – ช่วยป้องกันไม่ให้มือสัมผัสกับสารอันตรายต่างๆ รวมถึงองค์อาคารที่ถูกสารกัดกร่อน

4.7.3 สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ

สาเหตุหลักใหญ่ๆ 2 ประการซึ่งทำให้เกิดอุบัติเหตุ ได้แก่ ความผิดพลาดของคน (Human Error) และการวิบัติของอุปกรณ์ (Equipment Failure) เราสามารถลดความผิดพลาดของคนลงได้โดยการให้บทเรียนว่า เราต่างก็สามารถทำให้เกิดความผิดพลาดได้ และให้มีการวางแผนล่วงหน้า เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ความวิบัติของอุปกรณ์อาจถูกลดลงได้โดยการจัดให้มีการตรวจสอบอุปกรณ์ การบำรุงรักษาอุปกรณ์และปรับปรุงให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ

สาเหตุพิเศษ : สาเหตุพิเศษ ต่างๆ ที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ มีดังนี้

- มีทัศนคติที่ไม่เหมาะสม – การขาดสมาธิ ขาดความระมัดระวัง และมีความกังวลในเรื่องส่วนตัว

- ขีดจำกัดของแต่ละบุคคล – การขาดความรู้ความสามารถ การฝึกสภาพร่างกาย
- ความไม่สมบูรณ์ทางร่างกาย – มีอาการบาดเจ็บ การเจ็บป่วย ผลข้างเคียงของยา สิ่งมีนเมา หรือ ยาเสพติด
- การเบี่ยงเบนหรือขาดสมาธิ – ภาวะการขาดความตั้งใจในขณะที่ทำงานที่ซ้ำๆ เป็นประจำ
- การขาดความเอาใจใส่ – ไม่มีความตื่นตัวในเรื่องความปลอดภัยและไม่รู้ถึงอันตรายต่างๆ
- การชอบวิธีลัด – ทำให้เกิดความเสียหายอย่างมาก
- การขำรุคของอุปกรณ์ – เช่น ขึ้นบันไดขำรุค เชือกขาดหรือเปื่อย และสายเคเบิลมีการฉีกขาด
- การสวมใส่ชุดที่มีขนาดไม่พอดี หรือไม่เหมาะสมกับงาน

4.7.4 การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

การปฏิบัติทั่วไป : มีคำแนะนำทั่วไป เพื่อการตรวจสอบที่ปลอดภัย ดังนี้

- ให้หลีกเลี่ยงการเสพลิ่งมีนเมาหรือยาเสพติด – ซึ่งจะก่อให้เกิดความบกพร่องในการพิจารณา การตอบสนอง และการประสานงาน
- การใช้ยารักษาโรค – การใช้ยาและอาการแพ้ยาอาจก่อให้เกิดผลกระทบข้างเคียงที่เป็นอันตรายได้
- ไฟฟ้า – ต้องสันนิษฐานว่า สายเคเบิลและสายไฟต่างๆ นั้น มีไฟเดินอยู่เสมอ และต้องตัดไฟก่อนทุกครั้ง
- การช่วยเหลือกัน – ให้ทำงานเป็นคู่เสมอ จะได้คอยช่วยเหลือกัน
- การตรวจสอบในพื้นที่ที่อยู่เหนือน้ำ – ต้องใช้เรือที่มีความปลอดภัย โดยจะต้องมีห่วงชูชีพ และวิทยุสื่อสาร
- รองเท้าบู๊ทยาง (Waders) – จะต้องมีควมระมัดระวังเมื่อสวมใส่รองเท้าบู๊ทยาง เพราะน้ำสามารถเข้าไปข้างในรองเท้าได้ ทำให้ไม่สามารถว่ายน้ำได้
- การตรวจสอบเหนือพื้นที่การจราจร – ถ้าไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปฏิบัติการตรวจสอบในพื้นที่ที่อยู่เหนือการจราจรได้ ก็ต้องทำการผูกเครื่องมือต่างๆ และสมุดบันทึกไว้ให้แน่นหนา
- การเข้าไปในที่มืด – ต้องใช้ไฟฉายทุกครั้งที่จะเข้าไปในที่มืด และอาจต้องใช้การโรยเชือกนำทาง รวมถึงต้องใช้ถังออกซิเจนถ้ามีความจำเป็น
- มวลของนกพิราบ – การหายใจเอาฝุ่นละอองต่างๆ ที่เกิดจากมวลของนกพิราบ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งปอดได้

ความปลอดภัยในการปีน : มีการเตรียมการพื้นฐานอยู่ 3 กลุ่มที่จำเป็นในการปีนเพื่อตรวจสอบอย่างปลอดภัย

กลุ่มแรก คือ การจัดการ (Organization) เพื่อการตรวจสอบ

- กลวิธีในการปีน – ควรให้มีช่วงเวลาในการปีนให้น้อยที่สุด



- แผนการตรวจสอบ – ผู้ตรวจสอบควรจะต้องรู้อย่างชัดเจนว่ากำลังจะไปที่ใด และต้องทำอะไรบ้างให้เสร็จบ้างและจำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือใดบ้าง
- สภาพภูมิอากาศ – ถ้าหากเป็นสภาวะที่ฝนตกจะต้องเลื่อนการตรวจสอบสะพานที่เป็นเหล็ก ออกไป
- การจราจร – ไม่ควรจะมีการขีดขวางการจราจร

กลุ่มที่สอง คือ การตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบสะพาน เพื่อให้มีสภาพและการใช้งานที่เหมาะสม

- บันได – มักจะมีส่วนเกี่ยวข้องในอุบัติเหตุต่างๆ เสมอ
- นั่งร้าน – ควรได้มีการตรวจสอบความสูง ความสามารถในการรับน้ำหนัก รอยแตก ข้อต่อหลวมหรือไม่ รวมถึงตรวจสอบบริเวณที่ไม่แข็งแรง
- แผ่นไม้ – ควรใช้แผ่นไม้อย่างน้อย 2 แผ่น ซ้อนติดกัน ส่วนปลายของแผ่นไม้จะต้องยึดติดกับจุดรองรับอย่างแน่นหนา
- พาหนะที่ใช้ในการตรวจสอบ – ควรจะให้ได้ใช้รถกระเช้าชนิดต่างๆ เท่าที่จะเป็นไปได้
- ทางเดินต่างๆ – ควรจัดให้มีการตรวจสอบทางเดินต่างๆ เพื่อที่จะได้ใช้งานได้เมื่อต้องการ ทางเดินโยงยัด (Rigging) – ผู้ตรวจสอบควรจะต้องคุ้นเคยกับเทคนิคการใช้ทางเดินโยงยัด (Rigging) อย่างถูกต้องเหมาะสม และไม่ควรมีความเชื่อผิดๆ เกี่ยวกับการใช้ทางเดินโยงยัดนี้

กลุ่มที่สาม คือ ผู้ตรวจสอบจะต้องมีการเตรียมสภาพจิตใจสำหรับการตรวจสอบที่ ต้องมีการปีน ทัศนคติที่ดีเกี่ยวกับความปลอดภัยเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุด มีหลักปฏิบัติอยู่ 3 ประการ ที่จะต้องปฏิบัติตาม คือ

- ให้หลีกเลี่ยงความรู้สึกที่กดดัน – ไม่ควรทำการปีนเมื่อรู้สึกผัดหวังหรือเมื่อรู้สึกขาดความมั่นใจ
- ให้มีความรู้สึกกระมัดระวังอยู่เสมอ – ให้รู้ตัวตลอดเวลาว่าตนเองอยู่ที่ไหนและกำลังทำอะไรอยู่ในขณะปีน
- ความมั่นใจ – ไม่ควรกระทำใดๆ เมื่อรู้สึกไม่มั่นใจว่าจะทำได้อย่างปลอดภัย และห้ามมิให้ปกปิดว่ายังมีบางสิ่งบางอย่างยังไม่ได้รับการตรวจสอบ

พื้นที่จำกัด (Confined Spaces) : ในการตรวจสอบโครงสร้างสะพานที่เป็นรูปกล่อง (Box Girder) วงแหวนโค้ง (Steel Arch Rings) และพื้นคอนกรีตแบบกลวง (Cellular Concrete) ส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานในพื้นที่แคบๆ มีข้อควรระวังอยู่ 3 ประการ เมื่อทำการตรวจสอบในพื้นที่ดังกล่าว

- การขาดออกซิเจน – จะต้องมียุติปริมาณออกซิเจนไม่น้อยกว่า 19% เพื่อให้ผู้ตรวจสอบยังมีสติอยู่
- ก๊าซพิษต่างๆ – ส่วนใหญ่เกิดจากงานต่างๆ เช่น การทาสี การเผาไหม้ และการเชื่อม
- ก๊าซที่สามารถระเบิดได้ – วัสดุบางชนิด เช่น ก๊าซธรรมชาติ และก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นมาจากการทำปฏิกิริยาออกซิเจนขึ้นตามธรรมชาติ ของสารอินทรีย์ต่างๆ

เมื่อต้องการทำการตรวจสอบในพื้นที่อันจำกัด จะต้องมีการปฏิบัติตามกฎความปลอดภัย ดังนี้

- ให้ตรวจปริมาณ ออกซิเจนและก๊าซอื่นๆ ทุกระยะเวลา 15 นาที
- หลีกเลี่ยงการใช้ของเหลวที่สามารถติดไฟได้
- ให้จดพิกัดพื้นที่ซึ่งช่วยในการตรวจสอบให้ห่างจากทางเข้าพื้นที่ปฏิบัติการตรวจสอบ เพื่อหลีกเลี่ยงควันไอเสียของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- การปฏิบัติงานที่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซพิษ จะต้องทำด้านใต้ลมของผู้ปฏิบัติงาน และบุคคลในชุดตรวจสอบสะพาน
- ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจที่ได้รับการรับรองแล้วเท่านั้น เมื่อไม่สามารถจัดทำระบบระบายอากาศได้ หรือเมื่อไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ตรวจจับ (Detector) ได้
- เมื่อเข้าไปในอุโมงค์ระบายน้ำ (Culverts) จะต้องจัดหาแสงสว่างและเชือกนำทาง มาอย่างเพียงพอ
- ควรทำการปฏิบัติการตรวจสอบเป็นคู่ (2 คน) โดยจะต้องมีผู้ตรวจสอบคนที่ 3 อยู่ในที่มีแสงสว่างหรือนอกพื้นที่ที่มีความจำกัด (Confined Areas)

การรายงานผลการตรวจสอบสภาพ

5.1 แบบบันทึกการตรวจสอบ

มาตรฐานของการตรวจสอบสะพาน กำหนดให้มีการแสดงผลของการตรวจสอบสะพานแต่ละประเภทขึ้นมา ดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก

หัวข้อสำคัญในการตรวจสอบสะพาน จะปรากฏในเอกสารที่แสดงข้อมูลโดยรวมของสะพาน (Structure Inventory & Appraisal Sheet) หรือ ที่เรียกว่าเอกสาร SI&A ข้อมูลในเอกสาร SI&A นี้จะแบ่งออกเป็น 3 หมวดใหญ่ คือ

5.1.1 หมวดข้อมูลทั่วไป (Inventory Items)

Inventory Items จะประกอบไปด้วย ลักษณะและคุณสมบัติโดยทั่วไปของสะพานอันเป็นลักษณะที่ถาวร ซึ่งจะเปลี่ยนไปก็ต่อเมื่อสะพานนั้นได้ถูกเปลี่ยนแปลงไป เช่น การสร้างเพิ่มขึ้นมาใหม่ หรือการกำหนดขีดจำกัดของน้ำหนักบรรทุก ข้อมูลทั่วไปนี้ถูกจัดออกเป็นหมวดหมู่ ดังต่อไปนี้

- Identification ซึ่งจะบอกถึงข้อมูลของสะพาน โดยใส่รหัสของที่ตั้งและข้อมูลโดยย่อ
- ประเภทโครงสร้างของสะพานและวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างของสะพาน ข้อมูลนี้จะจำแนกโครงสร้างโดยใช้ข้อมูลของวัสดุ การออกแบบและการก่อสร้าง จำนวนของช่องสะพาน และชนิดของพื้นผิวสะพาน
- ขนาดและระยะต่างๆ ของโครงสร้างของสะพาน
- ข้อมูล Navigation บ่งบอกถึงการควบคุมและการป้องกันตอม่อของสะพาน รวมทั้งการวัดระยะห่างของทางน้ำกับสะพาน
- ประเภทการใช้งานของสะพานโดยรวม
- อายุและลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่สะพานรองรับ รวมทั้งข้อมูลการจราจร
- การให้คะแนนความสามารถในการรับน้ำหนัก และการรับน้ำหนักปัจจุบัน



- คำแนะนำเพื่อการปรับปรุง จะช่วยในการตัดสินใจเพื่อบำรุงรักษาสะพาน ประมาณการค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสะพานที่สมควรได้รับการปรับปรุง
- ข้อมูลการสำรวจ ซึ่งประกอบไปด้วย วัน เดือน ปี ที่ทำการสำรวจ ความถี่ในการตรวจสอบ และส่วนที่ต้องการตรวจสอบเป็นพิเศษ

5.1.2 หมวดข้อมูลของชิ้นส่วนที่ได้รับการตรวจสอบสภาพ (Condition Rating Items)

ข้อมูลนี้จะกล่าวถึงผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและสภาวะที่ปรากฏอยู่ของชิ้นส่วนสะพาน หรือส่วนประกอบต่างๆ ของสะพาน และได้รับการประเมินโดยเปรียบเทียบสภาพเมื่อสร้างเสร็จใหม่ๆ และมีระบบการให้คะแนนดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.2

ส่วนประกอบต่างๆ ของสะพานที่จะได้รับการตรวจสอบและประเมินผล มีดังต่อไปนี้

- ส่วนพื้นสะพาน (Deck)
- โครงสร้างส่วนบนของสะพาน (Superstructure)
- โครงสร้างส่วนล่างของสะพาน (Substructure)
- ลำน้ำและการป้องกันลำน้ำ
- ท่อลอด หรือ ช่องระบายน้ำใต้สะพาน

การให้คะแนนเพื่อแสดงผลการประเมินสภาพของสะพาน ควรจะบ่งบอกถึงลักษณะและสภาพของสะพานโดยทั่วๆ ไปของโครงสร้างทั้งหมดที่จะได้รับการประเมิน ไม่ควรที่จะให้คะแนนเพียงแต่ชิ้นส่วนย่อยๆ

การให้คะแนนผลการประเมินสภาพที่ถูกต้อง ต้องพิจารณาทั้งความเสียหายที่รุนแรงและให้รวมไปถึงผลกระทบที่มีต่อชิ้นส่วนที่ได้รับการตรวจสอบอยู่

อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีบางกรณีที่ Deficiency จะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่ง หรือบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ถ้า Deficiency นี้ ลดความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกหรือความสามารถในการใช้งานของชิ้นส่วนนั้น ชิ้นส่วนนั้นๆ ก็จะสามารถถูกกำหนดให้เป็น “จุดเชื่อมต่อที่อ่อนแอ : Weak Link” ของโครงสร้างของสะพาน อันจะเป็นผลให้ผลคะแนนการประเมินสภาพของชิ้นส่วนนั้นลดลงตามไปด้วย.

5.1.3 หมวดข้อมูลของสิ่งที่ได้รับการประเมินความสามารถการใช้งาน (Appraisal Rating Items)

ได้แก่ สิ่งต่างๆ ดังนี้

- การประมาณการคุณค่าของโครงสร้าง (Structural Evaluation)
- ข้อมูลของส่วนพื้นสะพาน (Deck Geometry)
- ระยะห่างจากสิ่งอื่นๆ ทั้งแนวตั้งและแนวนอน
- ข้อมูลของลำน้ำ
- การจัดวางถนนช่วงใกล้สะพาน

สิ่งต่างๆ เหล่านี้จะถูกใช้ในการประเมินคุณค่าของสะพานในลักษณะของความสามารถในการให้บริการของสะพานที่ได้ให้ไว้ในระบบการจราจร คุณค่าและความสามารถในการรับน้ำหนักจะถูกรวบรวมเปรียบเทียบกับสะพานที่สร้างขึ้นใหม่ ที่สอดคล้องกับมาตรฐานปัจจุบัน และเหมาะสมกับประเภทของเส้นทางจะมีข้อยกเว้นในหัวข้อของการจัดวางถนนช่วงใกล้สะพาน ซึ่งจะถูกรวบรวมเปรียบเทียบกับถนนช่วงใกล้สะพานที่มีใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน

ความมุ่งหมายของระดับการให้บริการที่จะเสนอเป็นความสามารถในการให้บริการของแต่ละสะพานนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรที่รองรับ และองค์ประกอบอื่นๆ ความมุ่งหมายต่างๆ จะสอดคล้องกับความต้องการทางการจราจรซึ่งมีอยู่แล้วในระบบการทาง มีสะพานหลายแห่งที่อยู่ในเส้นทางท้องถิ่น สามารถรองรับการจราจรที่ต้องการ ด้วยขนาดและความสามารถในการรับน้ำหนักที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับสะพานที่ใช้ในเส้นทางสายหลักที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น

ถ้าจะให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันที่สม่ำเสมอตลอดไป เส้นทางที่มีความใกล้เคียงกันและคุณลักษณะของพาหนะ จะต้องได้รับการประเมินค่าโดยใช้มาตรฐานอันเดียวกัน ฉะนั้น ตารางและแผนภูมิทั้งหลายที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ประเมินคุณค่าของสะพานนี้ จะต้องใช้ได้กับสะพานทุกสะพานในประเทศ

5.2 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน

ผลการตรวจสอบของสะพานจะถูกแสดงโดยคะแนนที่ให้การตรวจสอบแต่ละ Component ของสะพาน ซึ่งประกอบไปด้วย ชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น พื้นสะพาน ตอม่อสะพาน และ Component อื่นๆ ตามที่ต้องการจะตรวจสอบ หลักการให้คะแนนในการตรวจสอบแต่ละ Component ของสะพานนั้น มีรายละเอียดดังแสดงไว้ในบทต่างๆ ในคู่มือเล่มนี้ โดยทั่วไปแล้วจะมีการจัดกลุ่มตามลักษณะสภาพของสะพาน โดยใช้คะแนนที่ได้จากการสำรวจ เช่น อาจจะทำให้สะพานที่ได้คะแนน 9 และ 7 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพ "ดี" และจัดให้สะพานที่ได้คะแนน 5 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพ "ดีปานกลาง" จัดสะพานที่ให้คะแนน 3 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพ "ทรุดโทรม" และ จัดให้สะพานที่ได้คะแนน 1 และ 0 อยู่ในกลุ่มที่มีสภาพเข้าขั้น "วิกฤต"

หลักการทั่วไปในการให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพานและ Components ของสะพานที่ได้รับการตรวจสอบสภาพด้วยตาเปล่า

คะแนน	รายละเอียด
9	สภาพดีมาก เหมือนใหม่
7	สภาพดี มีปัญหาเพียงเล็กน้อย
5	สภาพดีปานกลาง Component บางส่วนมีการชำรุด มีสภาพโดยรวมดีพอใช้
3	สภาพทรุดโทรม อย่างเห็นได้ชัด Component มีความเสียหายมากและมีผลกระทบต่อโครงสร้างหลัก อาจจำเป็นต้องปิดสะพาน เว้นแต่จะดำเนินการตรวจสอบโดยละเอียดจนกว่าจะได้รับการแก้ไข
1	สภาพวิกฤต Component ของสะพานได้ชำรุดอย่างสิ้นเชิง สะพานมีการเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งเดิมอย่างเห็นได้ชัด ต้องทำการปิดสะพาน ถ้าได้รับการแก้ไขแล้ว อาจเปิดให้ใช้งานเบาๆ ได้



0 สภาพวิบัติ Component ไม่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้เลย มีสภาพพังทลายเกินกว่าจะแก้ไขได้

การประเมินสภาพของสะพาน สามารถทำได้โดยการ ประเมินผลลักษณะทางกายภาพของสภาพที่ปรากฏเปรียบเทียบกับสภาพที่สร้างเสร็จใหม่ๆ โดยการใช้คำอธิบาย (Descriptive Rating) กับชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง หลังจากนั้นก็แปลความหมายให้เป็นการให้คะแนนเป็นตัวเลข (Numerical Condition Rating) และเมื่อได้คะแนนการประเมินสภาพชิ้นส่วนโครงสร้างเรียบร้อยแล้ว ลักษณะสภาพของ Component หลักนั้นๆ ของสะพานก็จะถูกประเมินสภาพโดยรวมอีกครั้งหนึ่ง (Overall Condition Rating) และให้ผลออกมาเป็นตัวเลขดังกล่าวไว้เบื้องต้นโดยเลือกคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นตัวระบุสภาพโดยรวมของ Component หลักของสะพาน

5.3 การรวบรวมข้อมูลและการบันทึก

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการบันทึกนี้ มีความสำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อมีการตรวจสอบสะพานขนาดใหญ่ และมีจำนวนมาก การเก็บบันทึกของการตรวจสอบควรมีกฎเกณฑ์และรูปแบบที่ได้มาตรฐานเพราะจะช่วยให้ง่ายต่อการศึกษาข้อมูล การวางแผน และการทำความเข้าใจกับสภาพของสะพาน

การเก็บบันทึกและรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบสะพาน ควรจะรวบรวมรายละเอียดของสิ่งต่อไปนี้

- ระบบการให้คำจำกัดความได้มาตรฐาน สำหรับการระบุ Condition ของชิ้นส่วน (Elements) หรือ Member ของสะพาน
- ภาพ Element หรือ Member ที่แสดงให้เห็นถึงสภาพปกติและสภาพที่มีความเสียหายของ Element หรือ Member
- Nomenclature ที่ได้มาตรฐาน ให้สำหรับชิ้นส่วนของ Component และส่วนประกอบของ Component ต่างๆ เหล่านั้น
- การแสดงรายการของภาพถ่าย
- คำบรรยายแบบย่อ ของสภาพทั่วไปและ Condition ของชิ้นส่วนนั้น

เมื่อรูปแบบของสมุดบันทึก ได้ถูกเลือกใช้ให้เป็นแบบการบันทึกผลการตรวจสอบสะพานแล้ว ข้อมูลต่างๆ ควรถูกบันทึกอย่างเป็นระบบ โครงร่างของการบันทึกสามารถดูได้จากตัวอย่างที่แนะนำดังต่อไปนี้

หน้าเริ่มต้น ในหน้าเริ่มต้นนี้ ควรจะมีข้อมูลต่างๆ ของสะพาน เช่น ชื่อสะพาน หมายเลขสะพาน สถานที่ตั้ง สิ่งที่สะพานตัดผ่าน ตำบล อำเภอ และจังหวัดที่สะพานตั้งอยู่นอกจากนี้ยังควรต้องมีการบันทึก วันที่ทำการตรวจสอบ ชื่อของผู้ทำการตรวจสอบ (บอกชื่อหัวหน้าทีมตรวจสอบ) เลขที่ของสมุดบันทึกสนาม อุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศ

สารบัญ เป็นรายการสารบัญของรายงานการตรวจสอบ

รูปแบบทั่วไป

- จะต้องจัดพื้นที่ให้มีภาพแสดงข้อมูล ผังของสะพาน รูปตั้งของสะพาน พื้นที่บริเวณสะพาน ลำน้ำ อุปกณ์หลักต่างๆ และส่วนประกอบอื่นๆ ที่ควรจะอยู่ด้วย
- ภาพแสดงส่วนพื้น (Deck) ของสะพาน ควรจะแสดงรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joints) รอยต่อก่อสร้าง (Construction Joints) ขอบทาง (Curbs) ทางเท้า (Sidewalks) แผงบัง (Parapets) และราวกันตก (Railings)
- ภาพแสดงโครงสร้างหลักควรจะแสดงทั้งภาพตัด (Cross-Section) แนวนอน (Plan) และรูปตั้ง (Elevation) ขึ้นส่วนต่างๆ ที่จะต้องมีหมายเลขกำกับ คือ ส่วนรับแรงแบกทาน (Bearings) ส่วนประกอบค้ำยันหลัก (Main Supporting Members) คานพื้น (Floor Beams) คานชอย (Stringers) ตัวยึด (Bracing) และแผงพืด (Diaphragms)

ภาพแสดงหน่วยประกอบต่างๆ ของ Substructure ของสะพาน ควรจะถูกแสดงไว้ด้วย ในบางกรณี ภาพแสดงหน่วยประกอบ (Units) ต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของ Substructure ก็เป็นการเพียงพอแล้ว ในแต่ละหน่วยประกอบของ Substructure ควรจะได้รับการกำหนดหมายเลข ซึ่งจะได้นำไปใช้เมื่อกล่าวถึงในหน้าบันทึกข้อมูลหลัก ขึ้นส่วนที่จะต้องมีการกำกับหมายเลข ควรจะรวมถึง เสาเข็ม ฐานราก เสาค้ำยันในแนวดิ่ง ค้ำยันในแนวข้าง และส่วนหุ้มหัว (Caps)

การกำหนดตำแหน่ง

การกำหนดตำแหน่ง ของ Component ต่างๆ นั้นมีความสำคัญมาก เช่น

- การกำหนดทิศทางของหน่วยของโครงสร้างส่วนกลางของสะพาน และคานของคานพื้น ซึ่งอยู่ใกล้/ไกล อยู่ด้านทิศเหนือ/ใต้/ตะวันออก/ตะวันตก หรือจะกำหนดให้แต่ละหน่วยของโครงสร้างรอง มีหมายเลขเฉพาะตัว เช่น ตอม่อริมหมายเลข 1 หรือ ตอม่อ กลางน้ำ หมายเลข #3 เป็นต้น
- ด้านข้างของ Member ของโครงสร้าง สามารถถูกระบุโดยใช้ทิศทางได้ (เช่น “ด้านทิศใต้ของคานพื้น หมายเลข 2” หรือ “ภาพตั้งด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของคานหมายเลข 4”)
- หมายเลขของช่วงสะพานและช่วงเสา ควรจะถูกกำหนดไว้เพื่อกำหนดพื้นที่ของสะพาน
- คานหรือคานชอยแต่ละตัว ควรจะถูกกำหนดให้มีหมายเลขกำกับ โดยเรียงจากซ้ายไปขวา
- การใช้ทิศทางของสายน้ำเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของ Component ของโครงสร้าง เช่น โครงเหล็ก ด้านบนของสายน้ำ หรือ คานประกอบด้านใต้ของสายน้ำ เป็นต้น
- สำหรับ Elements ของโครง Truss ให้ใช้หมายเลขของจุดต่อเป็นตัวระบุ Member

ถ้ามีการกำหนดทิศทางที่แตกต่างไปจากที่ได้ระบุไว้ในเอกสารที่มีอยู่ ก็ให้ทำการบันทึกไว้ให้ชัดเจนในสมุดบันทึกการตรวจสอบสะพาน

ต้องให้มีการกำหนดขนาดของสิ่งต่างๆ ให้ชัดเจนและเพียงพอเพื่อใช้ในการกำหนดและสร้างภาพตามขวาง และขนาดของ Component อื่นๆ ซึ่งรวมถึง



- คานหรือแผ่นพื้น – ความยาว ความกว้าง และความลึกของแต่ละคาน ระยะห่างระหว่างคานและความยาวของช่วงคาน
- เสาค้ำ – ความกว้างและความลึก (สำหรับเสารูปสี่เหลี่ยม) เส้นผ่านศูนย์กลาง (สำหรับเสากลม) ความยาว ระยะห่างและเสาเข็มเอียง
- หัวเข็มและค้ำยัน – ความกว้าง ความลึก ระยะห่าง และคานยัน

การระบุความชำรุดเสียหายที่พบ

ควรระบุรอยตำหนิที่ตรวจพบให้ตรงกับประเภทของรอยตำหนิ รอยตำหนิที่อาจเกิดขึ้นกับ Component ที่เป็นไม้

- การเสื่อมอายุ (Decay) – มีสาเหตุมาจากเชื้อราหรือแมลง
- การแตกในแนวรัศมี (Checks) – มีรอยแตกเป็นบางส่วน
- รอยแยก (Splits) – มีรอยแยกตลอดแนว
- ตาไม้ (Knots)
- รอยแตก (Cracks)
- รอยฉีก (Wear) – มีสาเหตุมาจากการจราจรหรือสาเหตุจากน้ำ

รอยชำรุดเสียหาย

รอยชำรุดเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในคอนกรีต ประกอบไปด้วย

- การหลุดออกเป็นแผ่นๆ (Delamination)
- การหลุดล่อน (Spalling)
- การตกรสเกิด (Scaling)
- รอยแตก (Cracks)
- เหล็กเสริมโผล่ออกมา (Exposed Bars or Strands)
- ร่องรอยที่เกิดจากการชน (Collision Damage)

รอยชำรุดเสียหายบางประเภทที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่เป็นโลหะนี้จะรวมถึง

- การเกิดสนิม หรือ เกิดการสูญเสียหน้าตัด (Corrosion or Section Loss)
- มีรอยแตก (Cracks)
- เกิดการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation)
- การชำรุดเสียหาย (Deficiencies)

การจำแนกรอยชำรุดเสียหาย

ในการบันทึกรายละเอียดของรอยตำหนินี้ ผู้ทำการตรวจสอบสะพาน จะต้องอธิบายถึงความสาหัสหรือระดับความสำคัญของรอยตำหนินั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น

- **ขนาดของรอยแตก** : ต้องมีรายละเอียดของความยาวและความกว้าง
- **การสูญเสียหน้าตัด** : จะต้องบันทึกขนาดของหน้าตัดส่วนที่เหลือ

นอกจากนี้ ผู้ตรวจสอบสะพานยังจะต้องบรรยายถึงปริมาณของรอยรอยตำหนิที่ตรวจพบ ยกตัวอย่างเช่น

- พื้นที่ของพื้นสะพานในช่วงที่ 1 มีการหลุดลอกของคอนกรีตเป็นจำนวนพื้นที่ 2.5 ตร.ม.
- พื้นผิวด้านตะวันออกของตอม่อกลางน้ำ มีการหลุดล่อน ถึง 25 % ของพื้นที่ทั้งหมด

ตำแหน่งของรอยชำรุด

จะต้องมีการระบุตำแหน่งของรอยตำหนิบนชิ้นส่วนหรือ Component ของสะพานอย่างชัดเจนเมื่อจะต้องทำการวิเคราะห์ถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน ยกตัวอย่างเช่น

- “อยู่ทางด้านซ้ายของส่วนแคว (Web) ของคาน อยู่ครึ่งส่วนด้านบน เป็นระยะ 3 นิ้ว จาก Bearing ด้านทิศเหนือ”
- “อยู่ด้านบนของปีกคานด้านบน ระยะจาก 7 ถึง 15 เซนติเมตร ที่ด้านทิศตะวันตกของ Pier หมายเลข 2”

ควรจะใช้จุดอ้างอิงที่มีอยู่อย่างถาวรเท่านั้น ไม่ควรใช้จุดอ้างอิงดังต่อไปนี้

- ที่ด้านต่างๆ ของ Expansion Rocker
- ระดับพื้นดิน โดยเฉพาะด้านที่อาจสัมผัสกับน้ำ
- ระดับน้ำ

5.3.1 การเตรียมตัว

การจัดทำตัวรายงานผลการสำรวจและตรวจสอบสะพานมีความต้องการบุคลากรที่ผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี และมีประสบการณ์เพียงพอที่จะตัดสินใจได้อย่างมีเหตุผลและมีประสิทธิภาพในการประเมินคุณลักษณะของสะพานที่พวกเขาได้ทำการสังเกตและตรวจสอบ และต้องสามารถทำการสรุปผลการสำรวจออกมาได้เป็นอย่างดี รายงานผลการสำรวจควรจะต้องแสดงให้เห็นถึงสภาพคุณลักษณะของ Component ของสะพานในปัจจุบัน รวมทั้งจุดอ่อนที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต นอกจากนั้นแล้ว รายงานผลการสำรวจตรวจสอบนี้จะเป็นสิ่งที่กำหนดพื้นฐานของการกำหนดจำนวนแรงงาน อุปกรณ์ ปริมาณวัสดุ และค่าใช้จ่ายที่จำเป็นต้องใช้ในการบำรุงรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างสะพาน

การตรวจสอบสะพานนี้จะไม่เสร็จสิ้นจนกว่ารายงานผลการตรวจสอบจะถูกจัดทำขึ้น รายงานการตรวจสอบที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยหลายๆ ส่วน ดังนี้



5.3.1.1 บทนำ

ส่วนนี้จะเป็นการบรรยายสรุปลักษณะทั่วไปของสะพาน

- ระบุรายชื่อ หมายเลข และตำแหน่งของสะพาน
- ระบุวันที่ทำการตรวจสอบ
- มีการเสนอแนะลำดับก่อนหลังของการซ่อมแซม Component สะพาน

5.3.1.2 ข้อมูลจำเพาะและประวัติของสะพาน

จะบอกข้อมูลเกี่ยวกับสะพานในส่วนของการออกแบบ การก่อสร้าง และการใช้งานของสะพานโดยทั่วไปและจะมีการระบุชนิดของ Superstructure ก่อน ตามมาด้วยชนิดของ Abutment และ Pier ถ้ามีข้อมูลของดินที่ฐานรากของสะพาน ความต้านทานแรงกดสูงสุด และความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีต ก็ให้รวบรวมมาด้วย ชนิดของแผ่นพื้นสะพาน ควรจะถูกระบุไว้เช่นกัน

ข้อมูลของการออกแบบ ควรจะมีรายละเอียดของสิ่งต่อไปนี้

- มุมเฉียงของสะพาน
- จำนวนช่องสะพาน
- ความยาวช่วงสะพาน
- ความกว้างผิวจราจร
- ความยาวทั้งหมดของสะพาน
- ชนิดของผิวจราจร
- ราวกันตล
- จำนวนช่องจราจร
- น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ
- ทางเดินของสายน้ำ
- สิ่งที่มาติดกับสะพาน
- ระยะห่างจากสิ่งปลูกสร้างอื่น
- สิ่งทีล่่วงล้ำสะพาน

วัน เดือน ปี ที่ทำการก่อสร้าง จะเป็นประวัติการก่อสร้างของสะพาน ซึ่งควรจะระบุวันก่อสร้างจริงเป็นครั้งแรกของสะพานและควรจะมีการระบุถึงวันที่ทำการซ่อมแซมหรือสร้างใหม่ ให้ระบุด้วยว่ามีแผนผังใดบ้างที่สามารถหามาได้ และแผนผังเหล่านั้นถูกเก็บไว้ที่ใด และเป็น “แบบก่อสร้างจริง” หรือไม่

ข้อมูลการใช้งานสะพาน ให้ระบุปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Average Daily Traffic-ADT) ทุกๆ 5 ปี หากมีสภาพแวดล้อมใดๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อสะพาน เช่น ละอองเกลือ ก๊าซจากการอุตสาหกรรม อุจจาระนก การจราจรของเรือและรถไฟ เป็นต้น ก็ให้ทำการบันทึกไว้ในรายงานด้วย

5.3.1.3 ลำดับขั้นตอนการตรวจสอบสะพาน

โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการดีถ้าสามารถจัดลำดับก่อนหลังของการตรวจสอบสะพานได้ ตามลักษณะของการถ่ายน้ำหนัก (เช่น ให้ตรวจสอบแผ่นพื้นสะพานก่อนแล้วจึงตรวจสอบ Superstructure และสุดท้ายคือ Substructure) คู่มือเล่มนี้ได้จัดลำดับของการตรวจสอบให้เป็นไปตามแนวทางนี้แล้ว

อย่างไรก็ตามในบางกรณีก็ไม่สามารถจัดเรียงลำดับก่อนหรือหลังของการตรวจสอบสะพานได้ อันเนื่องมาจากการจราจร และการปิดช่องทางจราจร และไม่ว่าการจัดลำดับก่อนหลังแบบไหนจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบก็ตาม ก็เป็นเรื่องสำคัญมากที่จะต้องบันทึกไว้ให้ละเอียด ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนเพื่อการตรวจสอบสะพานในอนาคต และก็เป็นสิ่งที่ใช้ในการตรวจเปรียบเทียบว่า ทุกๆ Element และ Component ของสะพานได้รับการตรวจสอบอย่างทั่วถึง ข้อมูลดังกล่าวนี้ ควรจะรวมถึง

- ลำดับของส่วนประกอบ (เช่น แผ่นพื้นสะพาน โครงสร้างส่วนบน โครงสร้างส่วนล่างและลำน้ำ)
- อุปกรณ์ที่ต้องการ (เช่น ค้อน ลูกตึง)
- อุปกรณ์ช่วยให้เข้าพื้นที่ทำงาน (เช่น เชือกและอุปกรณ์ช่วยปีน บันได)
- ข้อจำกัดของการจราจร (เช่น การปิดช่องทางจราจร คนโบกธง และเวลาของการปฏิบัติการ)
- วิธีการตรวจสอบ (เช่น การเจาะ และการใช้คลื่นอัลตราโซนิก)
- บุคลากร (เช่น จำนวนผู้เข้าร่วมทำการตรวจสอบ ผู้ชำนาญการ และคนขับเรือ)

เมื่อไม่มีแผนผังของสะพานและรายงานการตรวจสอบฉบับก่อนหน้านี้ ควรจะจัดทำแผนผังจากการวัดในสนามเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นของโครงสร้าง สิ่งจำเป็นสิ่งนี้อาจกระทบกับขั้นตอนของการตรวจสอบ

5.3.1.4 ผลของการตรวจสอบ

ควรจะมีการบรรยาย Condition ของสะพาน อย่างชัดเจนและเป็นไปตามลำดับของการตรวจสอบสะพาน ให้บันทึกสัญญาณบอกเหตุใดๆ ถึงความชำรุดเสียหาย การเสื่อมสภาพหรือการชำรุด อย่างถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้ผู้ที่ทำการตรวจสอบในอนาคต สามารถเปรียบเทียบสภาพของสะพานรวมทั้งสามารถเปรียบเทียบอัตราการเสื่อมของสะพานได้ ให้บันทึกน้ำหนักบรรทุก ความเร็วและขีดจำกัดทางการจราจรอื่นๆ ของสะพานด้วย รวมทั้งข้อมูลของระดับน้ำ และการบรรทุกที่ไม่ปกติ การซ่อมแซมใดๆ ของสะพานนับแต่การตรวจสอบสะพานครั้งล่าสุด ให้ทำการรับรองหรือวัดระยะและขนาดต่างๆ เมื่อมีการปรับปรุงสะพานหรือมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและระยะต่างๆ ของสะพาน ในการตรวจสอบสะพานแต่ละครั้งข้อมูลใหม่ของลำน้ำก็ควรจะถูกบันทึกไว้ด้วย เพื่อประโยชน์ในการตรวจหาการลบกัของร่อง จะต้องมีการบันทึกระดับความรุนแรงของการเสื่อมสภาพใดๆ ไว้โดยละเอียด ในกรณีฉุกเฉิน ผู้ทำการตรวจสอบควรจะทำการศึกษาติดต่อผู้ให้คำปรึกษาในการตรวจสอบ (Inspection Supervisor) และตัวแทนของเจ้าของสะพานโดยทันที



5.3.1.5 บทสรุป

รายงานผลการตรวจสอบสะพานที่ดี ควรจะมีคำอธิบายรายละเอียดของชนิดและขอบเขตของการเสื่อมสภาพของสะพานที่ตรวจสอบ และควรที่จะบ่งชี้ถึงวิธีการในการลดสถานะการเสื่อมสภาพนั้น อีกทั้งวิธีการปรับปรุงแก้ไขที่เทียบเท่าได้กับแผนการของ “แบบก่อสร้างจริง” ได้ ให้ระลึกไว้เสมอว่าลักษณะสถานะของการเสื่อมสภาพทุกๆ สถานะไม่จำเป็นต้องมีความสำคัญเท่าเทียมกัน ยกตัวอย่างเช่น รอยแตกในคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง ซึ่งทำให้น้ำเข้ามาได้ ก็จะต้องถือว่ามีความรุนแรงมากกว่ารอยแตกในแนวตั้งในผนังด้านหลังหรือการหลุดล่อนที่บริเวณมุมของกำแพง

ในการเขียนสรุปผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องรายงานผลความรุนแรงของการชำรุดหรือการเสื่อมสภาพที่เกี่ยวข้อง ประสิทธิภาพและการตัดสินใจของผู้ทำการตรวจสอบมีส่วนสำคัญในการแปลความหมายของผลการตรวจสอบ ซึ่งจะต้องเป็นไปด้วยความสมเหตุสมผล และไม่เกินจริง บทสรุปเป็นหัวใจของรายงานการตรวจสอบสะพาน การสรุปที่ไม่เหมาะสมและได้รับข้อมูลที่ผิดๆ จะนำไปสู่การให้คำแนะนำที่ไม่เหมาะสม ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องสวมบทบาทของนักสืบเพื่อสรุปว่า ทำไม อย่างไร และเมื่อไรที่รอยชำรุดได้เกิดขึ้นจริงๆ เมื่อผู้ทำการตรวจสอบไม่สามารถตีความหมายของข้อมูลที่ค้นพบได้ ก็ควรจะขอรับคำปรึกษาจากผู้ที่มีประสบการณ์สูงกว่า

5.3.1.6 การให้คำแนะนำ

คำแนะนำที่ให้โดยผู้ทำการตรวจสอบนั้นจะเป็นจุดสำคัญของกระบวนการของการตรวจสอบ การบันทึก และการรายงาน เอกสารของการตรวจสอบนี้มีความจำเป็นสำหรับการให้คำแนะนำที่เข้าใจได้และสามารถนำไปปฏิบัติได้ เพื่อการแก้ไขการชำรุดเสียหายได้อย่างถูกต้อง

หลักการปฏิบัติสำหรับงานซ่อมบำรุง การวิเคราะห์ Stress และ Posting การตรวจสอบเพิ่มเติม และงานซ่อมต่างๆ ควรจะถูกรวมไว้ในรายงานส่วนนี้ ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องพิจารณาประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมแซมและผลกระทบที่ตามมา ถ้าไม่ทำการซ่อมแซม ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องจำแนกและเรียงลำดับความเร่งด่วน และความจำเป็นที่จะต้องดำรงสภาพทั้งความสมบูรณ์ของโครงสร้างและความปลอดภัยต่อสาธารณะ

คำแนะนำสำหรับการซ่อมแซม อาจแบ่งออกเป็นได้ 2 ประเภท คือ

- การซ่อมแซมเร่งด่วน
- การซ่อมแซมตามระยะเวลา (คือจำพวกที่สามารถทำในภายหลังได้)

ผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องตัดสินใจว่า การซ่อมใดเป็นประเภทเร่งด่วน โดยปกติแล้ว จะทำได้ไม่ยากนัก แต่ก็ต้องอาศัยความรู้ความสามารถในการตัดสินใจและประสบการณ์ของวิชาชีพด้านวิศวกรรม เพื่อจะให้ตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม ช่องโหว่บนพื้นสะพานนั้นจำเป็นต้องได้รับการดูแลอย่างดี และควรจะได้มีคำแนะนำเพื่อการซ่อมแซมประเภทเร่งด่วน ในทางกลับกัน การชำรุดเสียหายของแผ่นเหล็กประกบ (Gusset Plate) ในช่วงหนึ่งของโครง Truss อาจจะไม่รุนแรงนัก สภาพเช่นนี้ก็ควรที่จะแนะนำให้เป็นการซ่อมแซมตามระยะเวลา

คำแนะนำที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมที่เสนอมาโดยผู้ตรวจสอบสะพานนี้ จะอยู่ในส่วนของการซ่อมแซมและการซ่อมบำรุง (ซึ่งจะถูกจัดเข้าไปในตารางของการซ่อมแซม) เมื่อใดก็ตามที่มีคำแนะนำให้ทำการซ่อมแซม ผู้ทำการตรวจสอบจะต้องบรรยายอย่างละเอียดถึงชนิดของการซ่อมแซมที่ต้องการ ขอบเขตของงานและประมาณการปริมาณของวัสดุที่ต้องการใช้

5.3.1.7 ภาคผนวก

ในภาคผนวกควรจะได้มีการรวมข้อมูลสำรองไว้เพื่อนำไปใช้เป็นหลักฐานประกอบการตัดสินใจและการให้คำแนะนำของผู้ทำการตรวจสอบ อย่างน้อยที่สุดภาคผนวกควรมีรูปถ่าย รูปเขียน แบบร่างต่างๆ และ แบบฟอร์มการสำรวจสะพาน นอกจากนี้ยังสามารถรวมสมุดบันทึกสนาม และรายงานพิเศษด้านต่างๆ เช่น น้ำใต้ดิน การทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) และข้อมูลการสำรวจ

รูปถ่าย รูปถ่ายจะสามารถช่วยได้มากในการแสดงให้เห็นบุคคลที่ตรวจดูรายงานโครงสร้างของสะพานภาพถ่ายของพื้นที่และชิ้นส่วนที่เสียหาย ควรจะมีคำบรรยายไว้อย่างชัดเจน ควรต่อภาพไว้หลายๆ ภาพ ซึ่งอาจดูเหมือนว่าไม่จำเป็นนัก แต่ก็ดีกว่าการมองข้ามไปแม้สักครั้งหนึ่ง ซึ่งจะเป็นการช่วยขจัดการตีความที่ผิดและความเข้าใจผิดต่างๆ ในรายงานให้หมดไปได้

ควรถ่ายภาพอย่างน้อย 2 ภาพ ของทุกๆ ส่วนของโครงสร้าง ภาพหนึ่งควรจะให้เห็นโครงสร้างโดยมองจากถนน (หรือเส้นทางสัญจร) และอีกภาพหนึ่ง ควรจะเป็นภาพด้านข้างของโครงสร้างในแนวตั้ง (Elevation)

ภาพเขียนแบบร่าง ควรจะมีการกำหนดส่วนต่างๆ ได้อย่างอิสระเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นภาพและบ่งชี้ถึงลักษณะสภาพของชิ้นส่วนของโครงสร้างภาพเขียนประกอบที่มีความชัดเจน จะสามารถช่วยได้มากในการตรวจสอบในอนาคตเพื่อกำหนดกระบวนการเกิดของการชำรุดเสียหาย และยังช่วยในการกำหนดรูปแบบและขนาดสภาพเปลี่ยนแปลงต่างๆ ด้วย

แบบฟอร์มการตรวจสอบ ควรจะมีการบันทึกข้อมูลจริงในภาคสนามอยู่ในแบบฟอร์มการตรวจสอบด้วย เช่นเดียวกับการให้คะแนนเป็นตัวเลขที่บอกผลการประเมินสภาพ และการเสนอแนะใดๆ จากผู้ทำการตรวจสอบแบบฟอร์มการตรวจสอบสะพานนี้ จะต้องได้รับการเซ็นรับรองโดยหัวหน้าชุดตรวจสอบสะพานเท่านั้น

5.4 ความสำคัญของรายงาน

รายงานผลการตรวจสอบสะพานนี้ หากได้รับการจัดทำขึ้นอย่างถูกต้องเหมาะสมแล้ว จะเป็นเอกสารอันทรงคุณค่า ควรจะให้มีการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบสะพานฉบับใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการตรวจสอบสะพาน และเพื่อให้รายงานผลการตรวจสอบนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรจะได้รับการรวบรวม ภาพวาดแบบร่าง ภาพถ่าย และข้อมูลเสริมการอธิบายอื่นๆ ไว้ในรายงานด้วย ตัวรายงานและข้อมูลเสริมเหล่านี้จะต้องมีความถูกต้องแม่นยำ การบรรยายหรือคำอธิบายต่างๆ จะต้องมีความชัดเจนและรวบรัด

รายงานที่มีการจัดทำขึ้นเป็นอย่างดีนั้น ไม่เพียงแต่จะให้ข้อมูลของลักษณะและสภาวะของสะพานเท่านั้นแต่จะกลายเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงได้เป็นอย่างดีสำหรับการตรวจสอบ การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ และการศึกษาโครงการสะพานที่จะมีขึ้นในอนาคต

สภาพใดๆ ของสะพานที่น่าสงสัย แต่ยังไม่ชัดเจน ควรจะได้รับการรายงานอย่างตรงไปตรงมาและให้หลีกเลี่ยงการคาดเดาในทุกกรณี การกระทำใดๆ ที่เกี่ยวกับรายงานนั้น จะได้รับการตัดสินหลังจากที่ผู้มีประสบการณ์มากกว่าได้ทำการตรวจสอบและให้คำปรึกษาแล้ว



ในการเตรียมทำรายงาน พี่งระลึกไว้เสมอว่าการจัดสรรงบประมาณในการซ่อมแซมหรือฟื้นฟูสภาพของสะพาน นั้น จะขึ้นอยู่กับข้อมูลในตัวรายงาน มากไปกว่านั้นแล้ว รายงานการตรวจสอบนี้ยังเป็นเอกสารทางกฎหมาย ซึ่งอาจจะเป็น ส่วนประกอบสำคัญในการมีคดีความกันได้ ภาษาที่ใช้ในรายงานควรจะต้องมีความชัดเจนและรวบรัด ควรใช้ถ้อยคำให้เป็น อันหนึ่งอันเดียวกัน และให้เหมือนกันเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความหมายที่คลุมเครือและกำกวม ข้อมูลที่อยู่ใน รายงานการตรวจสอบนี้เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสืบหาข้อมูลในภาคสนาม ซึ่งมีหลักฐานอ้างอิงมาจาก แผนผังของ “แบบ ก่อนสร้างจริง” หรือ “แผนผังการตรวจสอบในพื้นที่” ควรจะระบุที่มาของข้อมูลต่างๆ ไว้อย่างชัดเจน

5.4.1 พื้นที่วิกฤต

จุดประสงค์ของรายงานการตรวจสอบ คือ การให้แนวทางสำหรับการตรวจสอบหรือการกระทำอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยทันที รายงานการตรวจสอบจะให้ข้อมูลที่อาจจะนำไปสู่การตัดสินใจถึงข้อจำกัดในการใช้สะพาน หรือการสั่งให้ปิด การจราจรของสะพานที่การตรวจสอบได้ระบุว่าเป็อันตรายเป็นอันตรายต่อสาธารณะ

5.4.2 การซ่อมบำรุง

จุดประสงค์อีกอย่างหนึ่งของรายงานการตรวจสอบคือ การให้ข้อมูลถึงความจำเป็นและความมีประสิทธิภาพ ของ การซ่อมบำรุงตามระยะเวลา แผนการซ่อมบำรุงสะพานที่ดีจะมีความสำคัญมากต่อความสมบูรณ์ของโครงสร้างสะพานใน ระยะยาว รายงานการตรวจสอบสะพานจะสามารถทำให้การซ่อมบำรุงสะพานนั้นได้รับการวางแผนที่ดีและมีประสิทธิภาพ มากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจพบ การชำรุดเสียหายและการเสื่อมสภาพของสะพานได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการ ซ่อมบำรุงลดลง

5.4.3 การวิเคราะห์การให้คะแนนความสามารถในการรับน้ำหนัก

เมื่อรายงานการตรวจสอบได้บรรยายถึงการชำรุดเสียหายหรือการเสื่อมสภาพของสะพาน ที่อาจจะมีผลกระทบต่อ ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน จะต้องให้มีการทบทวนการวิเคราะห์ Stress อีกครั้ง การวิเคราะห์ Stress นี้จะทำให้สามารถกำหนดความสามารถบรรทุกน้ำหนักปลอดภัยได้ สำหรับ Condition ในปัจจุบันของสะพาน ซึ่งก็ อาจมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดขีดจำกัดน้ำหนักบรรทุกที่จะข้ามสะพานนั้น เพื่อให้เกิดความสามารถในการรับ น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย และเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะให้มีรายการคำนวณของการวิเคราะห์ความสามารถในการรับ น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย รวมไว้ในแฟ้มของโครงสร้างสะพานด้วย

5.4.4 คุณภาพ

ความถูกต้องแม่นยำและความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ของข้อมูลที่รวบรวมได้และบันทึกไว้ นี้ เป็นสิ่งสำคัญมาก ต่อการบริหารการฟื้นฟูสภาพของสะพาน การซ่อมบำรุง การทดแทนและความปลอดภัยซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด

“คุณภาพ” ไม่ใช่สิ่งที่จะมองข้าม ทั้งนี้ความรับผิดชอบในการให้ความรับรองในคุณภาพของการตรวจสอบ สะพาน เป็นหน้าที่ของผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ดูแลเรื่องนี้ การปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพ จะถูกกำหนดโดยชุดตรวจสอบ สะพานหลายๆ ทีม เมื่อก้าวในเรื่องของคุณภาพ บ่อยครั้งที่มักจะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ

- การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)
- การรับรองคุณภาพ (Quality Assurance)

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

การควบคุมคุณภาพ เป็นกระบวนการเสริมของขั้นตอนที่มีเจตนาที่จะรักษาไว้ซึ่งคุณภาพของการตรวจสอบในระดับที่ได้กำหนดไว้ และให้เป็นมาตรฐานอันเดียวกันทั่วประเทศ

การรับรองคุณภาพ (Quality Assurance)

การรับรองคุณภาพ เป็นการประกาศรับรองระดับของการตรวจสอบสะพาน โดยจะรวบรวมขึ้นโดย การตรวจสอบอีกครั้ง กับสะพานตัวอย่างโดยทีมตรวจสอบอิสระอีกทีหนึ่ง

คุณภาพของการตรวจสอบสะพาน และการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบโดยหลักๆ แล้วจะขึ้นอยู่กับหัวหน้าชุดตรวจสอบและสมาชิกในชุดตรวจสอบ รวมทั้งความรู้และความเป็นมืออาชีพของพวกเขาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ที่มีคุณภาพ กำหนดการของการควบคุมคุณภาพและการรับรองคุณภาพนี้ เป็นสิ่งที่จัดทำขึ้นโดยการสุ่มตรวจสอบ การทบทวน และการประเมินค่า เพื่อให้มีการตรวจสอบที่ตระหนักถึงคุณภาพและความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของกำหนดการตรวจสอบสะพานของทั่วประเทศ การตรวจสอบนั้นจะถูกนำไปใช้ในการฝึกผู้ที่จะทำการตรวจสอบสะพานและเพื่อคุณภาพของรายงานผลการตรวจสอบสะพาน

แนวทางการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ

6.1 การตรวจสอบพื้นสะพาน (Deck Inspection)

วัตถุประสงค์หลักของพื้นสะพาน (Deck) คือให้ทำหน้าที่ให้พื้นที่ผิวการจราจร และให้การกระจายน้ำหนักบรรทุกของการจราจรและน้ำหนักของ Deck เองลงสู่ Components ต่างๆ ของ Superstructure หน้าที่การใช้งานหลักของพื้นสะพานนี้จะถูกกำหนดโดยขึ้นอยู่กับว่า Deck เป็นแบบผสม (Composite) หรือเป็นแบบไม่ผสม (Non-Composite)

6.1.1 ชนิดของพื้นสะพาน

6.1.1.1 พื้นสะพานแบบผสม (Composite Deck)

พื้นสะพานแบบผสมจะถูกออกแบบให้ส่วนของ Deck รวมตัวกับ Components ของส่วนที่รองรับ ซึ่งจะทำให้ส่วนที่ประกอบขึ้นนี้มีพฤติกรรมทางโครงสร้างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน เสมือนกับว่าเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างเพียงชิ้นเดียว ไม่เพียงแต่ช่วงของพื้นสะพานแบบผสมจะอยู่ระหว่างจุดรองรับเท่านั้น แต่ก็ยังคงที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของ Superstructure และเพิ่มความยาวช่วงอีกด้วย ในการออกแบบสะพานส่วนใหญ่จะออกแบบให้เป็นพื้นสะพานแบบผสม และส่วนใหญ่ก็จะเป็นการใช้ร่วมกันของคานกรีตและคานเหล็ก (Beam & Girders)

6.1.1.2 พื้นสะพานแบบไม่ผสม (Non-Composite Deck)

พื้นสะพานแบบไม่ผสมพื้นสะพานจะไม่ทำหน้าที่ร่วมกับชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ แต่จะทำหน้าที่เพียงแค่ว่าเป็นช่วงของพื้นที่อยู่ระหว่าง Superstructure และให้พื้นผิวการจราจรเท่านั้น

6.1.1.3 การชำรุดของพื้นสะพาน (Damages of Deck)

การชำรุดของ Deck จะมีหลายประเภทและมีสาเหตุมาจากหลายๆ สิ่งด้วยกัน เนื่องจากส่วน Deck จะเป็นส่วนที่สัมผัสกับการจราจรโดยตรง Deck จึงต้องเกิดการ Wear และ Abrasion หรือความเสียหายจากการชน (Impact Damage) เช่น การบรรทุกน้ำหนักเกินขีดจำกัด



นอกจากนี้แล้ว Deck ยังต้องเกิดความชำรุดเสียหายจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม เช่น ละอองน้ำทะเล การเกิดน้ำแข็ง ความชื้นจากหิมะและฝน สารเคมี เชื้อรา เป็นต้น

สารที่ใช้ละลายน้ำแข็งและวัสดุที่ใช้กันลื่น ที่ใช้เทลงบนพื้นสะพาน ซึ่งมีส่วนของคลอไรด์ ทรายผสม กรวด และ Cinders และทำที่สุด ความผิดพลาดในการออกแบบและการก่อสร้าง เช่น การใช้หลักการออกแบบที่ไม่เหมาะสม การเสริมเหล็กไม่เพียงพอ การถอดแบบก่อนกำหนด การผสมคอนกรีตที่ไม่ดี การจี้คอนกรีตไม่เหมาะสม เป็นต้น ล้วนแต่มีผลทำให้พื้นผิวสะพานเกิดการชำรุดเสียหายได้ทั้งสิ้น

การที่พื้นผิวสะพานต้องกระทบกับสภาพอากาศตลอดเวลา ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการชำรุดของสะพาน น้ำหนักบรรทุกจากการจราจร ก็เป็นอีกสาเหตุทำให้ Deck เสียหายได้เช่นกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผิวชั้นบนสุด (Wearing Surface) จึงต้องถูกนำมาใช้ในการสร้างชั้นผิวต่างๆ ของ Deck ผิวถนนชั้นบนสุด (Wearing Surface) หรือที่ถูกรเรียกว่า Overlay จะเป็นชั้นบนสุดของวัสดุที่นำมาทำเป็นผิวพื้นสะพาน สำหรับผิวถนนพื้นผิวชั้นนี้ทำให้มีความนุ่มนวลในการขับขี่ และยังป้องกันไม่ไห้ส่วน Deck ได้รับความเสียหายที่เกิดจากสภาพอากาศและการจราจร ผิวถนนชั้นบนสุด Wearing Surface จะมีความแตกต่างกันไป โดยจะขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุที่ใช้สร้างสะพานว่าเป็น คอนกรีต เหล็ก หรือไม้

6.1.1.4 พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต (Concrete Deck)

คอนกรีตจะเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ก่อสร้างเป็นพื้นสะพาน คอนกรีตมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เอื้อให้สามารถสร้างแบบชิ้นส่วนได้หลายๆ แบบ ทั้งขนาดและรูปร่าง อันจะเป็นผลให้ผู้ทำการก่อสร้างสะพานสามารถปฏิบัติงานก่อสร้างด้วยวิธีหลากหลาย

6.1.1.4.1 การผสมผสาน

โดยทั่วไปแล้ว พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีตจะถูกนำมาใช้เมื่อต้องการโครงสร้างส่วนบน เกิดการผสมผสานกัน (Composite Action) ยกตัวอย่างเช่น การใช้พื้นคอนกรีตซึ่งหล่อในที่ให้เชื่อมต่อกับคานเหล็ก คานคอนกรีตอัดแรงหรือกับพื้นที่เป็นหลัก โดยใช้หมุดเสริมกันแรงเฉือน (Shear Connector) พื้นสะพานที่หล่อล่วงหน้า (Precast) ก็สามารถทำให้เกิดการผสมผสานกันได้เช่นกัน โดยจะต้องใช้ตัวเชื่อมที่เป็นปูน (Grout Pockets) ซึ่งก็ทำหน้าที่เป็นตัวหมุดลดแรงเฉือน

นอกจากจะช่วยกระจายน้ำหนักบรรทุกทั่วไปแล้ว พื้นสะพานคอนกรีตผสมกันก็ยังช่วยทำหน้าที่รับน้ำหนักและถ่ายเทลงสู่โครงสร้างส่วนบนต่อไป ส่วน Deck ที่ไม่มีการผสมผสานกัน (Non-Composite Deck) นั้นจะถูกสมมติว่าไม่ได้ช่วยถ่ายเทน้ำหนักสู่โครงสร้างส่วนบนแต่อย่างใด

6.1.1.4.2 เหล็กเสริม

เนื่องจากคอนกรีตจะรับแรงดึงได้น้อยมาก ฉะนั้นจึงต้องมีการเสริมเหล็กไว้เพื่อรับแรงดึง เหล็กเสริมนี้อาจเป็นได้ทั้งเหล็กเส้นกลมหรือเหล็กข้ออ้อยซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กและคอนกรีตได้ดีกว่า และเนื่องจากการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเป็นสาเหตุสำคัญในการชำรุดเสียหายของสะพาน ฉะนั้นเหล็กเสริมจึงต้องผ่านการชุบสังกะสี หรือทาห้ด้วยสาร Epoxy เสียก่อน



รูปที่ 6-1 การขำรดของพื้นสะพานคอนกรีต แสดงให้เห็นว่า เหล็กเสริมหลักมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการจราจร

ผู้ทำการตรวจสอบสะพานจะต้องสามารถบ่งชี้ทิศทางของแรงดึงในเหล็กเสริมเพื่อประมาณค่าของรอยแตกร้าวต่างๆ บนพื้นสะพาน เหล็กเสริมหลักจะถูกจัดให้ตั้งฉากกับจุดรองรับของพื้นสะพาน ยกตัวอย่างเช่น จุดรองรับของสะพานที่มีคานหลายๆตัว หรือพื้นที่ที่มีคานซอย จะอยู่ขนานกับทิศทางของจราจร ฉะนั้นเหล็กเสริมต่างๆ จึงต้องอยู่ในทิศตั้งฉากกับทิศทางของการจราจร แต่ถ้าเป็นพื้นสะพานแบบเป็นพื้นและคาน จุดรองรับน้ำหนักจะตั้งฉากกับทิศทางการจราจร เหล็กเสริมหลักของพื้นสะพานจึงต้องขนานกับทิศทางจราจร

เหล็กเสริมหลักจะมีขนาดใหญ่กว่าเหล็กเสริมเพื่อรองรับผลกระทบด้านอุณหภูมิและการหดตัว อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การออกแบบและการก่อสร้างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เหล็กเสริมในพื้นที่คอนกรีตจะต้องมีขนาดเท่ากับทั้งส่วนล่างและส่วนบนของพื้น และมีระยะหุ้มเหล็กอย่างน้อยประมาณ 5 เซนติเมตร สำหรับคอนกรีตหล่อในที่และอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร สำหรับคอนกรีตหล่อล่วงหน้า (Precast)

พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต จะมี 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ [Reinforced Cast-in-Place (CIP)]
- คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast)
- คอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จรูป แล้วมีคอนกรีตทับหน้าเป็นคอนกรีตหล่อในที่

6.1.1.4.3 คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่

สำหรับพื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต จะสามารถทำการหล่อในที่ได้ โดยจะมีการทำแบบหล่อคอนกรีตและเมื่อปัมคอนกรีต วิธีการนี้จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีรูปร่างและตำแหน่งที่ถูกต้อง แบบที่ใช้เพื่อหล่อคอนกรีตจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ แบบที่เคลื่อนย้ายออกได้ กับแบบที่อยู่กับที่

แบบที่เคลื่อนย้ายออกได้ จะเป็นวัสดุจำพวกไม้ หรือพลาสติกที่เสริมด้วยไฟเบอร์กลาส แบบประเภทนี้สามารถทำการเคลื่อนย้ายออกได้ เมื่อทำการปัมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว



แบบที่ยู่กับที่ พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต ที่ทำการหล่อในที่มักจะถูกค้ำยันที่ด้านล่างโดยแบบสำเร็จรูป แบบเหล่านี้จะเป็นแผ่นโลหะที่จะอยู่กับระบบพื้นต่อไปโดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายออก หลังจากที่บ่มคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว

6.1.1.4.4 พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ทำการผลิต ณ แหล่งผลิต เหล็กที่เสริมอาจจะเสริมเสริมธรรมดาหรือลวดเหล็กอัดแรง (Prestressed) พื้นคอนกรีตสำเร็จรูปจะถูกนำไปติดตั้งบนสะพานเพื่อให้เป็นระบบพื้นสะพานต่อไป

การติดตั้งใ้ระบบพื้นสะพานนี้ อาจจะทำได้โดยการใช้ตัวยึด (Clips) ซึ่งจะทำหน้าที่ยึดแผ่นพื้นสำเร็จรูปนี้กับคานชอย (Stringers) อีกวิธีการหนึ่งที่ได้ก็คือ การเว้นช่องว่างไว้ในแต่ละชั้นส่วนของแผ่นพื้นสำเร็จรูป เพื่อที่จะใส่ตัวหมุดรับแรงเฉือน แผ่นพื้นสำเร็จรูปจะถูกติดตั้งเหนือตัวหมุดรับแรงเฉือน และช่องว่างที่เตรียมไว้ก็จะถูกเติมด้วยคอนกรีตหรือปูน Grout (น้ำปูน)

6.1.1.4.5 พื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป และคอนกรีตทับหน้าหล่อในที่

ชิ้นส่วนพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปจะถูกวางลงบนคานชอย (Stringers) เพื่อทำหน้าที่เป็นแบบเพื่อหล่อคอนกรีตทับหน้า หลังจากที่ยบ่มคอนกรีตทับหน้าเรียบร้อยแล้ว ทั้งสองส่วนนี้ก็จะทำงานร่วมกันเพราะเป็นโครงสร้างแบบผสม (Composite)

6.1.1.5 ผิวถนนชั้นบนสุด (Wearing Surface) ของพื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต

โดยส่วนใหญ่แล้ว พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต จะมีพื้นผิวถนนชั้นบนสุด Wearing Surface ที่ทำด้วย คอนกรีตหรือแอสฟัลท์ (Asphalt)

6.1.1.5.1 คอนกรีต

พื้นถนนชั้นบนสุดที่เป็นคอนกรีต จะมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบเนื้อเดียวกันกับแบบเททับหน้า (Integral & Overlays) พื้นถนนที่เป็นคอนกรีตแบบเนื้อเดียวกันจะถูกหล่อพร้อมๆ กับพื้นสะพานและมักจะเพิ่มความหนาของพื้นสะพานขึ้นอีกประมาณ 1.25 เซนติเมตร ส่วนพื้นถนนที่เป็นแบบเททับหน้า จะถูกหล่อในที่ภายหลังจากที่หล่อพื้นสะพานคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว พื้นถนนคอนกรีต บางแห่งจะทำผิวหน้าให้เป็นร่องเล็กๆ ในแนวขวางหลายๆ ร่อง เพื่อให้มีการเกาะถนนที่ดีขึ้น ร่องเล็กๆ เหล่านี้สามารถทำได้โดยใช้ปลายคราด คุรูดไปบนผิวคอนกรีตในขณะที่ผิวคอนกรีตยังไม่แข็งตัวเต็มที่ ถ้าคอนกรีตได้รับการบ่มไปเรียบร้อยแล้ว ก็จะใช้เลื่อยฟันเพชรตัดเองก็ได้

พื้นถนนคอนกรีต แบบเททับหน้าจะมีอยู่ 3 ประเภท

- **คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวต่ำ (Low Sharp Deuce Concrete) LSCD** : จะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำมาก
- **คอนกรีตผสมโพลีเมอร์ (Polymer Modified Concrete)** : จะเป็นการผสมกับระหว่างคอนกรีตสดกับสารแขวนลอยโพลีเมอร์ (Polymer Emulsion) หรือเป็นที่รู้จักทั่วไปว่า คอนกรีตลาเท็กซ์ (Latex-Modified Concrete) หรือ LMC LMC เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่มีส่วนผสมของลาเท็กซ์ อยู่ 15 % ของน้ำหนักของซีเมนต์

- คอนกรีตที่ได้รับการซีลภายใน (Internal Sealed Concrete)

ข้อแตกต่างระหว่าง LSCD และ LMC ที่เห็นได้ชัด ก็คือ คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวต่ำ จะใช้วัสดุราคาไม่แพง แต่จะมีความยากในการทำงาน (หล่อ) และยังจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์บดแต่งพิเศษ ในทางกลับกัน คอนกรีตผสมลาเท็กซ์จะใช้วัสดุที่มีราคาแพง แต่ก็ใช้แรงงานคนน้อยกว่า และใช้อุปกรณ์ในการทำงาน เหมือนกับงานคอนกรีตทั่วไป

คุณภาพของ LMC อยู่ในระดับที่น่าพอใจ ถึงแม้ว่าในบางกรณีจะมีรอยร้าวและมีรายงานของการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว สาเหตุของข้อบกพร่องดังกล่าวเนื่องมาจากการบ่มที่ไม่เหมาะสม การทำงานภายใต้อุณหภูมิที่สูงหรือการยึดหดตัวเนื่องจากมีค่าการยุบตัวที่สูง

พื้นคอนกรีตทับหน้าที่เป็นคอนกรีตแบบ Seal ภายใน จะมีส่วนประกอบของอนุภาคของโพลีเมอร์ที่หลอมได้ (Fusible Polymer) ในการผสมคอนกรีต หลังจากบ่มคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว จะมีการหลอมอนุภาคของโพลีเมอร์ชนิดนี้ผสมเข้าไปด้วยซึ่งกระบวนการนี้จะช่วย Seal เนื้อคอนกรีต และปกป้องคอนกรีตจากผลกระทบของความชื้นและสารเคมีต่างๆ

6.1.1.5.2 แอสฟัลท์ (Asphalt)

พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต สามารถมีพื้นถนนที่เป็นยาง Asphalt ได้ เมื่อมีการเท Asphalt ลงบนพื้นคอนกรีต จะต้องมีการวางแผ่นกันน้ำ (Waterproof Membrane) ลงบนแผ่นคอนกรีตก่อนเพื่อป้องกันผลกระทบจากน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยน้ำจะไปไหลซึมผ่านชั้นของ Asphalt แต่กระนั้นก็ตาม ความพยายามในการป้องกันน้ำ โดยวิธีใช้แผ่นกันน้ำนี้ก็ไม่ได้ผลเสมอไป

6.1.1.5.3 ตำแหน่งที่จะตรวจสอบและขั้นตอนของการตรวจสอบ

จะต้องมีการตรวจสอบพื้นผิวคอนกรีตทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อค้นหารอยแตก การแยกตัวและการหลุดล่อนของคอนกรีต การเป็นสนิมของเหล็กเสริม การถูกกัดกร่อนโดยสารคลอไรด์ การกะเทาะและเสียหายต่างๆ ตำแหน่งที่สำคัญๆ ของพื้นสะพานคอนกรีต มีดังต่อไปนี้

- บริเวณที่สัมผัสกับการจราจรโดยตรง ให้ตรวจสอบการชำรุดเสียหาย การแยกตัว การเสื่อมออก และการหลุดล่อน
- บริเวณที่สัมผัสกับการระบายน้ำ ให้ตรวจสอบหาความเสียหายต่างๆ ไปของคอนกรีต
- บริเวณที่รับแรงแบกทานและแรงเฉือน หรือบริเวณที่พื้นสะพานคอนกรีตถูกรองรับอยู่ ให้ตรวจสอบหาการหลุดล่อนและการแตกโดยแรงอัด
- บริเวณรอยต่อมีสลักรับแรงเฉือนของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ให้ตรวจสอบหารอยแตกและความเสียหายอื่นๆ
- บริเวณด้านบนของพื้นที่ถูกรองรับอยู่ ให้ตรวจสอบหารอยแตกเนื่องมาจากแรงดัด
- บริเวณด้านล่างของพื้นที่อยู่ระหว่างจุดรองรับ ให้ตรวจสอบหารอยแตกเนื่องจากแรงดัด
- บริเวณด้านบนและด้านล่างของแผ่นพื้นที่อยู่ในพื้นที่ของโมเมนต์ลบของ Superstructure ให้ตรวจสอบหารอยแตกเนื่องมาจากแรงดัดตามขวาง



- แบบที่อยู่กับที่ ให้ตรวจสอบหาการชำรุดเสียหายและการเกิดสนิมของแบบนั้น เพราะมักจะบ่งบอกถึงการเกิดการเจือปนของพื้นสะพานคอนกรีต แบบเหล่านี้มักจะเก็บความชื้นและสารประเภทคลอไรด์ ซึ่งสามารถซึมลึกเข้าไปในรอยแตกคอนกรีตได้จนสุดความลึก (Full Depth Penetration)
- บริเวณแท่นยึดของเหล็กยึดในชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Anchorage Zone) ให้ตรวจสอบหาการชำรุดเสียหายของถุงน้ำปูน (Grout Pockets) หรือการหลวมของอุปกรณ์ช่วยยึด ถ้ามีการรายงานมาก่อนหน้านี้ ก็ควรนำมาใช้ด้วยเพื่อจะได้ทำการบันทึก ความคืบหน้าของการชำรุดเสียหายนั้น

การตรวจสอบพื้นสะพานคอนกรีตเพื่อค้นหารอยแตก การหลุดล่อน และความเสียหายอื่นๆ นี้จะเป็นการสำรวจด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม Hammer and Chain Drags ก็เป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้ตรวจสอบพื้นที่ของการเสียหายได้เช่นกัน และการเจาะเอาตัวอย่างคอนกรีต (Core Samples) จากพื้นสะพานแล้วทำไปตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) เพื่อหาปริมาณความเจือปนของสารประเภทคลอไรด์ ทั้งนี้อาจจะมีการใช้อุปกรณ์ขั้นสูงเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนของผิวพื้น และการเกิดสนิมของเหล็กเสริมได้ด้วย

6.1.2 รอยต่อของพื้นสะพาน (Deck Joints)

Deck Joints เป็นส่วนที่สำคัญมากของสะพาน หน้าที่หลักของ Deck Joints คือ รองรับการยึดตัวและการหดตัวของ Deck รอยต่อของพื้นสะพานยังเป็นส่วนที่ปิดช่องว่างระหว่างส่วน Deck และกำแพงของ Abutment อีกด้วย นอกจากนี้ รอยต่อของพื้นสะพานนี้ยังช่วยให้การเคลื่อนที่จากถนนคอสะพานขึ้นไปสู่ Deck เป็นไปอย่างนุ่มนวล Deck Joints จะต้องเป็นส่วนที่ทนทานต่อทุกสภาพอากาศในพื้นที่ที่กำหนดให้ และจะต้องทำหน้าที่ทุกๆ อย่างได้เป็นอย่างดีโดยไม่มีข้อบกพร่อง ไม่ว่าการจราจรที่ข้ามสะพานจะมีสภาพเป็นอย่างไร ผู้ที่ทำการตรวจสอบจะต้องสามารถระบุ Deck Joints ที่ทำหน้าที่บกพร่องได้

Deck Joints เป็นสิ่งที่ทำให้สามารถแบ่งสะพานออกเป็นช่วงๆ ได้ รอยต่อจะมีที่ Abutment และมีอยู่ที่เหนือ Pier ในกรณีที่สะพานมีหลายช่วง หรือมีอยู่ที่ช่วงแผ่นพื้นที่ยื่นเข้ามา (Drop-in-Span)

จะต้องมีการแบ่งแยกให้ตีระหว่างความหมายของ “Deck Joints” และ “Construction Joints” เพื่อที่จะไม่ให้เกิดความสับสน เพราะ “Construction Joints” จะหมายถึงรอยต่อเมื่อเริ่มเทคอนกรีตใหม่หรือเมื่อหยุดเทคอนกรีต ระหว่างการก่อสร้าง Deck

Deck Joints จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ รอยต่อแบบเปิด (Open Joints) และรอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

6.1.2.1 รอยต่อแบบเปิด (Open Joints)

รอยต่อแบบเปิดนี้จะยอมให้น้ำและเศษวัสดุต่างๆ ผ่านรอยต่อนี้ได้ รอยต่อแบบเปิดจะมี 2 ชนิด คือ รอยต่อแบบหล่อ และ รอยต่อแบบใช้แผ่นเหล็ก

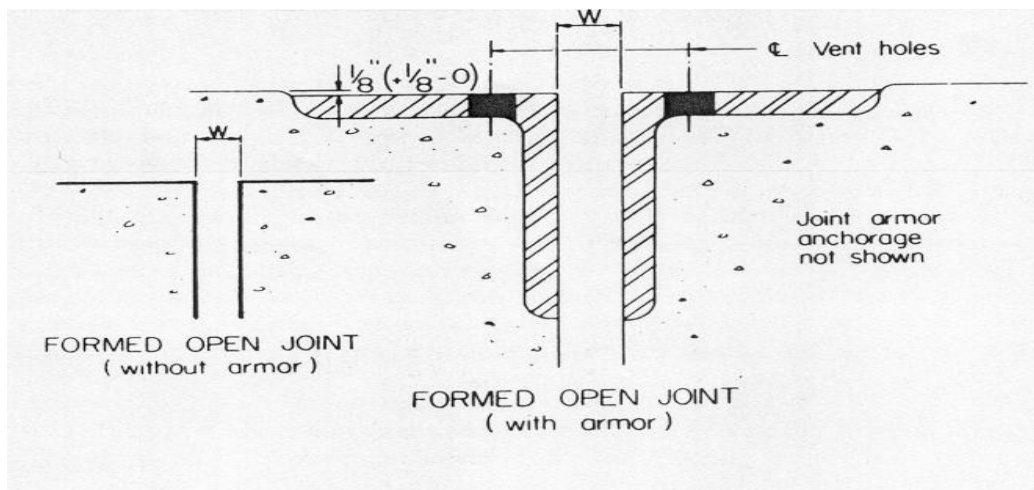
- **รอยต่อแบบหล่อ (Formed Joints) :** รอยต่อแบบหล่อนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่าง (Gap) ระหว่างพื้นสะพานกับกำแพงของ Abutment หรือระหว่าง Deck ด้วยกัน (ในกรณีที่สะพานมีหลายช่วง) เพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะพบในสะพานที่มีความยาวช่วงสั้น (น้อย) ซึ่งจะมีการขยายตัวไม่มากนัก รอยต่อ

แบบเปิดนี้มักจะไม่มีการป้องกัน หรืออาจจะมีโดยใช้เหล็กฉากประกอบที่รอยต่อของ Deck กับส่วน Back Wall ของ Abutment) (ดูรูปที่ 6-2)

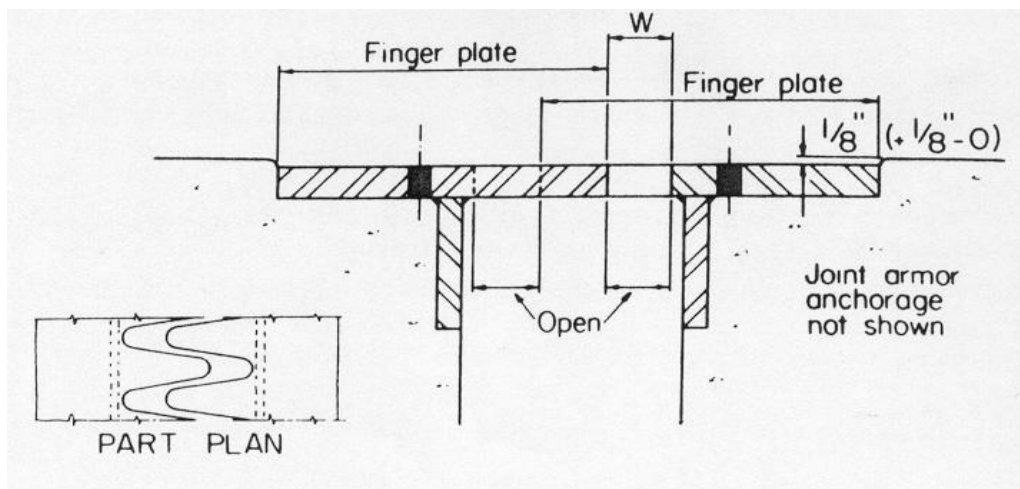
- รอยต่อแบบใช้แผ่นเหล็ก (Finger Plate Joints) : มักจะเป็นที่รู้จักในชื่อของรอยต่อเหล็กรูปฟัน (Tooth Plate Joint) หรือ เขื่อนรูปฟัน (Tooth Dam) รอยต่อชนิดนี้จะประกอบไปด้วย แผ่นเหล็ก 2 ชั้น และมีตัวยึดระหว่างกัน (Interlocking Fingers) ส่วนใหญ่จะใช้รอยต่อชนิดนี้ในสะพานที่มีความยาวช่วงหลายๆ ซึ่งจะเกิดการขยายตัวมาก รอยต่อแบบแผ่นเหล็กนี้จะมีอยู่ 2 ประเภทด้วยกัน คือ แบบแผ่นเหล็กยื่น (Cantilever Finger Plate Joints) และแบบถูกรองรับ (Supported Finger Plate Joints)

รอยต่อแบบแผ่นเหล็กยื่น จะใช้เมื่อมีการขยายตัวน้อย ส่วนยื่น (Fingers) จะยื่นออกมาจากแผ่นเหล็กด้านส่วน Deck และด้านส่วนของตอม่อ

รอยต่อแบบถูกรองรับ จะใช้ในสะพานที่มีความยาวช่วงมากกว่า รอยต่อนี้จะมีระบบที่รองรับตัวมันเอง คือ คานขวาง (Transverse Beam) ซึ่งอยู่ด้านใต้ของรอยต่อ รอยต่อแบบแผ่นเหล็ก บางชนิดก็สามารถแบ่งเป็นส่วนๆ เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม



รูปที่ 6-2 Formed Joint



รูปที่ 6-3 Cantilever Finger Plate Joint



6.1.2.2 รอยต่อแบบปิด (Closed Joints)

รอยต่อแบบปิด จะได้รับการออกแบบเพื่อไม่ให้น้ำหรือเศษวัสดุต่างๆ ผ่านไปได้ รอยต่อแบบปิดนี้ จะมีอยู่ 6 ประเภท คือ

- รอยต่อแบบปิดโดยการเท (Poured Joint Seal)
- รอยต่อแบบปิดโดยการกด (Compression Seal)
- รอยต่อแบบปิดและมีโพรง (Cellular Seal)
- รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นเหล็กเลื่อน (Sliding Plate Joint)
- รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นรับความยืดหยุ่นสำเร็จรูป (Prefabricated Elastomeric Seal)
- รอยต่อแบบปิดโดยหน่วยประกอบยืดหยุ่น (Modular Elastomeric Seal)

Poured Joint Seal

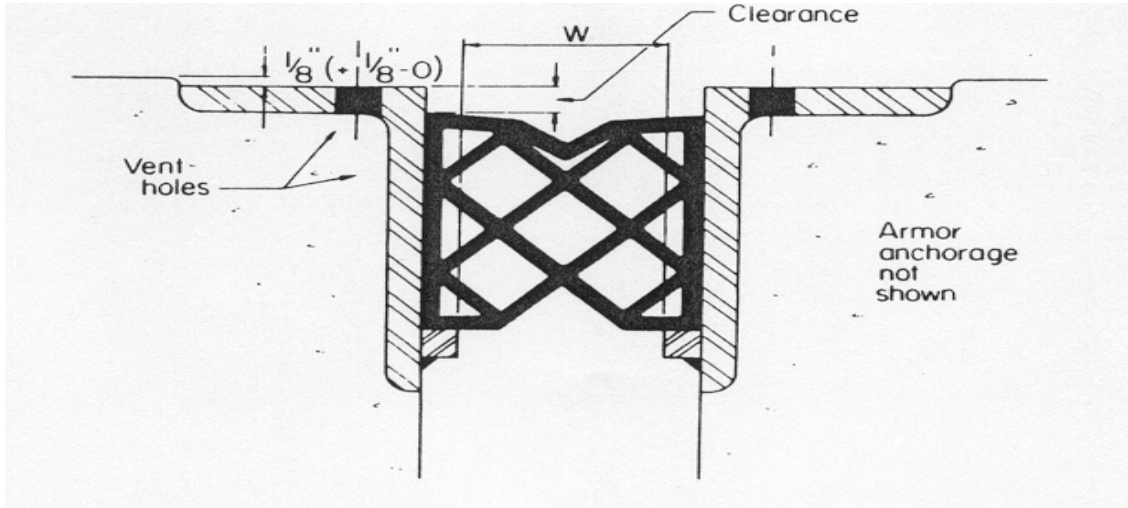
รอยต่อชนิดนี้จะทำจากวัสดุ 2 ชนิด คือ ส่วนฐานและสารผนึกกันน้ำที่ใช้เท ส่วนฐานจะประกอบไปด้วยวัสดุเติมแทรกที่หล่อไว้แล้วใช้สำหรับรอยต่อเพื่อขยาย (Preferred Expansion Joint Filler) ส่วนบนของวัสดุชนิดนี้จะอยู่เหนือพื้นสะพานประมาณ 2.5-5.0 ซม. ช่องว่างที่เหลือในรอยต่อจะประกอบไปด้วยสารผนึกที่เทไว้ โดยจะมีการแยกตัวออกจากส่วนฐาน ซึ่งอาจทำได้โดยการใช้ท่อนเหล็กที่ใช้แยกแรงยึดเหนี่ยว (Backer Rod or Bond Breaker) เนื่องจาก รอยต่อแบบปิดโดยการเทนี้จะรองรับการเคลื่อนที่ได้เพียง 0.6 ซม. ฉะนั้น จึงมีการใช้รอยต่อชนิดนี้ในสะพานช่วงสั้นเท่านั้น

Compression Seal

รอยต่อชนิดนี้ประกอบไปด้วย ยางเทียมชนิดทนน้ำมัน (Neoprene) รูปสี่เหลี่ยม (Rectangle) โดยมีรูปร่างหน้าตัดเป็นรูรังผึ้ง (Honeycomb) (ดูรูปที่ 6-4) การออกแบบของรูปร่างรังผึ้งนี้ช่วยให้รอยต่อชนิดนี้ คืนสภาพได้อย่างสมบูรณ์หลังจากถูกทำให้รูปร่างบิดเบี้ยวไปโดยแรงจากการหดตัวและการขยายตัวของสะพาน มันถูกเรียกว่า Compression Seal เพราะว่ารอยต่อชนิดนี้จะทำหน้าที่อยู่ในสภาวะถูกระทำโดยแรงกด (Compression) อยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วมักจะมีเหล็กฉากค้ำรองรับอยู่ เพื่อป้องกันส่วนพื้นสะพานและกำแพงตอม่อไม่ให้เกิดความเสียหาย ในบางกรณีรอยต่อของพื้นสะพานจะถูกตัดเพื่อทำการติดตั้ง Compression Seal ถ้าเป็นในกรณีนี้จะไม่มีการติดตั้งเหล็กฉากลงไป Compression Seal นี้จะมีอยู่หลายขนาด และถูกเรียกตามความสามารถในการเคลื่อนที่ของตัวเอง Compression Seal ขนาดใหญ่จะสามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 5 เซนติเมตร

Cellular Seal

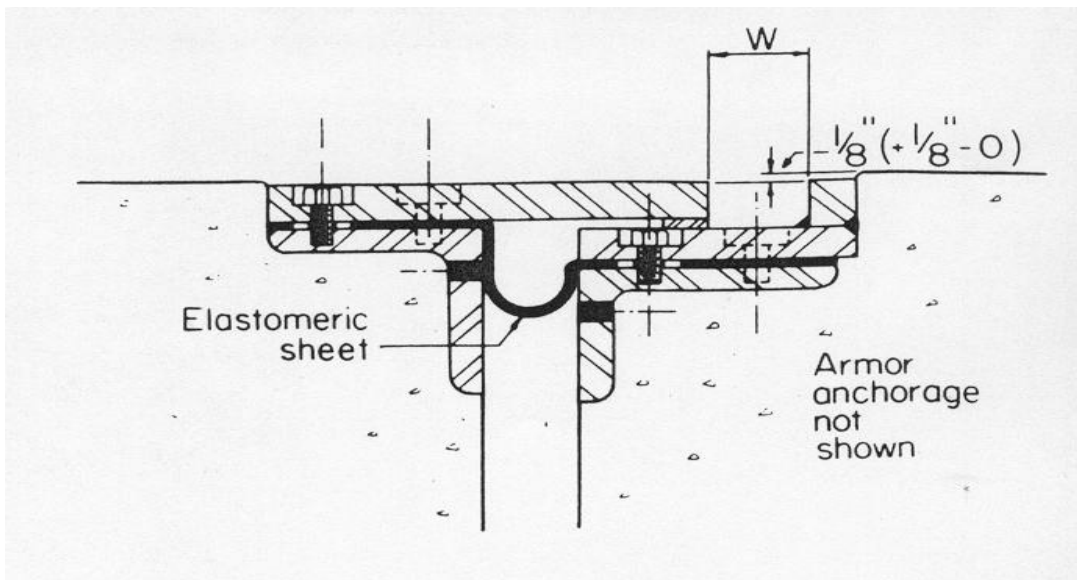
รอยต่อชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับ Compression Seal และเหล็กฉากที่รองรับก็มีลักษณะเกือบเหมือนกันทุกอย่าง ความแตกต่างจะอยู่ที่วัสดุที่ใช้เป็นรอยต่อ Cellular Seal นี้ จะทำจากโฟมที่มีช่องว่างอยู่ (Closed-Cell Foam) ซึ่งจะทำให้รอยต่อชนิดนี้เคลื่อนที่ไปได้ ในทิศทางต่างๆ กันโดยไม่ทำให้แผ่น Seal สูญเสียไป โฟมชนิดนี้รองรับได้ทั้งการยืดตัวและการหดตัว ในทิศทางทั้งตั้งฉากและขนานกับรอยต่อ การเคลื่อนที่ในทางขนานหมายความถึง การบีบคั้น ที่เกิดขึ้นระหว่างการยืดตัวและการขยายตัวตามปกติ ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่มีความโค้ง (Curve Structure) หรือสะพานแบบเฉียง (Skew Bridge)



รูปที่ 6-4 Compression Seal

Sliding Plate Joint

รอยต่อชนิดนี้ประกอบไปด้วย แผ่นเหล็กเลื่อนจำนวน 2 แผ่น ที่เลื่อนอยู่บนซึ่งกันและกัน ถึงแม้ว่าจะถูกจัดให้เป็นรอยต่อแบบปิด แต่รอยต่อโดยแผ่นเหล็กเลื่อนนี้ก็กันน้ำไม่ได้เสมอ การพยายามที่จะผนึกรอยต่อชนิดนี้ มีการใช้แผ่นยืดหยุ่น (Elastomeric Sheet) มาติดตั้งระหว่างแผ่นเหล็กและแผ่นป้องกันรอยต่อ (Joint Armoring) ก็ทำให้น้ำไหลเกินออกไปได้ทางด้านข้างของสะพาน (ดูรูปที่ 6-5) Sliding Plate Joint นี้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 10 ซม.



รูปที่ 6-5 Sliding Plate Joint

Prefabricated Elastomeric Seal

Seal ที่ใช้ในรอยต่อชนิดนี้ จะมีผู้ผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะ และจะมีอยู่ 3 ชนิด

- แผ่นผนึกแบบหนา (Plank Seal) เป็นแผ่นคล้ายแผ่นไม้



- แผ่นผนึกแบบบาง (Sheet Seal) เป็นแผ่นกว้าง
- แผ่นผนึกแบบแถบ (Strip Seal)

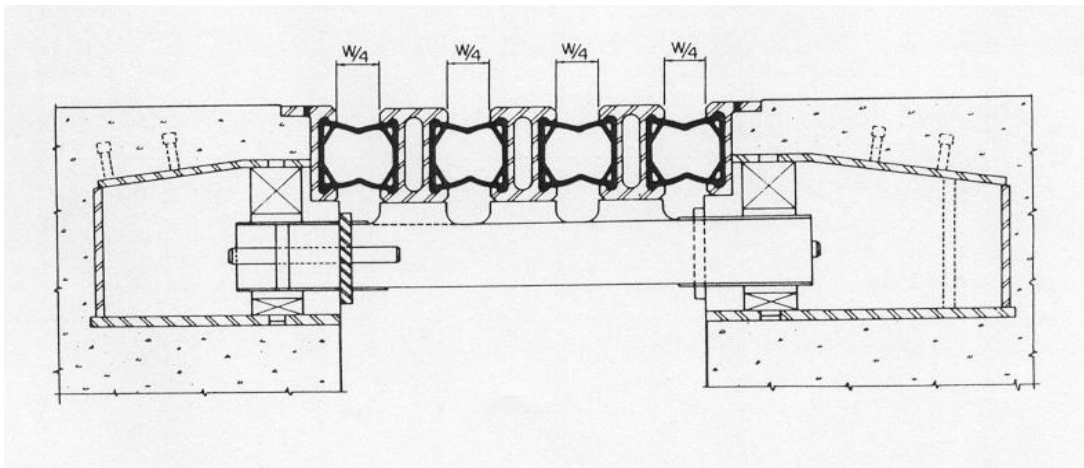
แผ่นผนึกแบบ Plank Seal จะประกอบไปด้วยแผ่นยางเทียม (Steel Reinforced Neoprene) ซึ่งจะรองรับน้ำหนักจากยานพาหนะที่วิ่งผ่านรอยต่อ แผ่นผนึกชนิดนี้ จะถูกยึดติดกับแผ่นพื้นสะพานโดยใช้ Bolt และสามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ระหว่าง 5-33 เซนติเมตร

แผ่นผนึกแบบ Sheet Seal ประกอบด้วย แผ่นยางเทียมเสริมเหล็ก (Steel Reinforced Neoprene) จำนวน 2 ก้อน และใช้แผ่น Neoprene แบบบางจะเป็นตัวเชื่อมแผ่นยางเทียมเสริมเหล็ก 2 ก้อนนั้นตลอดความยาวของรอยต่อ รอยต่อชนิดนี้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 10 ซม.

แผ่นผนึกแบบแถบ Strip Seal ประกอบไปด้วย เหล็กตัวยึดที่เป็นช่อง (Slotted Steel Anchorage) ซึ่งหล่อเข้าไปใน Deck และ Back Wall แผ่นผนึกที่เป็นยางเทียม (Neoprene) จะถูกติดตั้งเข้าไปในช่องว่างตลอดความยาวของรอยต่อ รอยต่อชนิดนี้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ประมาณ 10 ซม.

รอยต่อแบบปิดโดยหน่วยประกอบยึดหยุ่น (Modular Elastomeric Seal)

รอยต่อชนิดนี้ เป็นอีกชนิดหนึ่งที่ใช้แผ่นยางเทียมชนิดทนน้ำมัน (Neoprene) เป็นตัวผนึก และรองรับน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะ รอยต่อชนิดนี้ประกอบไปด้วย ก้อนผนึกยางเทียมรูปสี่เหลี่ยมกลวงเชื่อมติดกับเหล็กและรองรับโดยระบบคานยึดของตัวเอง (Stringer System) (ดูรูปที่ 6-6) สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้ระหว่าง 10 ถึง 60 เซนติเมตร และยังสามารถถูกผลักมาเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ได้ถึง 120 เซนติเมตร



รูปที่ 6-6 Modular Elastomeric Seal

6.1.2.3 ตำแหน่งและขั้นตอนของการตรวจสอบรอยต่อ

แม้ว่าจะไม่ได้มีการกำหนดให้มีการตรวจสอบ Deck Joints อย่างไรก็ตามเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ตรวจสอบสะพานควรจะต้องบันทึกสภาพของรอยต่อต่างๆ ไว้ เพราะส่วนใหญ่แล้ว ปัญหาของรอยต่อพื้นสะพาน มักจะสัมพันธ์กับปัญหาอื่นๆ ของสะพาน

รอยต่อของแผ่นพื้นสะพาน (Deck Joints) ควรได้รับการตรวจสอบตามรายการดังต่อไปนี้

- ฝุ่นและเศษวัสดุที่มากองรวมกัน
- การจัดวางที่เหมาะสม
- ความเสียหายของแผ่นผนัง
- สิ่งรองรับรอยต่อ
- อุปกรณ์ช่วยยึดรอยต่อ

การสะสมรวมกันของฝุ่นและเศษวัสดุ

ถ้ามีฝุ่นและเศษวัสดุสะสมอยู่ในรอยต่อก็อาจทำให้รอยต่อมีการเคลื่อนที่ระหว่างการยืด-ขยายตัวของสะพาน เป็นไปโดยไม่ปกติ ทำให้เกิดรอยแตกบนพื้นสะพาน (Deck) หรือ กำแพงตอม่อ (Backwall) ได้ ถ้ามีการสั่งสมของฝุ่นและเศษวัสดุเข้าไปในรอยต่ออย่างต่อเนื่อง วัสดุที่ใช้ทำรอยต่อนั้นจะวิบัติไปในที่สุด

การจัดวางที่เหมาะสม

ทั้งสองข้างของรอยต่อต้องถูกจัดวางในระดับเดียวกันจริงห้ามมีให้มีระดับแตกต่างกัน ในสะพานแบบตรง (Straight Bridge) ช่องเปิดของรอยต่อ ควรจะอยู่ในแนวขวางกับสะพาน

ในรอยต่อแบบ Finger Plate ในแต่ละซี่ของ Finger Plate ควรจะสวมซ้อนกันได้พอดีและควรอยู่ในระนาบเดียวกัน

มีความสำคัญมากที่การเคลื่อนที่ของรอยต่อจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ฉะนั้นอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของพื้นที่นั้นจะต้องถูกบันทึกไว้ และจะต้องมีการออกแบบให้ช่องเปิดมีค่าน้อยที่สุดเมื่ออุณหภูมิขึ้นสูงที่สุด การวัดอุณหภูมิของสะพาน ทำได้โดยติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ ไว้กับตัวสะพาน

ความเสียหายของแผ่นผนัง (Damage to Seals)

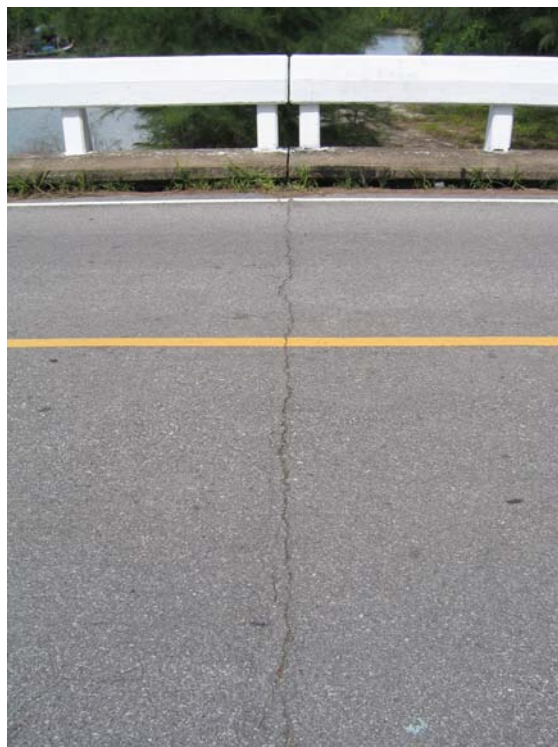
แผ่นผนัง (Seal) อาจได้รับความเสียหายจากสิ่งต่างๆ เช่น การจราจกร และเศษวัสดุ ซึ่งจะทำให้แผ่น Seal ฉีกขาด หรือถูกดึงออกจากตัวยึด หรือหลุดออกทั้งหมด ผู้ตรวจสอบสะพานควรบันทึกสิ่งต่างๆ เหล่านี้ไว้ และควรจะต้องสำรวจหารอยรั่วในรอยต่อแบบปิด (Closed Joint) ด้วย



รูปที่ 6-7 ความเสียหายของ Compression Seal

การปูพื้นผิวถนนใหม่ที่ไม่ได้มาตรฐาน (Indiscriminate Overlays)

เมื่อมีการปูพื้นผิวถนนใหม่บน Deck ของสะพาน ก็มักจะทำการ Overlay ลงไปบน Joint ของสะพาน โดยที่ไม่ได้เอาใจใส่ในเรื่องของประสิทธิภาพมากเท่าที่ควร และกรณีเช่นนี้ก็มักจะเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้งในสะพานขนาดเล็กตามท้องถิ่นต่างๆ และมักจะมีรอยแตกในแนวขวาง (Transverse Cracks) เกิดขึ้นที่พื้นถนนอยู่เสมอ และทำให้ทราบโดยทันทีว่า Joint ไม่ควรถูกเททับด้วยวิธีการที่ไม่ได้มาตรฐานซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายในการทำหน้าที่ของ Joint อย่างมาก (ดูรูปที่ 6-8)



รูปที่ 6-8 Transverse Crack ที่เกิดขึ้นที่ด้านบนของ Expansion Joint

ตัวรองรับรอยต่อ (Joint Supports)

เมื่อมีการหดตัว-ขยายตัวที่มากขึ้น Joints อาจจะต้องได้รับการรองรับที่ด้านล่างของ Joints โดยคานขวาง (Transverse Beams)

จุดรองรับรอยต่อ (Joint Supports)

เมื่อต้องการให้มีการหดตัวและการขยายตัวที่มากขึ้นกว่าเดิม ก็จะต้องมีสิ่งที่จะต้องคอยรองรับ Joint ไม่ว่าจะรองรับทั้งหมดหรือรองรับเพียงบางส่วนโดย Transverse Beam ที่อยู่ด้านล่างของ Joint และ Joint เหล่านี้จะต้องได้รับการตรวจสอบอย่างระมัดระวังถึงความสามารถในการทำงาน และการเกิดสนิมของรอยต่อนี้

อุปกรณ์ยึดตรึงรอยต่อ (Joint Anchorage Devices)

การเสื่อมประสิทธิภาพของอุปกรณ์ช่วยยึดตรึงรอยต่อ เป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นบ่อยๆ ที่ทำให้เกิดปัญหาในแผ่นพื้นสะพาน (Deck Problems) ฉะนั้นจะต้องมีการตรวจสอบอย่างระมัดระวังในความสามารถในการทำงาน และการเกิดสนิมของรอยต่อ

6.1.3 ระบบระบายน้ำ (Drainage System)

ระบบระบายน้ำมีหน้าที่ขจัดน้ำและสิ่งอื่นๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อสะพาน แม้ว่าจะไม่มีหัวข้อย่อยที่กำหนดรหัสความสามารถในการใช้งานของระบบระบายน้ำ และระบบระบายน้ำนี้ ไม่ได้อยู่ในส่วนของการให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม เป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ตรวจสอบสะพาน ที่จะต้องบันทึกสภาพการดำเนินงานของระบบระบายน้ำ เนื่องจากปัญหาของระบบระบายน้ำสามารถเป็นสาเหตุนำไปสู่ปัญหาของโครงสร้างได้ในที่สุด

6.1.3.1 Elements ของระบบการระบายน้ำของพื้นสะพาน

มี Elements ต่างๆ ที่ควรรู้จัก ดังต่อไปนี้

- น้ำไหลที่พื้นผิว (Run Off)
- ช่องระบายที่พื้นสะพาน (Deck Drains)
- ท่อระบายน้ำออกจากพื้นสะพาน (Outlet Drains)
- ท่อระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspout Pipes)
- ช่องทำความสะอาด (Cleanest Plugs)

น้ำไหลที่พื้นผิว หมายถึง น้ำและสิ่งอื่นๆ ที่อยู่บนผิวพื้นของพื้นสะพาน

ช่องระบายน้ำที่พื้นสะพาน เป็นส่วนประกอบแรกของระบบระบายน้ำที่น้ำไหลที่พื้นผิวจะต้องไหลผ่านช่องระบายน้ำนี้ จะเป็นช่องเปิดต่างๆ ที่พื้นสะพาน ที่ฐานของแผงบัง (Parapet) ก่อหรือช่องสำหรับระบบน้ำต่างๆ ที่มีอยู่



กล่องรับน้ำนี้จะมีฝาตะแกรงปิดอยู่ ตะแกรงนี้จะทำจากเหล็กเส้น ที่จัดเรียงกันในทิศทางเดียวกับสะพาน และมีระยะห่างกันประมาณ 5 ซม. ฝาตะแกรงที่ใช้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้จักรยาน ก็จะมีท่อนเหล็กวางตามขวางของตะแกรงด้วย มีระยะห่างประมาณ 10 ซม.

ฝาตะแกรงจะช่วยสกัดกั้นไม่ให้เศษวัสดุขนาดใหญ่ เข้าไปในระบบระบายน้ำ และให้น้ำผ่านเองไปได้ ตะแกรงนี้สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกจรและการจราจรได้เช่นกัน การระบายที่นี้อาจจะสิ้นสุดลงตรงที่ช่องระบายน้ำที่พื้นสะพานนี้ก็ได้

ท่อระบายน้ำออกจากพื้นสะพาน (Outlet Pipes) ท่อนี้จะช่วยนำน้ำออกไปจากช่องระบายน้ำที่พื้น (Drain) ใช้กับสะพานที่ข้ามถนน-ท่อ Outlet นี้จะถูกต่อเข้ากับท่ออื่นๆ ในกรณีที่ไม่ใช่สะพานที่ข้ามถนนท่อ Outlet นี้ อาจจะถูกต่อออกมาเพียงไม่กี่ฟุตจากใต้พื้นสะพาน ให้เพียงพอที่น้ำที่ระบายออกจะไม่ถูกลมพัดให้ไปถูกโครงสร้างส่วนบนได้

ท่อระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspout Pipes)

เมื่อสะพานเป็นสะพานที่ข้ามถนน ระบบระบายน้ำ จากพื้นสะพานจะต้องถูกระบายจากท่อระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Outlet Pipes) ไปสู่ระบบระบายน้ำภายนอก (Sewer System) หรือ จุดอื่นๆ ที่เหมาะสมและในกรรมวิธีดังกล่าว ก็จะต้องมีการใช้ระบบของท่อระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspout Pipes Network)

ช่องทำความสะอาด (Cleanout Plugs)

จะมีปลั๊ก (Plug) อุดอยู่ และสามารถเอาออกได้เมื่อต้องการทำความสะอาด

6.1.3.2 ตำแหน่งและขั้นตอนของการตรวจสอบ

ชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบระบายน้ำที่ควรจะได้รับ การตรวจสอบมีรายการดังต่อไปนี้

- ฝาตะแกรง (Grates)
- ช่องรับน้ำและระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Deck Drains and Inlets)
- อ่างรับน้ำ (Drainage Troughs)
- ท่อระบายน้ำออก (Outlet Pipes)

ฝาตะแกรง (Grates) ไม่ควรจะให้ มีเศษวัสดุต่างๆ กีดขวางการไหลเข้าของน้ำ ฝาตะแกรงนี้อาจมีการชำรุดเสียหายหรือสูญหาย ข้อมูลต่างๆ จะต้องถูกบันทึกไว้

ช่องรับน้ำและระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Deck Drains and Inlets) จะต้อง มีขนาดระยะห่างที่เพียงพอ สำหรับการระบายน้ำออกจากสะพานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากว่าสภาพของน้ำหรือสิ่งที่ต้องระบายออก (Run off) นี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ ฉะนั้น ชิ้นส่วนของระบบระบายน้ำจากเหล่านี้จะต้องได้รับการตรวจสอบอย่างถี่ถ้วนในแต่ละครั้งของการตรวจสอบสะพาน การอุดตันของช่องระบายน้ำจากพื้นสะพาน จะทำให้ Deck มีการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และจะทำให้ น้ำน้ำเจ็มนองบนผิวจราจรอันเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์

อ่างรับน้ำ (Drainage Troughs) อ่างรับน้ำซึ่งอยู่ที่บริเวณใต้รอยต่อ ควรจะได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด ถ้ามีการสะสมของเศษวัสดุมากๆ เข้า ก็จะทำให้อ่างรับน้ำเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และยังสามารถให้น้ำไหลออกไป สัมผัสกับ Member ในโครงสร้างของสะพาน ถ้าเป็นไปได้ ควรจะใช้พลั่ว (Shovel) ตักเศษวัสดุออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ให้เขียนรายงานถึงสภาวะปัจจุบันเพื่อการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม

ท่อระบายน้ำออก (Outlet Pipes) ท่อระบายน้ำออกจะช่วยระบายน้ำออกจากสะพาน ท่อระบายน้ำออกนี้ อาจถูกต่อตรงจากช่องระบายน้ำจากพื้นสะพาน (Deck Drain) โดยให้มีความยาวพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำที่ระบายออกนี้สาดไปสัมผัสกับ โครงสร้างสะพาน ท่อระบายน้ำออกนี้อาจจะเป็นการต่อเนื่องกันของท่อต่างๆ ซึ่งเรียกว่า ระบบระบายน้ำสู่ภายนอก (Downspoutting) ท่อระบายน้ำชนิดนี้ ควรจะได้รับการตรวจสอบว่ามีรอยแยกหรือท่อมีการหลุดออกจากกันหรือไม่ ซึ่งสิ่งดังกล่าวจะทำให้น้ำที่ต้องการระบายออกไปสัมผัสกับตัวสะพานและทำให้โครงสร้างมีการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

6.1.4 ความปลอดภัย (Safety Features)

เมื่อยานพาหนะมีการเดินทางบนถนน ก็จะต้องมีองค์ประกอบของความปลอดภัย เช่น ราวกันตก (Guardrails) เพื่อป้องกันไม่ให้นานพาหนะมีการเคลื่อนที่ออกจากทิศทางจราจร เช่นเดียวกัน เมื่อยานพาหนะต้องเคลื่อนที่ผ่านสะพาน ส่วนประกอบเพื่อความปลอดภัย เช่น ราวสะพานหรือกำแพงข้างสะพาน ก็จะสามารถช่วยให้ยานพาหนะไม่หลุดออกไปนอกสะพาน จุดถ่ายเทจากถนนสู่สะพานเป็นสิ่งจำเป็นต้องมีเพื่อให้ส่วนประกอบของความปลอดภัยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เพราะฉะนั้นการตรวจสอบโดยละเอียดในส่วนประกอบเพื่อความปลอดภัยของสะพาน ควรจะรวมถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ราวกันของสะพาน (Bridge Barrier)
- ราวกันตกก่อนขึ้นสะพาน (Approach Barrier)
- จุดถ่ายเท (Transitions)
- การตกแต่งส่วนปลาย (End Treatments)
- ราวกันช่องกลาง (Median Barriers)

6.1.4.1 ราวกันของสะพาน (Bridge Barrier)

ราวกันบนสะพานถูกจำแนกออกเป็น 2 จำพวก คือ

- ราวกันบนสะพาน (Bridge Railing)
- ราวกันสำหรับคนเดินถนน (Pedestrian Railing)

Bridge Railing: จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อรถหลุดออกไปนอกขอบของสะพาน ราวกันบนสะพานนี้จะต้องเปลี่ยนทิศทางของรถที่จะหลุดไปนอกสะพาน ให้กลับเข้ามาทางตัวอยู่ได้ อย่างนุ่มนวลและไม่เกิดการพลิกคว่ำ และไม่ทำให้ราวกันบนสะพานเสียหาย



Pedestrian Railing: มีลักษณะคล้ายกับรั้ว อาจจะทำจากไม้ อีฐ หิน เหล็ก หรือ คอนกรีต เป็นชิ้นส่วนโครงสร้างของสะพานที่อยู่ขอบนอกสุดของทางเท้า และใช้เพื่อป้องกันและจำกัดขอบเขตของการสัญจรโดยการเดิน

การตรวจสอบราวกันของสะพาน : ราวกันที่เป็นเหล็ก ควรจะถูกยึดติดกับสะพานอย่างแน่นหนา และต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี ให้ตรวจสอบหาการเกิดสนิมหรือความเสียหายที่เกิดจากการถูชน (Collision Damage) ส่วนราวกันที่เป็นคอนกรีตนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีต หล่อในที่ (Cast-in-Place) และมีการเสริมเหล็กไว้เพื่อให้เกิดการยึด (Anchorage) ที่ดีขึ้น ต้องมีการตรวจสอบหาการสึกกร่อน การหลุดล่อนของคอนกรีต และต้องตรวจราวกันใดๆ ที่มีเพิ่มขึ้นมาด้วย

6.1.4.2 ราวกันตกก่อนขึ้นสะพาน (Approach Barrier)

ราวกันตกชนิดนี้เป็นราวอันแรกที่ถูกผู้ขับขี่ยานยนต์จะต้องพบก่อนขึ้นสะพาน จุดประสงค์ของราวกันตกชนิดนี้ คือ ปกป้องอันตรายจากสะพานให้แก่ผู้ขับขี่ยานยนต์ ราวกันตกชนิดนี้จะต้องมีความยาวและความแข็งแรงเพียงพอและสามารถเปลี่ยนทิศทางของยานพาหนะที่เกิดการชนขึ้นให้เบี่ยงเบนไป และเกิดความเสียหายแก่ยานพาหนะน้อยที่สุด ข้อกำหนดมาตรฐานของราวกันตกก่อนขึ้นสะพานนี้ จะมีการกำหนด ความสูงที่ยอมรับได้ วัสดุที่ใช้ผลิต ความแข็งแรง และรูปทรง

การตรวจสอบราวกันก่อนขึ้นสะพาน (Inspection of Approach Guardrail)

ผู้ตรวจสอบควรระบุตัวกำหนดมาตรฐานที่ใช้อยู่ในระบุนขนาดและทิศทางต่างๆ ของราวและเสา ให้จัดทำเอกสารของความเสียหายจากการชน (Collision Damage) และการชำรุดเสียหายอื่นๆ ของราวกันตกนั้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ความแข็งแรงของระบบโดยรวมลดลง และให้จุดบันทึกระบุส่วนใดๆ ของราวกันตกที่อาจจะ “งอตัว” (Pocket) เมื่อเกิดการชน และเป็นผลให้ราวกันตกมีความขรุขระ และกีดขวางยานพาหนะ และทำให้ยานพาหนะลดความเร็วอย่างกะทันหัน (Abrupt) หรือการกระดอนกลับอย่างไม่เป็นจังหวะ จะต้องมีการบันทึกถึงตัวยึด (Bolt) ที่หลวมหรือหลุดหายไป ถ้าไม่ได้มีการระบุไว้โดยเฉพาะในการออกแบบแล้ว ราวกันตกก่อนขึ้นสะพานที่ทำจากไม้จะไม่สามารถรับแรงขั้นต่ำที่ต้องการได้

6.1.4.3 จุดถ่ายเท (Transitions)

จุดถ่ายเทเป็นส่วนหนึ่งของราวกันตกก่อนขึ้นสะพานที่ยึดติดกับราวกันสะพาน (Bridge Railing) จุดถ่ายเทที่เหมาะสมคือ การเสริมความแข็งแรงของราวกันตกก่อนขึ้นสะพาน (Approach Guardrail) ซึ่งทำได้โดยให้มีเสาที่อยู่ใกล้กันมากขึ้นในบริเวณใกล้สะพาน การเสริมความแข็งแรงแบบนี้จะช่วยให้ยานยนต์ที่มาชนได้กระดอนกลับไปให้ห่างจากราวแทนที่จะถูกกีดขวางโดยราวกันตกนี้ หรือไปชนกับส่วนปลายของ Bridge Railing การออกแบบของจุดถ่ายเทควรจะให้สอดคล้องกับ Bridge Railing เพื่อให้มีการถ่ายเทที่นุ่มนวล

การตรวจสอบจุดถ่ายเท (Inspection of Transition) : ให้ตรวจสอบจุดถ่ายเทของราวกันตกก่อนขึ้นสะพาน เพื่อให้มีการถ่ายเทที่นุ่มนวล มีการติดตั้งที่มั่นคงแข็งแรง และระยะระหว่างเสาลดลง ไม่ควรใช้ไม้ในการสร้างจุดถ่ายเทสำหรับราวสะพาน

6.1.4.4 การตกแต่งส่วนปลาย (End Treatments)

ส่วนปลายของราวกันก่อนขึ้นสะพาน จะถูกปรับปรุงไม่ให้นยานพาหนะถูกเสียบเข้าไปในราวกันนั้น การตกแต่งที่ได้รับการยอมรับแล้ว มีอยู่ 4 แบบ คือ

- การผายออก (Flaring)
- การฝัง (Burying)
- ส่วนปลายที่แตกหักได้ (Breakaway Ends)
- การหุ้ม (Shielding)

การผายออก (Flaring) : จะทำให้ปลายของราวกันผายออกเล็กน้อยจากทิศทางของการจราจรที่เข้ามา (Approaching Traffic) การตกแต่งส่วนปลายหลายงานที่มีอยู่ยังมีการผายออกที่ไม่เพียงพอ ปลายของราวกัน ควรจะถูกทำให้ผายออกเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้นายยนต์ ที่พุ่งเข้ามาหาถูกเสียบเข้าไปในราวกัน

การฝัง (Burying) : การฝังส่วนปลายของราวกันนี้ จะประกอบด้วยการทำงานให้ส่วนปลายมีความลาดและบิดออกไป 90 องศา ส่วนปลายจริงๆ นั้นจะถูกฝังลงในพื้น หรือติดพื้นก็ได้

เมื่อความน่าจะเป็นที่ยานพาหนะจะถูกเสียบเข้าไปในราวกัน ได้ลดลงไปอย่างเห็นได้ชัดด้วยวิธีการฝังนี้ ยังคงมีปัญห่อื่นๆ เกิดขึ้นมาอีก ยานพาหนะอาจถูกพลิกขึ้นสู่ช่องจราจรหรือไม่ก็ลงสู่สิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหลังของราวกัน เราสามารถลดการเกิดเหตุการณ์เช่นนั้นได้ โดยจัดให้มีการตกแต่งส่วนปลายที่เป็นการผสมกันระหว่างรูปแบบของการผายออก และการฝัง (Planning & Burying)

ส่วนปลายที่แตกหักได้ (Breakaway Ends) : ส่วนปลายชนิดนี้จะถูกออกแบบให้วิบัติ (Fail) เมื่อถูกชน (Impact) โดยปกติแล้วจะจัดวางเสา 2 ต้นของส่วนปลายให้ติดกับฐานราวคอนกรีต เพื่อให้เกิดแรงเฉือนและขาดออกไป เมื่อมียานยนต์มาชน สายเคเบิลที่ยึดติดกับราวกัน และฐานรากจะช่วยให้ยานยนต์นั้นเคลื่อนที่ช้าลง

การหุ้ม (Shielding) : การหุ้มนี้อจะเป็นการเพิ่มตัวลดแรงกระแทก (Impact Attenuator) เข้ากับส่วนปลายของราวกันก่อนขึ้นสะพาน ตัวลดแรงนี้เป็นระบบดูดซับแบบหลายห้อง (Multicelled Absorption System) ซึ่งสามารถเติมน้ำ โฟม หรือทรายได้ การบดขยี้ของตัวลดแรงนี้ได้ทำให้นายนต์เคลื่อนที่ช้าลงจนหยุดโดยมีความเสียหายเพียงเล็กน้อย

ระบบแบบเติมน้ำ (Water-Filled System) จะมีหลอดพลาสติกที่เติมน้ำจนเต็มเพื่อลดแรงกระแทกเมื่อเกิดการกระแทก (Impact) หลอดพลาสติกจะยุบตัว และน้ำจะถูกรั่วออกไป ซึ่งเป็นการทำให้นายนต์เคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งหยุด

ระบบแบบเติมทราย (Sand-Filled System) จะมีท่อบรรจุทรายตั้งอยู่อย่างอิสระเพื่อดูดซับแรงกระแทก

ระบบการถ่ายเทแรงเคลื่อนที่ (Momentum Transfer System) จะช่วยกระจายพลังงานกระแทก ผ่านการบดขยี้ขององค์ประกอบที่ทำจากคอนกรีตมวลเบา และผ่านการถ่ายเทกำลังเคลื่อนที่ (Momentum) ที่เกี่ยวข้องกับเคลื่อนที่ของมวลของเบาะ (Cushion Mass)



การตรวจสอบของการตกแต่งส่วนปลาย (Inspection of End Treatments)

ให้บันทึกประเภทของการตกแต่งส่วนปลายที่ใช้ เช่นเดียวกับสภาพ (Condition) ของการตกแต่งส่วนปลายการตกแต่งส่วนปลายอาจไม่จำเป็นสำหรับด้านปลายของสะพานที่มีการสัญจรแบบทางเดียว (One-Way-Bridge)

6.1.4.5 รวากันช่องกลาง (Median Barriers)

รวากันช่องกลางจะใช้แยกการจราจร ที่สวนทางกัน เมื่ออัตราการจราจรต่อวัน (Average Daily Traffic หรือ ADT) มีค่ามากกว่าอัตราที่กำหนดไว้ และมีการใช้รวากันนี้ บนถนนที่ต้องใช้ความเร็วสูง หรือถนนที่จำกัดการเข้า (Limited Access)

รวากันช่องกลางที่มักจะใช้กันมาก จะเป็นกำแพงคอนกรีต ซึ่งก็คือ แผงกัน 2 แผง ประกบกันนั่นเอง และควรจะต้องได้มาตรฐานของการทดสอบความสามารถในการถูกชนของรวากันตกของสะพาน วิธีการตกแต่งส่วนปลายของกำแพงชั้นคอนกรีตนี้ มีวิธีเดียว คือ การติดตั้งตัวลดแรงกระแทก (Impact Attenuator)

รวากันช่องกลางอีกประเภทหนึ่งที่ใช้มาก คือ รวากันที่เป็นเหล็กที่ติดตั้งบนเสาเหล็ก เราสามารถถอดชิ้นส่วนของรวากันช่องกลางได้ (Mountable) รวากันชนิดนี้จะพบทั่วไปบนสะพานที่มีหลายช่องจราจรและมีการใช้ความเร็วต่ำ

การตรวจสอบรวากันช่องกลาง (Inspection of Median Barrier) : รวากันช่องกลางควรจะยึดติดแน่นกับพื้นสะพาน (Deck) และควรอยู่ในสภาพใช้งานได้ ให้ตรวจสอบหาความเสียหายจากการชน (Collision Damage) การเสื่อมสภาพต่างๆ การหลุดล่อนของรวากันช่องกลางที่เป็นคอนกรีต และให้ตรวจสอบการเกิดสนิมของรวากันและเสาที่เป็นเหล็กด้วย

6.1.5 ป้ายและไฟแสงสว่าง (Signing and Lighting)

6.1.5.1 ป้าย

ป้ายจะช่วยบอกข้อมูลแก่ผู้ขับขี่ยานยนต์ เกี่ยวกับสภาพของถนนที่อาจเป็นอันตรายการติดตั้งป้ายนั้น ควรจะมีระยะห่างจากสะพานเพียงพอที่จะให้ผู้ขับขี่ยานยนต์มีเวลาพอที่จะตอบสนองต่อข้อมูลนั้น ป้ายมีมากมายหลายชนิด ส่วนหนึ่งของป้ายมีดังต่อไปนี้

- ชีตจำกัดน้ำหนักบรรทุก (Weight Limit)
- ระยะห่างในแนวตั้ง (Vertical Clearance)
- ระยะห่างด้านข้าง (Lateral Clearance)
- ทางลอดแคบ (Narrow Underpass)
- ป้ายบอกความเร็ว (Speed Traffic Marker)

ชีตจำกัดน้ำหนักบรรทุก (Weight Limit) : ป้ายบอกชีตจำกัดน้ำหนักบรรทุก มีความสำคัญมากเพราะว่า ป้ายจะบอกถึงน้ำหนักบรรทุกที่มากที่สุดของยานพาหนะจะสามารถบรรทุกและใช้สะพานได้อย่างปลอดภัย

ระยะห่างในแนวดิ่ง (Vertical Clearance) : ป้ายบอกระยะห่างด้านบนนี้จะบอกระยะในแนวดิ่งที่น้อยที่สุดของโครงสร้างโดยจะใช้ค่าที่วัดได้น้อยที่สุดบนช่องจราจรนั้น

ระยะห่างด้านข้าง (Lateral Clearance) : ป้ายบอกระยะห่างด้านข้างนี้จะบอกถึงความกว้างของสะพานนั้นน้อยกว่าความกว้างของถนนก่อนขึ้นสะพาน ชีตจำกัดทางด้านข้างนี้สามารถบ่งบอกได้โดยป้าย “สะพานแคบ” (Narrow Bridge) หรือด้วยป้ายแถบสะท้อนที่สะพาน (Reflection Stripe Board)

ทางลอดแคบ (Narrow Underpass) : ป้ายนี้จะบอกว่าการจราจรนี้เป็นทางลอด จะมีลักษณะแคบหรือมีต่อม่ออยู่ที่ตอนกลางของถนน แถบเตือนอันตราย (Striped Hazardous Markings) และแผ่นแถบสะท้อน (Reflection Hazard Markers) จะต้องถูกติดตั้งไว้ที่กำแพงของ Abutment และขอบของ Pier ผิวทางส่วนที่เข้าใกล้ควรมีการติดตั้งเครื่องหมายหรือสัญญาณเพื่อเตือนผู้ขับขี่ยานยนต์ทั้งหลายถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

ป้ายบอกความเร็ว (Speed Traffic Marker) : ป้ายบอกความเร็วจะแสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดความเร็วที่บังคับใช้อยู่กับการออกแบบสะพานหรือถนนนั้น อาจมีเครื่องหมายการจราจรเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและมีการจราจรที่เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

การตรวจสอบป้าย : ป้ายทุกชนิดควรมีความชัดเจน อ่านง่าย ต้องระบุได้ว่า ป้ายนั้นยังไม่ถูกบดบังหรือกีดขวาง ให้ตรวจสอบหาการเกิดสนิม และความเสียหายจากการชน บริเวณฐานของป้ายสัญญาณให้พิสูจน์ว่ามีการติดตั้งป้ายอย่างเหมาะสมแล้ว

6.1.5.2 ไฟแสงสว่าง

ระบบไฟแสงสว่างจะมีอยู่ 5 ประเภท คือ

- ระบบไฟแสงสว่างของทางหลวง (Highway Lighting)
- ระบบไฟควบคุมการจราจร (Traffic Control Lighting)
- ระบบไฟของสิ่งกีดขวางในอากาศ (Aerial Obstruction Lighting)
- ระบบไฟส่องนำทาง (Navigation Lighting)
- ระบบไฟสัญญาณ (Sign Lighting)

ไฟแสงสว่างบนทางหลวง (Highway Lighting)

เสาไฟของระบบไฟแสงสว่างบนทางหลวงประกอบไปด้วย ดวงไฟ (Lamp or Luminaire) ที่ติดอยู่กับแขนแป้นหูช้าง (Bracket Arms) ทั้งสองส่วนนี้ปกติจะทำมาจากอลูมิเนียม แขนหูช้าง จะถูกยึดติดกับเสาที่ทำจากคอนกรีตหรือเหล็ก รูปพรรณ เหล็กหล่อ อะลูมิเนียม หรือไม้ และมักจะมีรูปร่างเรียวยาวที่ส่วนปลายหรือยอดเสา



เสาไฟจะถูกยึดติดกับฐาน เสาที่เป็นโลหะจะถูกเชื่อมติดกับฐาน ถ้าเป็นเสาคอนกรีต ก็มักจะถูกฝังเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของฐาน ถ้าเสาไฟอยู่ในบริเวณใกล้กับจราจร อาจมีฐานเป็นแบบแยกส่วนได้หรือใช้ราวกันด้วยก็ได้ ใช้สลักสมอ (Anchor Bolt) ยึดเสาไฟให้ติดแน่นกับที่ โดยปกติแล้ว สลักรูปตัวยาว (L) หรือรูปตัว U ต่างๆเหล่านี้ จะต้องถูกฝังลงไปใตฐานรากคอนกรีต

ไฟควบคุมการจราจร (Traffic Control Lighting)

ไฟสัญญาณควบคุมการจราจรจะเป็นตัวควบคุมการจราจรที่เคลื่อนที่ผ่านสะพาน จะมีระบบการทำงานคล้ายกับไฟจราจรตามแยกต่างๆ ของถนนโดยทั่วไป แต่จะสามารถบอกได้ด้วยว่า ช่องการจราจรไหนสามารถใช้ได้บ้างหรือที่เรียกว่า สัญญาณควบคุมการใช้ช่องจราจร (Lane Control Signals) ทั้งนี้จะใช้ไฟสีแดงและสีเขียวที่อยู่ด้านบนในการบอกให้ใช้ช่องจราจรที่เหมาะสม

ไฟเตือนสิ่งกีดขวางทางอากาศ (Aerial Obstruction Lighting)

ไฟเตือนชนิดนี้จะช่วยเตือนให้นักบินที่ควบคุมเครื่องบินอยู่ให้ระวังสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านล่างและบริเวณรอบๆ ของสัญญาณไฟนั้นๆ ไฟเหล่านี้จะเป็นไฟสีแดง และควรจะได้เห็นได้ชัดเจน ทั้งจากรอบๆ และจากด้านบนของดวงไฟนั้น ไฟเตือนสิ่งกีดขวางในอากาศนี้จะอยู่ที่จุดสูงสุดของสะพานที่ถูกกำหนดมาว่าจะสามารถเป็นอันตรายต่อเครื่องบินได้ ปริมาณไฟที่ต้องการติดตั้งนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของสะพาน

สัญญาณไฟนำร่อง (Navigation Lighting)

สัญญาณไฟนำร่องจะช่วยให้การสัญจรทางน้ำมีความปลอดภัยสัญญาณไฟจะต้องมีการแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ตัวเลข และตำแหน่งการติดตั้งบนสะพาน สีของดวงไฟจะเป็นสีเขียว แดง หรือสีขาว

- ไฟสีเขียว จะบอกถึงจุดกึ่งกลางของลำน้ำ และไฟนี้จะถูกติดตั้งที่ด้านล่างของกึ่งกลางช่วงสะพาน
- ไฟสีแดง จะแสดงถึงสิ่งกีดขวางต่างๆ ที่มีอยู่ ไฟแดงจะติดที่ด้านล่างของ Substructure จะเป็นตัวบอกถึงขีดขอบเขตของลำน้ำ ไฟแดงที่เข็บอกตำแหน่งที่ Pier จะติดอยู่บน Pier ที่อยู่ติดกับสายน้ำ
- ไฟสีขาว 3 ดวง จะถูกติดตั้งในแนวตั้งที่โครงสร้างส่วนบน เพื่อใช้บอกลำน้ำลึก

ไฟสัญญาณ (Sign Lighting)

จะเป็นไฟใช้บอกสัญญาณไฟจราจร ให้เห็นได้ชัด

การตรวจสอบระบบไฟ ไฟทุกดวงจะต้องมองเห็นได้ชัด การตรวจสอบต้องระบุว่าดวงไฟนั้นใช้งานได้หรือไม่ และจะต้องไม่ถูกบดบัง ให้ตรวจสอบหาการเกิดสนิมและความเสียหายที่เกิดจากการชนตามบริเวณเสาไฟและที่รองรับด้วย และให้ระบุว่า การติดตั้งระบบไฟเป็นไปอย่างเหมาะสมหรือไม่

6.1.6 ถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Roadways)

หน้าที่หลักของ Approach Roadways คือ ให้มีการถ่ายเทการเคลื่อนที่ของยานพาหนะอย่างนุ่มนวลจากส่วนที่เป็นถนนจริงๆ กับส่วนที่เป็น Deck การถ่ายเทการเคลื่อนที่ที่นุ่มนวลนี้จะช่วยลดแรงกระแทกต่างๆ และทำให้การใช้สะพานมีความปลอดภัยเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับความสบายของผู้ขับขี่ยานยนต์

ส่วนประกอบของ Approach Roadways โดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 ประการ คือ

- โครงสร้างชั้นทาง (Pavement Structure)
- ดินฐานราก (Sub-Grade) ของชั้นทาง
- คันทาง (Embankment)
- ฐานรากของคันทาง (Embankment Foundation)

โครงสร้างของชั้นทางจะเปลี่ยนไปตามลักษณะของถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Roadway) สำหรับถนนยางมะตอย (Bituminous) นั้น โครงสร้างของชั้นทางจะประกอบไปด้วย ชั้นผิวทาง (Wearing Surface) และวัสดุชั้นรองพื้นทาง (Sub-Base Material) ที่เป็นยางมะตอย สำหรับ Approach Roadway ที่เป็นคอนกรีต จะประกอบไปด้วยแผ่นพื้นบริเวณก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) รอยต่อผ่อนแรง (Relief Joint) และวัสดุที่ใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง

แผ่นพื้นบริเวณก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) จะเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตที่วางอยู่บน Abutment และยาวต่อเนื่องครอบคลุมพื้นที่ที่มีการขุดเพื่อก่อสร้างฐานรากของตอม่ออิม สำหรับรอยต่อระหว่างแผ่นพื้นนี้กับส่วนกำแพงของ Back Wall นั้น จะต้องทำการขุดให้เรียบร้อย

สำหรับถนนคอนกรีตชั้นถนน (Pavement) มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่เข้าหาสะพาน ทำให้เกิดแรงกด (Pressing) จากพื้น Approach Slab ลงสู่ Back Wall ฉะนั้น รอยต่อผ่อนแรง (Relief Joint) จึงต้องรับหน้าที่ในการผ่อนแรงกดที่เกิดขึ้นดังกล่าว ในรอยต่อนี้จะใช้แถบยางแอสฟัลท์ทดแทน (Replacement Asphalt Strip) ซึ่งจะวิบัติ (Fail) เมื่อแผ่นพื้นเคลื่อนเข้ามาหาสะพาน อย่างไรก็ตามมันก็มีราคาถูกกว่าและได้งายกว่า

ส่วนชั้นรองพื้นสะพาน (Sub-Grade) ก็คือ ชั้นดินที่มีการเตรียมและได้รับการบดอัดมาอย่างดี โดยส่วนนี้จะอยู่ใต้ชั้นพื้นถนน ขอบคันทางที่เป็นส่วนก่อนขึ้นสะพาน (Approach Embankment) ก็คือวัสดุที่ใช้ถมโดยมีวัตถุประสงค์ให้ชั้นพื้นดินได้ระดับกับชั้นรองพื้นทาง

สุดท้าย ฐานรากของคันทาง คือ วัสดุที่อยู่ใต้พื้นดินที่รองรับคันทาง (Embankment) อยู่

การตรวจสอบถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Inspection of Approach Roadways)

การทรุดตัวของ Approach Roadways มีสาเหตุมาจากการอัดตัว (Consolidation) ของวัสดุที่ใช้เป็นคันทาง (Embankment) และจะเป็นปัญหาสำคัญในบริเวณที่อยู่ใกล้กับ Abutment ซึ่งพยายามแก้ไขได้โดยการบดอัดให้แน่นในระหว่างการก่อสร้าง พื้นถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) อาจมีการปูด (Heave) ขึ้นได้ เนื่องจากการหมุน (Rotation) ของ Abutment หรือปฏิกิริยาการขยายตัวของวัสดุที่ใช้ถม (Fill) ควรจะมีการบันทึกระยะเวลาการเคลื่อนที่ในแนวตั้งต่างๆ ไว้และควรระบุถึงสาเหตุของลักษณะที่เกิดขึ้น



รูปที่ 6-9 Heaving of the Approach Pavement

วิศวกรจราจรควรจะต้องมีความราบเรียบ ปราศจากหลุมบ่อต่างๆ และมีความลาดเอียงที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำ อีกทั้งจะต้องไม่ทำให้รถยนต์ที่เคลื่อนที่อยู่ภายในข้อจำกัดความเร็ว ต้องได้รับอันตรายใดๆ

ความกว้างของ Approach Roadways ก็คือ ความกว้างของถนนตามปกติที่ใช้เพื่อเคลื่อนที่เข้าสู่สะพานรวมถึงขอบทางที่มีโครงสร้างดีเพียงพอกับการใช้งานในทุกสภาวะการจราจรที่เป็นไปตามปกติ

ไหล่ทาง (Shoulders) มักจะถูกสร้างและบำรุงรักษาไปพร้อมๆ กับช่องทางจราจรที่อยู่ติดๆ กัน หญ้าและพื้นดินที่อยู่ข้างๆ ช่องทางการจราจรไม่ถือว่าเป็นไหล่ทาง ความชันของคันทาง (Embankment Slopes) ควรจะมีพืชพุ่มหญ้าและต้นไม้เพียงพอที่จะช่วยป้องกันการพังทลายของดินได้ ถนนและทางแยกที่อยู่ในบริเวณใกล้ๆ กับช่วงก่อนขึ้นสะพานนั้น ควรจะอยู่ในสภาพดีและใช้งานได้เต็มที่

การจัดวาง (Alignment) ของ Approach Roadways เป็นสิ่งที่สัมพันธ์กับส่วนพื้นสะพาน (Deck-Related Item) ซึ่งกำหนดไว้ในรายงานตรวจสอบ การประเมิน Alignment ของ Approach Roadways จะขึ้นอยู่กับความเร็วจากขีดจำกัดความเร็วที่กำหนดไว้ การลดความเร็วใดๆ จะต้องเป็นเนื่องมาจากการจัดวางถนนช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Alignment of Approach Roadways) ไม่ใช่เนื่องมาจากตัวถนนหรือขนาดของพื้นสะพาน

6.1.7 หลักการให้คะแนน

ส่วนพื้นสะพาน (Deck) จะหมายความรวมถึงองค์ประกอบอื่นๆ ของ Deck ด้วย แต่หลักการให้คะแนนในการตรวจสอบสภาพของ Deck จะไม่รวมการประเมินสภาพของชั้นพื้นผิวทาง (Wearing Surface) หรือระบบป้องกันอื่นๆ ส่วน Deck ในหลายๆ แบบยังคงสภาพอยู่ได้แต่ส่วนใหญ่แล้วยังคงประกอบไปด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงสร้างเหล็ก หรือไม้

Deck ที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และเป็นส่วนเดียวกันกับ Superstructure จะมีผลต่อการประเมินสภาพของ Superstructure ด้วย ยกตัวอย่างเช่น โครงข้อแข็ง (Rigid Frames) แผ่นพื้น (Slabs) คานขนาดใหญ่ของพื้นสะพาน (Deck Girders) แผ่นพื้นชนิดมีรูกลวง (Voided slab) และคานรูปกล่อง (Box Girders) องค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้ ส่งผล

ให้ส่วนพื้นสะพานเป็นส่วนโครงสร้างหลักของสะพานในการรับน้ำหนัก สำหรับสะพานที่มีส่วนพื้นสะพานเป็นแบบผสม (Composite Deck) เช่น พื้นคอนกรีตบนคานเหล็ก พื้นคอนกรีตบนคานคอนกรีตอัดแรง, หรือคานรูปกล่อง (Box Beams) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีจุดต่อแรงเฉือน (Shear Connection) ร่วมกับคานและพื้นสะพาน สภาพของ Deck จะมีผลกระทบต่อ การประเมินสภาพของ Superstructure ถ้า Deck อยู่ในสภาพทรุดโทรมมาก และจะต้องอาศัยการวิเคราะห์ การพิจารณา หรือการทดสอบ อย่างมีอาชีพ

สภาพของขอบคันทาง (Curbs) ทางเท้า (Sidewalk) แผงบัง (Parapets และ Fascias) และราวสะพาน (Bridge Rails) พื้นผิวถนน (Wearing Surface) และช่องระบายน้ำ (Scuppers) ควรจะต้องได้รับการบันทึกไว้ในแบบฟอร์มการ ตรวจสอบสภาพของสะพานด้วย เพียงแต่ว่า สภาพของส่วนประกอบต่างๆ ดังกล่าวจะไม่ได้นำมาพิจารณาโดยตรงต่อการ ประเมินสภาพของสะพาน ในขณะที่อุปกรณ์เสริมต่างๆ (Expansion Devices) อาจจะทำให้เกิดปัญหาที่สำคัญ แต่ก็ไม่ได้ ทำให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพานลดลงไปแต่อย่างใด ถึงแม้จะมีแต่น้อยมาก

พื้นสะพานคอนกรีตควรได้รับการตรวจสอบหา Cracks Spalling Scaling Leaning Potholing Delamination และ Full Depth Failure

รหัสการให้คะแนนที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นหลักชี้้นำในการประเมินสภาพของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Deck)



ตารางที่ 6.1 แนวทางสำหรับการให้คะแนนการประเมินพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Deck)

คะแนน	รายละเอียด
9	<p><u>สภาพดีมากถึงดีเยี่ยม</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดีเยี่ยม</u> : ไม่มีร่องรอยความเสียหายใดๆที่ชัดเจน ● <u>สภาพดีมาก</u> : ไม่มีปัญหาใดๆ ที่ชัดเจนมีรอยแตกเพียงเล็กน้อยแต่ไม่มีการหลุดล่อน (Spalling) การชะ (Scaling) การล่อนหลุด (Delamination) หรือ การชะล้าง (Leaching) ของคอนกรีตแต่อย่างใด
7	<p><u>สภาพดี</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดี</u> : มีปัญหาเพียงเล็กน้อย มีรอยแตกซึ่งสามารถอุดได้ (Sealable Cracks) มี Scaling เล็กน้อย พื้นที่ทั้งหมดของ Deck มีการชำรุดน้อยกว่า 10% โดยรวมบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมหรือต้องการการซ่อมแซมแล้ว
5	<p><u>สภาพดีพอใช้</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดีเป็นที่น่าพอใจ</u> : มีการเสื่อมสภาพเพียงเล็กน้อย มีรอยแตกแบบเปิด (Open Cracks) ในระยะห่าง ภายใน 5 ฟุต ซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีเชื้อเกลือ (Efflorescence) ก็ได้ มี Scaling ปานกลาง มี Spalling น้อยกว่า 2% พื้นที่ทั้งหมดของ Deck มีการชำรุดน้อยกว่า 20% โดยรวมบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมหรือต้องการการซ่อมแซมแล้ว Deck มีการ Water-Saturated น้อยกว่า 20% ไม่มี Full Depth Failure ● <u>สภาพดีพอเป็นที่ยอมรับได้</u> : มีรอยแตกมากพอที่จะทำให้เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีต (Spalling) ได้ถึง 2-5% Deck มี Scaling 20-40% มี Depth Failure และ Leaching บ้าง
3	<p><u>สภาพทรุดโทรมถึงโทรมมาก</u> มีรายละเอียดดังต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพทรุดโทรม</u> : มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างมากและมีการเสื่อมสภาพและการหลุดล่อนของคอนกรีตค่อนข้างมากด้วย โดยมี Spalling มากกว่า 5% และ Deck มีการเสื่อมสภาพ (Deteriorated) หรือกำลังถูกทำให้เสื่อมสภาพ (Contaminated) มี Full Depth Cracks เป็นจำนวนมาก มี Leaching อยู่ทั่วไปบน Deck ● <u>สภาพทรุดโทรมมาก</u> : มากกว่า 60% ของ Deck มี การ Water-Saturated และ/หรือมีการเสื่อมสภาพ (Deteriorated) หรือกำลังถูกทำให้เสื่อมสภาพ (Contaminated)
1	<p><u>สภาพวิกฤต</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพวิกฤต</u> : ส่วนใหญ่ของ Deck มี Full Depth Failure อยู่ทั่วไป
0	<p><u>สภาพเกือบพังทลายและสภาพพังทลาย</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพเสี่ยงต่อการพังทลาย</u> : สะพานถูกปิด มีการสูญเสียหน้าตัดและการเสื่อมสภาพอย่างมาก ในชิ้นส่วนสำคัญของโครงสร้าง การแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น อาจจะช่วยให้มีการใช้งานสะพานเบาๆ ได้ ● <u>สภาพพังทลาย</u> : ไม่สามารถใช้งานได้ และอยู่ในสภาพเกินกว่าจะแก้ไขได้

6.2 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนบน

Superstructures ที่เป็นคอนกรีต จะถูกแยกเป็นหลายแบบโดยขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการก่อสร้าง คือ แบบหล่อในที่หรือแบบสำเร็จรูป (Cast in Place or Precast) และกรรมวิธีในการเสริมเหล็ก คือ เสริมเหล็กธรรมดาหรือเสริมเหล็กอัดแรง (Conventional Reinforcement or Prestressed) สะพานคอนกรีตรุ่นเก่าๆ โดยเฉพาะรุ่นก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 จะเน้นสะพานคอนกรีตหล่อในที่ (Cast in Place) สะพานคอนกรีตในยุคใหม่ส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างสำเร็จรูปหรือหล่อในที่ แต่เสริมเหล็กอัดแรง (Precast)

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการเสริมเหล็ก ในอีก 2 ส่วนข้างหน้า จะอธิบายถึงการตรวจสอบ Superstructure ที่มีการเสริมเหล็กแบบต่างๆ ไป และแบบเสริมเหล็กอัดแรง

รอยตำหนิตัวไป ก่อนที่จะเริ่มการตรวจสอบ เราควรทำความเข้าใจกับความหมายของรอยตำหนิตัวไป ที่เกิดขึ้นบนสะพานคอนกรีต ดังนี้

- การแตก (Cracking)
- การชะ (Scaling)
- การเลือนหลุด (Delamination)
- การหลุดล่อน (Spalling)
- การเป็นเกล็ด (Efflorescence)
- การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง (Prestressed Concrete Deterioration)
- การเกิดรูพรุนเหมือนรวงผึ้ง (Honey Combs)
- การหลุดออก (Pop-Outs)
- การฉีก (Wear)
- ความเสียหายจากการชน (Collision Damage)
- การสึกกร่อน (Abrasion)
- การเป็นสนิมของเหล็กเสริม (Reinforcing Steel Corrosion)
- ความเสียหายจากการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overloaded Damage)

6.2.1 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Inspection of Reinforced Concrete Structures)

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนของการตรวจสอบของ Superstructure ดังรายการต่อไปนี้

- แผ่นพื้นหล่อในที่ (Cast in Place Slab)
- คานรูปตัว T (Tee-Beams)
- คานช่วงยาวตลอด (Through Girder)
- โครงข้อแข็ง (Rigid Frame)

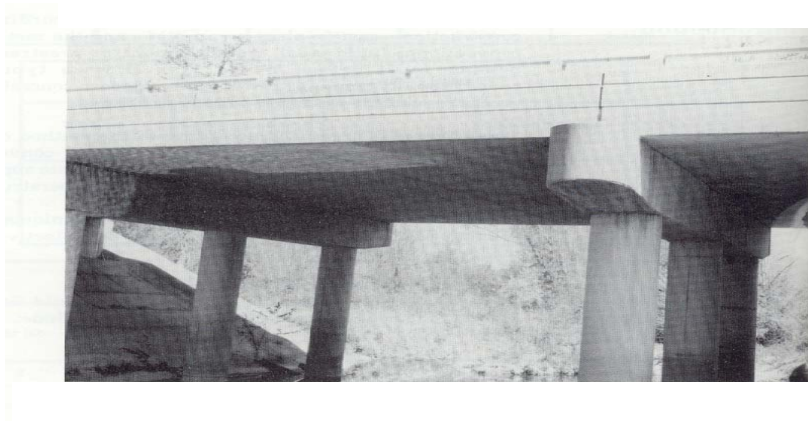


- คานรูปชาเนล (Channel Beams)
- คานโค้งแบบเปิด (Open Spandrel Arch)
- คานโค้งแบบปิด (Closed Spandrel Arch)

6.2.1.1 แผ่นคอนกรีตหล่อในที่ (Cast in Place Slab)

ลักษณะการออกแบบ แผ่นพื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่จะเป็นแบบที่ธรรมดาที่สุดในบรรดาสะพานคอนกรีต แผ่นคอนกรีตทำหน้าที่เหมือนคานขนาดกว้างแต่ตัน และตัวคานนี้จะทำหน้าที่เป็นแผ่นพื้นสะพานไปในตัวด้วย

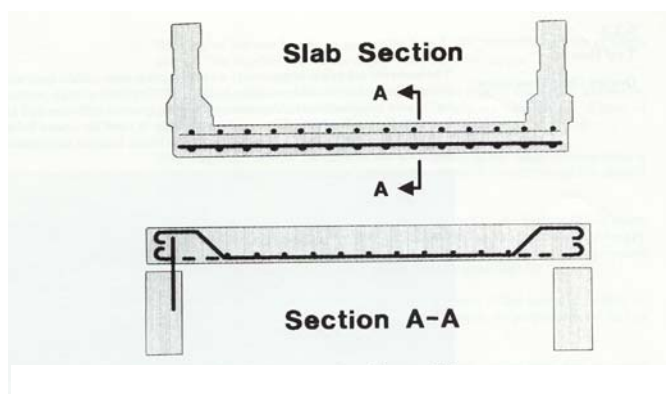
โดยปกติแล้วสะพานชนิดนี้จะเป็นสะพานช่วงเดียว และมีความยาวช่วงมีน้อยกว่า 10 เมตร แต่สะพานที่มีหลายช่วงก็เป็นนิยมทั่วไปเช่นกัน ดูรูปที่ 6-10



รูปที่ 6-10 สะพานแบบพื้นคอนกรีตหลายช่วง (Multi Span Slab Bridge)

เหล็กเสริม : เหล็กเสริมจะอยู่ที่ส่วนล่างของแผ่นพื้น เหล็กเสริมจะถูกวางจากตอม่อริมด้านหนึ่งไปยังตอม่อริมในด้านตรงข้าม และเหล็กเสริมหลักจะอยู่ในแนวขนานกับทิศทางจราจร

สำหรับสะพานที่มีหลายช่วงต่อเนื่องกัน เหล็กเสริมหลักเพิ่มพิเศษจะอยู่ด้านบนของแผ่นพื้น บริเวณเหนือ Pier เหล็กเสริมรองหรือที่รู้จักทั่วไปว่า คือ เหล็กเสริมรับอุณหภูมิและการหดตัว (Temperature and Shrinkage Steel) จะอยู่ที่ส่วนล่างของแผ่นพื้น และอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางจราจร ดูรูปที่ 6-11



รูปที่ 6-11 การเสริมเหล็กในคอนกรีต

องค์อาคารหลัก (Primary Members) : ของแผ่นพื้นแบบหล่อในที่ ก็คือ ตัวของแผ่นพื้นเอง

ขั้นตอนการตรวจสอบ : ขั้นตอนการตรวจสอบแผ่นพื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่ที่มีดังต่อไปนี้

- ให้ตรวจสอบบริเวณที่ติดตั้ง Bearing ว่ามีการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่ เพราะแรงเสียดทาน จากการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อน (Thermal Movement) และแรงดันจากการแบกทาน (Bearing pressure) สามารถทำให้เกิดการหลุดล่อนของคอนกรีตได้
- ให้ตรวจสอบพื้นที่ใกล้ๆ ฐานรองรับ (Supports) เพื่อหารอยแตกจากในแนวเฉียง ซึ่งรอยแตกในแนวเฉียงนี้จะเป็นสัญญาณบอกเหตุว่า แผ่นพื้นกำลังเริ่มวิบัติ เนื่องจากแรงเฉือน จะต้องทำการบันทึกและทำรายงานถึงลักษณะและขนาดของรอยแตกให้ครบถ้วน
- พื้นที่ที่รับแรงดิ่ง ควรจะได้รับการตรวจสอบว่ามีรอยแตกจากแรงดัด (Flexure Cracks) หรือไม่ รอยแตกนี้จะมีลักษณะแตกในแนวตั้งที่ด้านข้างของแผ่นพื้นและแนวขวาง ตลอดความกว้างของแผ่นพื้น หรือมีลักษณะที่ทำให้คอนกรีตเริ่มไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Disintegration of Concrete) รอยแตกนี้อาจบอกได้ว่ามี Bending Stress สูงมาก ให้ตรวจสอบหาการเกิดขี้เกลือ (Efflorescence) จากสภาพนี้ คอนกรีตมีสีเปลี่ยนไปเนื่องจากมีสนิมที่เหล็กเสริม (ดูรูปที่ 6-12) ในกรณีที่มีความเสียหายรุนแรงมาก อาจสามารถมองเห็นเหล็กเสริมได้ ให้ทำบันทึกและรายงานการสูญเสียเหล็กเสริมนี้ด้วย เพราะจะทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของแผ่นพื้นลดลง
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่สัมผัสกับการระบายน้ำจากผิวถนน เพื่อหาการเสื่อมสภาพของคอนกรีต โดยเฉพาะบริเวณรอบๆ ช่องระบายน้ำต่างๆ อาจพบการหลุดล่อนของคอนกรีตบริเวณของทางเท้าและเส้นของถนน
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่เกิดความเสียหายเนื่องจากการชน หรือไฟไหม้
- ให้ตรวจสอบหารอยแตกบริเวณมุมและเหลี่ยมต่างๆ ของสะพานเฉียง (Skewed Bridges)
- ให้ตรวจสอบหาการเลื่อนทางด้านข้าง (Lateral Displacement)



รูปที่ 6-12 Delamination และ Efflorescence ที่มี Rust Stains อยู่ที่ด้านล่างของ Slab



6.2.2 การตรวจสอบ Superstructure ที่เป็นคอนกรีตอัดแรง

(Inspection of Prestressed Concrete Superstructures)

มีการสร้างสะพานที่เป็นคอนกรีตอัดแรงนี้ มานานกว่า 50 ปีแล้ว ในคอนกรีตอัดแรงจะมีลวดอัดแรงที่มีกำลังสูง (High Strength) และได้รับการอัดแรง (Stressed) ก่อนหรือภายหลังที่จะมีการเทคอนกรีต

ชิ้นส่วนที่เป็นการอัดแรง (Prestressed) จะไม่ถูกออกแบบให้รับ Tensile Stress ถ้ามีการพบรอยแตกในโครงสร้างในชิ้นส่วนดังกล่าว จะถือว่าเป็นปัญหาสำคัญมากรอยแตกในชิ้นส่วนที่ได้รับการอัดแรงก่อนนี้ จะบอกได้ว่า ชิ้นส่วนกำลังมีปัญหาความไม่ปลอดภัยในโครงสร้าง และต้องแจ้งให้วิศวกรสะพานทราบโดยด่วน

สะพานที่ประกอบด้วยคานคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูปขนาดใหญ่ รูปตัวไอ (I) จะถูกออกแบบร่วมกับพื้นสะพานแบบผสม (Composite Decks) สะพานคอนกรีตอัดแรง จะถูกทำให้มีความต่อเนื่อง สำหรับน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Superimposed Dead Load) ที่เพิ่มมาเนื่องจากการใช้เหล็กเสริมไม่อัดแรง (Non-Prestressed Reinforcement) ในส่วน Deck Slab และใน Diaphragms เหนือ Piers

ในส่วนนี้จะบอกถึงแนวทางในการตรวจสอบสำหรับ Superstructure ที่เป็นคอนกรีตอัดแรงแบบต่างๆ ไป ได้แก่

- แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดมีรูกลวง (Precast Voided Slab)
- คานอัดแรงรูปกล่อง (Prestressed Box Beams)
- คานอัดแรงรูปตัวไอ และคานรูปตัวทีแบบมีกระเปาะ (Bulb – Tees)
- คานรูปกล่องขนาดใหญ่ (Box Girders)

6.2.2.1 แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดมีรูกลวง (Precast Voided Slab)

ลักษณะการออกแบบ : สะพานที่ใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดมีรูกลวงนี้ เป็นรูปแบบสะพานที่มาทดแทนสะพานที่ใช้แผ่นพื้นคอนกรีตแบบหล่อในที่ (Cast in Place Slab) โดยมีรูปแบบ คือ จะประกอบไปด้วย คานพื้นสำเร็จรูปเป็นชั้นๆ แล้วมาประกอบกันโดยให้มีรูกลวง (Voids) อยู่ตรงกลาง ซึ่งจะช่วยให้เกิดความประหยัดในการใช้วัสดุ และยังช่วยลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

หน่วยของแผ่นพื้นสำเร็จรูปนี้ จะใช้กับความยาวช่วงได้ถึง 21 เมตร แต่หน่วยจะมีความกว้าง 0.90 หรือ 1.20 เมตร และลึก 0.38 0.45 0.53 0.66 เมตร โดยหน่วยเหล่านี้จะได้รับการอัดแรงก่อน (Prestressed) หรือ อัดแรงภายหลัง (Posttensioned) ก็ได้ (ดูรูปที่ 6-13) และแต่ละหน่วยที่อยู่ติดกันจะต้องได้รับการอัดแรงภายหลังเพื่อให้ยึดติดกันแน่น โดยใช้แท่งเหล็กยึด (Tie Rods) และก็อุดด้วยน้ำปูน (Grout) ที่บริเวณสลักรับแรงเฉือน (Shear Keys) ซึ่งจะช่วยให้หน่วยของแผ่นพื้นมีพฤติกรรมเหมือนกับเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน (Monolithic) ในทางเทคนิคแล้ว จะมีการติดตั้งช่องระบายน้ำไว้ที่ส่วนล่างของแผ่นพื้นเพื่อช่วยในการระบายความชื้น

ลักษณะทางกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้แยกหน่วยแผ่นพื้นนี้ ให้ต่างจากคานรูปกล่อง (Box Beam) ได้ จะต้องมีกรอบทบทวนแผนในการออกแบบหรือแผนการก่อสร้างคานรูปกล่อง (Box Beam) จะมีรูกลวง (Void) รูปสี่เหลี่ยม เพียงรูเดียว โดยถูกล้อมรอบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบตัน (Solid) ได้เช่นกัน



รูปที่ 6-13 รูปแบบทั่วไปของสะพานแบบ Prestressed Slab Beam

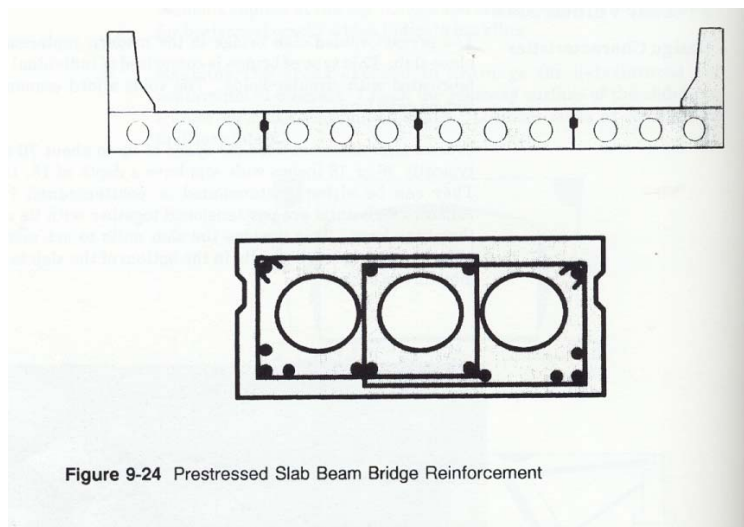


Figure 9-24 Prestressed Slab Beam Bridge Reinforcement

รูปที่ 6-14 เหล็กเสริมใน Prestressed Slab Beam

เหล็กเสริม : โดยทั่วไปแล้ว ลวดอัดแรง จะอยู่ที่ด้านล่างของแผ่นพื้น จะมีลวดที่ใส่ไว้หลวมๆ ที่บริเวณปีกของแผ่นพื้น (Webs) ขนาดของลวดจะแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของโครงสร้าง ลวดแต่ละเส้นจะห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร (ดูรูปที่ 6-16)

องค์อาคารหลัก : หน่วยของแผ่นพื้นทุกหน่วยจะเป็นองค์อาคารหลักของโครงสร้าง

ขั้นตอนการตรวจสอบ : ให้ตรวจ แผ่นพื้นสำเร็จรูปชนิดมีรูกลวงโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ให้ตรวจสอบบริเวณที่รองรับแรงแบกทาน (Bearing Areas) ว่ามีการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่ การหลุดล่อนของคอนกรีตที่สว่นปลายนี้จะนำไปสู่การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวของลวดอัดแรงในที่สุด



- ให้ตรวจสอบบริเวณใกล้ๆ กับจุดรองรับ (Supports) เพื่อหารอยแตกในแนวเฉียงหรือรอยแตกเนื่องจากแรงเฉือน
- ให้ตรวจสอบที่ด้านล่างของแผ่นพื้นว่ามีรอยแตกเนื่องจากแรงดัด (Flexure Cracks) หรือไม่ เนื่องจากคอนกรีตต้องรับแรงกด (Compressive Force) สูงมาก ฉะนั้นจึงไม่ควรมียรอยแตกให้เห็น ทั้งนี้รอยแตกจะเป็นปัญหาสำคัญมาก เนื่องจากมันจะบ่งบอกว่า มีการบรรทุกน้ำหนักมากเกินไป (Overloading) หรือการสูญเสียแรงที่อัดไว้ (Loss of Prestress) ควรต้องมีการวัดขนาดของรอยแตกทุกรอยโดยใช้ อุปกรณ์วัดรอยแตกโดยเฉพาะ (Optical Crack Gauge)
- ให้ตรวจสอบด้านบนของแผ่นพื้น (ถ้ามองเห็นได้) ที่อยู่ใกล้ๆ กับรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (Tensile Cracks) อันเป็นสาเหตุมาจากการเยื้องศูนย์ของการอัดแรง (Prestress Eccentricity) สิ่งนี้จะบ่งบอกว่ามีการอัดแรงมากเกินไป (Excessive Prestress Force)
- ให้ตรวจว่ามีอาการหย่อน (Sagging) หรือไม่ ซึ่งจะมีสาเหตุมาจากการสูญเสียการอัดแรง (Loss of Prestress)
- ให้ตรวจสอบว่ามีลวดอัดแรงโผล่ออกมาให้เห็นหรือไม่ ซึ่งจะทำให้ลวดอัดแรงนั้นเป็นสนิมเร็วขึ้น และจะวิบัติเร็วขึ้นด้วย ฉะนั้นประเด็นนี้จึงมีความสำคัญมาก
- ให้ตรวจสอบว่ามีรอยร้าวระหว่างแผ่นพื้นหรือไม่ และตรวจว่ามีรอยแตกที่ผิวการจราจรหรือไม่ ถ้ามีแสดงว่า หน่วยของแผ่นพื้นแต่ละหน่วยได้แยกออกจากกันแล้ว ต้องตรวจดูว่ามีการโก่งของแผ่นพื้น แผ่นใดแผ่นหนึ่ง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจราจรหรือไม่
- ให้ตรวจสอบพื้นที่ที่สัมผัสกับระบบระบายน้ำ ว่ามีการชำรุดเสียหายของคอนกรีตหรือมีคอนกรีตถูกเจือปนหรือไม่
- ให้ตรวจสอบหาการชำรุดเสียหายเนื่องจากการชน
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่ได้มีการซ่อมแซมมาก่อนหน้านี้

6.2.2.2 คานอัดแรงรูปกล่อง (Prestress Box Beams)

ลักษณะการออกแบบ : คานอัดแรงรูปกล่องได้รับความนิยมมานานกว่า 40 ปีแล้ว คานชนิดนี้ ถูกก่อสร้างให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมโดยมีช่องว่างอยู่ตรงกลางภายในพื้นที่หน้าตัด แต่เมื่อประมาณ 50 ปี ที่แล้ว มีจำนวนมากที่มีรูกลวงรูปวงกลมอยู่ตรงกลางแผ่นพื้น ส่วนบนและส่วนล่างของคาน จะมีพฤติกรรมเป็นปีกคาน (Flanges) ในขณะที่กำแพงทั้งสองข้างจะมีพฤติกรรมเป็นเอวของคาน (Webs)

โดยปกติแล้ว คานรูปกล่องจะมีความกว้าง 0.9 หรือ 1.2 เมตร และมีความลึก ตั้งแต่ 0.3-1.5 เมตร ส่วนความหนานั้น จะมีตั้งแต่ 7.5 -15 เซนติเมตร

การใช้งานของคานอัดแรงรูปกล่องจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ (ดูรูปที่ 6-15)

- คานรูปกล่องอยู่ชิดกัน (Adjacert Box Beams)
- คานรูปกล่องอยู่ห่างกัน (Spread Box Beams)

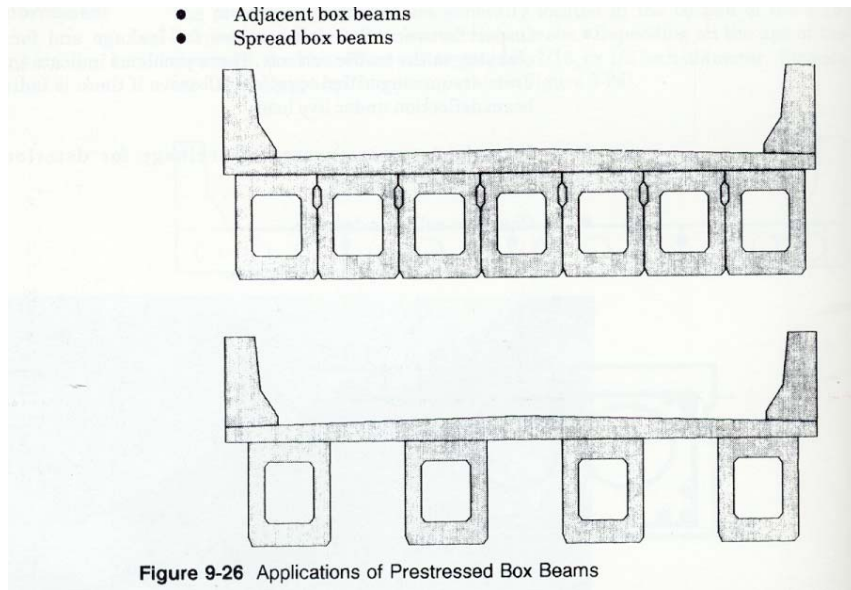


Figure 9-26 Applications of Prestressed Box Beams

รูปที่ 6-15 Applications of Box Beams

คานรูปกล่องอยู่ติดกัน (Adjacert Box Beams) คานรูปกล่องจะอยู่แนบชิดติดกัน ในยุคแรกๆ ของการใช้งานของสะพานชนิดนี้ ส่วนบนของคานรูปกล่องแต่ละตัวจะทำหน้าที่ เป็นส่วนพื้น (Deck) ของสะพาน แต่ในปัจจุบัน ส่วนพื้นของสะพาน จะเป็นแบบผสม (Composite) ของคอนกรีต ซึ่งถูกหล่อในที่ (Cast in Place) สำหรับช่วงสะพานที่ยาวกว่า และในช่วงสะพานสั้นๆ นั้น แผ่นพื้นสะพานจะถูกทับด้วยยางแอสฟัลท์ รูปแบบของคานรูปกล่องที่อยู่ติดกันนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า เป็นแบบ “คานรูปกล่องหลายตัว” (Multiple Boxes)

เช่นเดียวกับหน่วยที่เป็นแบบสำเร็จรูปทั่วไป คานรูปกล่องที่อยู่ติดกันจะต้องถูกดึงให้ยึดติดกัน (Post Tensioned) โดยใช้แท่งเหล็กยึดรั้ง (Tie Rods) และอุดด้วยน้ำปูน (Grout) ที่บริเวณสลักรับแรงเฉือน (Shear Keys) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการใช้งานที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (Monolithic)

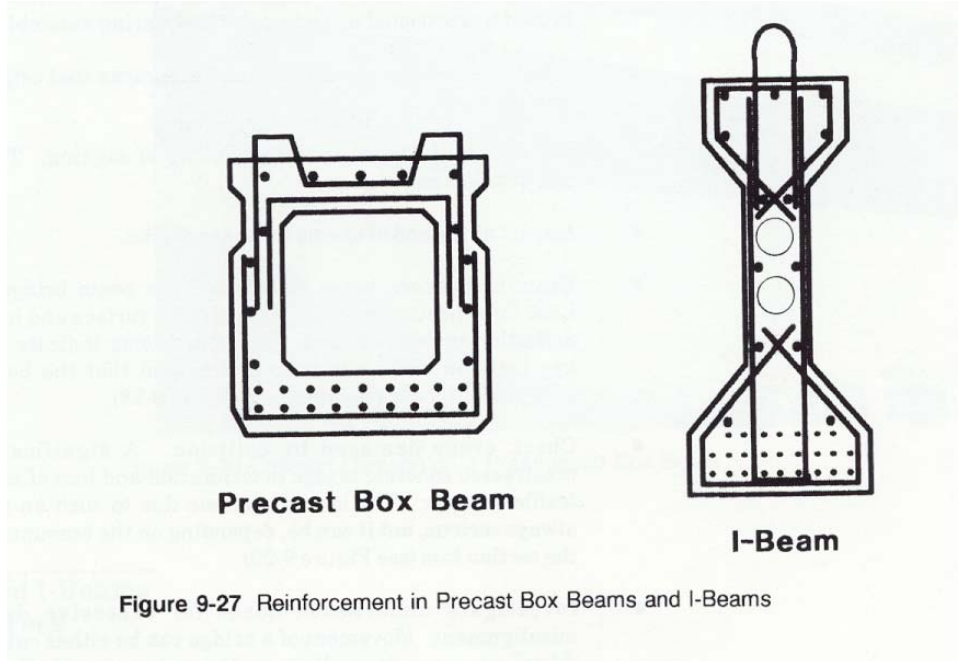
ความยาวช่วงของสะพานรูปแบบนี้ จะมีตั้งแต่ 6-40 เมตร โดยความยาวช่วงที่มีความคุ้มค่า (Economical) มากที่สุดจะอยู่ระหว่าง 12-27 เมตร

คานรูปกล่องในปัจจุบันจะมีช่องระบายน้ำ (Drain Holes) อยู่ที่ด้านล่างเพื่อระบายความชื้นภายในรูกล่อง

คานรูปกล่องอยู่ห่างกัน (Spread Box Beams) ในสะพานรูปแบบนี้ คานรูปกล่องจะอยู่ห่างกัน ประมาณ 0.6-1.8 เมตร และโดยปกติแล้วจะมีพื้นสะพานคอนกรีตเป็นแบบผสม และหล่อในที่ (Composite Cast in Place Concrete Deck) ซึ่งสามารถทำได้ สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วง 7.5-26 เมตร



เหล็กเสริม : ลวดอัดแรงจะอยู่ที่ด้านล่างของปีกคาน (Flange) และบางทีก็อยู่ที่ด้านล่างของเวดคานด้วย (Web Walls) ขนาดของลวดจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของโครงสร้าง โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.6–1.25 เซนติเมตร โดยปกติแล้ว ลวดอัดแรงจะอยู่ห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร (ดูรูปที่ 6-16) เหล็กปลอกจะถูกเสริมไว้เพื่อช่วยรับแรงเฉือน



รูปที่ 6-16 เหล็กเสริมใน Precast Box Beams และ I-Beam

องค์อาคารหลัก : คานรูปกล่องทุกตัว คือ องค์อาคารหลัก

องค์ประกอบรอง : มีอยู่เพียงอย่างเดียว คือ External Diaphragms ซึ่งอยู่บนสะพานและจะพบอยู่ในสะพานที่ใช้คานรูปกล่องแบบอยู่ห่างกัน เท่านั้น Diaphragms นี้จะเป็นคอนกรีตหล่อในที่ แบบสำเร็จรูป หรืออาจเป็นเหล็กก็ได้ โดยจะต้องตรวจสอบเช่นเดียวกับการตรวจสอบคาน

คานรูปกล่องส่วนใหญ่จะมี Diaphragms ภายในซึ่งจะช่วยให้มีความแข็งแรง เช่นเดียวกับแท่งเหล็กยึดรั้ง ที่ยึดคานกล่องให้อยู่ติดกันได้

ขั้นตอนการตรวจสอบ : เนื่องจากว่าคานรูปกล่องถูกออกแบบให้เป็นชิ้นส่วนที่ให้คอนกรีตรับแรงอัดเท่านั้น รอยแตกจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะบอกได้ว่า กำลังมีปัญหาสำคัญเกิดขึ้น ด้วยเหตุผลนี้เอง จึงต้องให้มีการตรวจสอบและวัดขนาดรอยแตก ด้วยอุปกรณ์วัดรอยแตกโดยเฉพาะ (Optical Crack Gauge) พร้อมทั้งให้มีการทำเอกสารรายละเอียดไว้ด้วย

- ให้ตรวจสอบที่ด้านบนของส่วนปลายของคานว่ามีรอยแตกในแนวนอนหรือในแนวตั้งหรือไม่ รอยแตกเหล่านี้จะบ่งชี้ถึง การเสื่อมสภาพของเหล็กเสริม รอยแตกเหล่านี้ เป็นสาเหตุมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีการถ่ายเทแรงเมื่อทำการอัดแรงให้คาน
- ให้ตรวจสอบส่วนล่างของคาน โดยเฉพาะที่บริเวณกึ่งกลางคาน เพื่อหารอยแตกเนื่องจากแรงดัด ซึ่งจะบ่งชี้ว่ามีปัญหาที่สำคัญมาก โดยมีสาเหตุมาจากการบรรทุกน้ำหนักมากเกินไป หรือ การสูญเสียแรงอัด

- ให้ตรวจสอบหารอยแตกที่ด้านข้างของคาน สำหรับคานรูปกล่องที่อยู่ติดกัน เราจะมองเห็นเฉพาะด้านที่เป็นเชิงชาย (Fascias) สำหรับคานที่อยู่ด้านในให้ตรวจสอบหารอยแตกที่การลบมุมด้านล่าง (Bottom Chamfers) ซึ่งอาจจะยาวต่อเนื่องไปจนถึงด้านข้างของคาน
- ให้ตรวจสอบคานในบริเวณที่อยู่ใกล้จุดรองรับ (Supports) ว่ามีรอยแตกในแนวตั้ง หรือไม่ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ที่จำกัด ของการประกอบแผ่นรองสะพาน (Bearing Assemblies)
- ให้ตรวจสอบที่ด้านล่างของคานเพื่อหารอยแตกในแนวขนานกัน (Parallel Cracks) ซึ่งมีจุดเริ่มต้นมาจากตำแหน่งจุดที่ตั้งของแผ่นรองสะพาน
- ให้ตรวจสอบว่ามีการหย่อน (Sagging) ของคานหรือไม่ สิ่งนี้จะบอกได้ว่า คานได้สูญเสียแรงอัดไป
- ให้ตรวจสอบที่ส่วนปลายของคาน เพื่อหารอยแตกเนื่องจากแรงเฉือน
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่คานรูปกล่องที่อยู่ติดกันว่ามีรอยรั่ว (Leakage) หรือไม่ และให้ตรวจหาว่ามีรอยแตกที่ผิวการจราจรด้วย รวมทั้งตรวจสอบว่ามีการโก่งของคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกหรือไม่ ปัญหาต่างๆ เหล่านี้จะบอกได้ว่าเกิดการเสียหายของสลักกับแรงเฉือน (Shear Key) จึงทำให้คานรูปกล่องแต่ละตัวทำงานแยกจากกัน (ดูรูปที่ 6-17)
- ให้ตรวจหาบริเวณที่ได้รับความเสียหายจากการชน เพราะว่าความชำรุดเสียหายของสะพานคอนกรีตและความสูญเสียพื้นที่หน้าตัด จะมีสาเหตุสำคัญมาจากการจราจร ไม่ว่าจะการสูญเสียคอนกรีตเนื่องจากอุบัติเหตุต่างๆ นั้น จะเป็นปัญหาสำคัญเสมอไป แต่ก็สามารถเป็นได้เช่นกัน โดยจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณ และตำแหน่งของการสูญเสียหน้าตัด
- ให้ตรวจสอบบริเวณใต้คานรูปกล่อง ว่ามีการโก่งมากเกินไป (Excessive Deflection) และการจัดวางผิดตำแหน่ง (Misalignment) หรือไม่ การเคลื่อนตัวของสะพานนั้น สามารถเป็นทั้งความเสียหายอันใหญ่หลวง หรือเป็นปัญหาเล็กๆ น้อยๆ ก็ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของการเคลื่อนตัว
- สำหรับสะพานที่เก่าแล้วให้ตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าช่องระบายน้ำต่างๆ ยังคงเปิดอยู่



รูปที่ 6-17 Leaking Joints ที่ระหว่าง Boxesที่อยู่ติดกัน

6.2.2.3 คานอัดแรงรูปตัวไอ และคานรูปตัวทีแบบมีกระเปาะ (Prestressed I Beam and Bulb-Tees)

ลักษณะการออกแบบ : คานอัดแรงรูปตัวไอและรูปตัวทีแบบมีกระเปาะนี้ เป็นรูปแบบการใช้วัสดุที่คุ้มค่า เนื่องจากมวลของคอนกรีตส่วนใหญ่ ถูกเลื่อนออกไปจากแนวแกนสะเทิน (Neutral Axis) ของคาน

การที่จะใช้คานคอนกรีตมีรูปร่างแบบไหนนั้น จะขึ้นอยู่กับความต้องการเป็นเฉพาะอย่างไร้ คานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ สามารถใช้ได้กับความยาวช่วงตั้งแต่ 6-45 เมตร และจะมีความคุ้มค่ามากที่สุด เมื่อมีความยาวช่วง 18-35 เมตร

เพื่อให้เกิดความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น สำหรับสะพานที่มีความยาวหลายๆ ช่วง (Multi-Span) คานอัดแรงรูปตัวไอ จะถูกทำให้มีความต่อเนื่องสำหรับรับน้ำหนักบรรทุกจร (ดูรูปที่ 6-18) และจะสัมฤทธิ์ผลเมื่อเกิดพฤติกรรมแบบผสมต่อเนื่อง (Continuous Composite Action) ของพื้นสะพาน (Deck) และการยึดเหนี่ยวเชิงกล (Mechanical Anchorage) ของเหล็กเสริม ที่อยู่โนแฉงยึดส่วนปลาย (End Diaphragm) ทั่วๆ ไป การใช้แรงดึงภายในภายหลัง (Posttensioning) แก่คานนั้น ก็ช่วยให้เกิดความต่อเนื่องขึ้นมาได้ แฉงพืดคอนกรีตชนิดที่หล่อในที่ (Cast in Place) จะเป็นกรอบรอบๆ ตัวคานที่อยู่บริเวณตอม่อต่างๆ



รูปที่ 6-18 สะพานแบบ Prestressed I-Beam

เหล็กเสริม : ลวดเหล็กอัดแรงจะถูกเสริมอย่างสมดุลที่บริเวณด้านล่างของตัวคาน ขนาดลวดเหล็กอัดแรงจะมีหลายขนาด คือ เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.9, 1.1 หรือ 1.25 เซนติเมตร โดยลวดอัดแรงจะอยู่ห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร ลวดเหล็กอัดแรงของส่วนเว้าคาน (Web) สามารถปล่อยให้หลวมๆ ได้ หรืออยู่ในสภาพที่ไม่ถูกแรงยึดเหนี่ยวเป็นบางส่วน

องค์อาคารหลัก : ตัวคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I-Beam) คือ องค์อาคารหลักของสะพาน

องค์อาคารรอง : ได้แก่ End Diaphragm และ Intermediate Diaphragms โดยปกติแล้ว End Diaphragm จะมีความลึกแบบเต็ม (Full Depth) และจะอยู่ที่ Abutments ส่วน Intermediate Diaphragms จะเป็นแบบไม่เต็มความลึก Partial Depth และจะใช้ที่อยู่ภายในของช่วงสะพานที่มีความยาวช่วงมากๆ

ขั้นตอนการตรวจสอบ : ให้ตรวจสอบสะพานที่ใช้คานอัดแรงรูปตัวไอและรูปตัวที แบบมีกระเปาะ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ให้ตรวจสอบพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแผ่นรองสะพาน (Bearing) และบริเวณ End Diaphragm แบบหล่อในที่ (Cast in Place) ว่ามีการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่
- ให้ตรวจสอบ Fixed Diaphragms ว่ามีรอยแตกในแนวทแยงหรือไม่ เพราะอาจเป็นสัญญาณเตือนภัยว่ามีการวิบัติโดยแรงเฉือน (Shear Failure) เนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง
- ให้ตรวจสอบ Intermediate Diaphragms ว่ามีรอยแตกในแนวทแยง และการหลุดล่อนของคอนกรีตหรือไม่
- ให้ตรวจสอบหารอยแตกทางยาวที่ส่วนผิวของปีกคาน (Beam Flange Surfaces) ซึ่งอาจเป็นสิ่งบ่งชี้ได้ว่ามีการเสื่อมสภาพของเหล็กเสริมอัดแรง
- ให้ตรวจสอบบริเวณที่รับแรงดึงและแรงเฉือน ของคานว่ามีรอยแตกหรือไม่ ถ้าพบรอยแตกจะต้องทำการวัดขนาดด้วยอุปกรณ์วัดรอยแตกโดยเฉพาะ (Optical Crack Gauge) และบันทึกไว้เป็นเอกสาร
- ให้ตรวจสอบส่วนด้านใต้คานโดยให้ดูการจัดวางคาน และระยะเพื่อการโค้งตัวของคาน (Camber) ถ้าพบว่ามี การโก่งตัว (Deflection) ก็แสดงว่ามีการสูญเสียแรงอัดในลวดเหล็กอัดแรง (Loss of Prestress)
- ให้ตรวจสอบอย่างละเอียดในบริเวณที่ได้รับการซ่อมแซมมาก่อนหน้านี้ โดยให้ตรวจสอบว่า พื้นที่ที่ได้รับการซ่อมแซมไปแล้วนั้น สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม การซ่อมแซมที่มีประสิทธิภาพ จะถูกจำกัดไว้เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กเสริมอัดแรง และเหล็กเสริมปกติ ออกมาสัมผัสกับสภาพภายนอก

6.2.3 หลักการให้คะแนนการประเมินสภาพของ Superstructure ที่เป็นคอนกรีต (Evaluation of Concrete Superstructures)

6.2.3.1 สภาพโดยรวม (Overall Condition)

ชิ้นส่วนต่างๆ ของ Superstructure: ผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องทำการประเมิน แต่ละชิ้นส่วนของ Superstructure และนำไปเข้าระบบการให้คะแนนการประเมินสภาพ (Condition Rating) ซึ่งเป็นหลักการพิจารณาในส่วนของ ความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้าง (Structural Capacity) ทั้งนี้ การที่จะทำการประเมินได้ ก็ต้องอาศัยการ ฝึกฝน และประสบการณ์ ซึ่งล้วนแต่เป็นสิ่งจำเป็นในการประเมินทั้งสิ้น

ในการระบุ และการบันทึกสภาพของแต่ละชิ้นส่วนนั้น บันทึกของผู้ทำการตรวจสอบ จะต้องอธิบายถึงประเภท ปริมาณ และระดับความเสียหาย ของความชำรุดเสียหายแต่ละประเภท ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการประเมินที่สมบูรณณ์แบบของ ชิ้นส่วนทุกส่วนของ Superstructure และจะเป็นการนำเสนอผลการตรวจสอบที่มีความละเอียดมากด้วย

ส่วนประกอบของโครงสร้างส่วนบน (Superstructure Component) : เมื่อแต่ละชิ้นส่วน (Element) ของ Superstructure จะต้องได้รับการตรวจสอบแล้ว ส่วนประกอบ (Component) จะได้รับผลโดยรวมจากการให้คะแนนการ ประเมินสภาพไปด้วย ฉะนั้น สภาพของแต่ละชิ้นส่วนที่ระบุมานั้น จะต้องได้รับการพิจารณาเพื่อที่จะได้จัดตั้งการประเมิน สภาพของ Superstructure ขึ้นมา ผลการประเมินสภาพโดยรวมของ Superstructure จะถูกตัดสินโดยขึ้นอยู่กับพื้นฐาน ของการประเมินเชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation) หรือการประเมินเชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation)



การประเมินเชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation) : จะขึ้นอยู่กับปริมาณของชิ้นส่วนที่มีความชำรุดเสียหายเป็นพิเศษ

การประเมินเชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation) : จะขึ้นอยู่กับ หลักการของ “Weak-Link” ซึ่งเป็นตัวประเมินระดับความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วน หลักการนี้จะถูกจำกัดไว้ เฉพาะสถานการณ์ที่ความเสียหายของชิ้นส่วนอาจจะก่อให้เกิดความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานลดลง

ผู้ที่ทำการตรวจสอบไม่ควรจะพยายามประเมินสภาพของชิ้นส่วนออกมาเป็นตัวเลข เพื่อหวังที่จะใช้ค่าเฉลี่ยสำหรับการให้คะแนนการประเมินสภาพโดยรวมของ Superstructure

6.2.3.2 ความสามารถในการรับน้ำหนัก (Load Capacity)

ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน จากการออกแบบนั้น จะไม่ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจให้คะแนนการประเมินสภาพ ความเป็นจริงที่ว่า สะพานถูกออกแบบมาเพื่อรับน้ำหนักที่มีค่าน้อยกว่าค่าที่จำกัดไว้ในปัจจุบัน จะไม่ส่งผลต่อการให้คะแนนการประเมินสภาพของสะพาน

อย่างไรก็ตาม ผู้ที่ทำการตรวจสอบพึงระลึกไว้เสมอว่า ระดับความเสียหายของการชำรุดสึกหรอในชิ้นส่วนสำคัญๆ ควรจะถูกประเมินในรูปแบบของปริมาณของการชำรุดเสียหาย ว่าจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักขององค์อาคารนั้นได้มากเพียงใด

6.2.3.3 การให้คะแนนการประเมินสภาพ (Condition Rating)

ตัวเลขจริงๆ ของการให้คะแนนการประเมินสภาพ ต่อส่วนประกอบของ Superstructure นั้น ควรจะขึ้นอยู่กับสภาพของโครงสร้างที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบัน โดยเปรียบเทียบกับสภาพของโครงสร้างเมื่อสร้างเสร็จใหม่ๆ

การให้คะแนนเป็นตัวเลขอย่างเหมาะสม จะเป็นการผนวกระหว่าง ความคิดเห็นของผู้ทำการตรวจสอบ และการใช้หลักเกณฑ์ สำหรับการพิจารณาอย่างเหมาะสม โดยหลักเกณฑ์การพิจารณาดังกล่าว ก็ได้รวมไว้แล้วในคู่มือเล่มนี้

การประเมินสภาพนี้รวมทั้งการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งหมด โดยจะต้องมีหลักการประเมินที่สอดคล้องกับการประเมินสภาพโดยรวม

ชิ้นส่วนโครงสร้างจะต้องได้รับการตรวจสอบหาสิ่งบอเหตุว่ากำลังอยู่ในอันตรายใดๆ หรือไม่ สิ่งเหล่านี้ ได้แก่ รอยแตกต่างๆ การเสื่อมสภาพของคอนกรีต การสูญเสียหน้าตัด และสิ่งบอเหตุอื่นๆ ที่มีสาเหตุมาจากการทำงานผิดปกติ หรือการถูกวางผิดตำแหน่ง ของแผ่นรองสะพาน (Bearings)

สภาพของ Bearing รอยต่อ ระบบการทาสี ต่างๆเหล่านี้ จะไม่ถูกรวมไว้ใน การให้คะแนน เว้นแต่จะอยู่ในสภาพที่มีผลกระทบต่อระบบของโครงสร้างมากๆ แต่ก็ไม่ควรจะถูกบันทึกไว้ในแบบฟอร์มการตรวจสอบ

สำหรับสะพานที่มีพื้น (Deck) เป็นส่วนที่อยู่รวมกันเป็นชิ้นเดียวกับ Superstructure (Integral with Superstructure) นั้น การให้คะแนนการประเมินสภาพของ Superstructure ก็อาจจะได้รับผลกระทบจากสภาพของแผ่นพื้นสะพาน (Deck) ผลลัพธ์โดยรวมของการให้คะแนนการประเมินสภาพของ Superstructure อาจจะมีค่าต่ำกว่าคะแนนของการประเมินสภาพแผ่นพื้นสะพาน ซึ่งจะอยู่ในกรณีของคานสะพาน (Girders) ได้รับความชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพไป ส่วนของค้ำอาคารที่เสี่ยงต่อรอยแตก ก็ควรจะได้รับ การตรวจสอบอย่างระมัดระวัง เพราะถ้าองค้ำอาคารเหล่านั้นเกิดการวิบัติ ก็จะเป็นการนำไปสู่การพังทลายของสะพานทั้งหมด

ตารางที่ 6-2 แนวทางทั่วไปในการให้คะแนนการประเมินสภาพ Superstructure ทุกรูปแบบ

คะแนน	รายละเอียด
9	<p><u>สภาพดีมากถึงดีเยี่ยม</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>สภาพดีเยี่ยม</u> : ไม่มีความเสียหายใดๆ ที่จะมีผลกระทบต่อสภาพของสะพาน • <u>สภาพดีมาก</u> : มีความเสียหายจากการชน เพียงเล็กน้อย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแนวการจัดวาง และไม่จำเป็นต้องมีการแก้ไขใดๆ
7	<p><u>สภาพดี</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>สภาพดี</u> : Superstructure มีการเคลื่อนที่ ในแนวยาวหรือแนวขวางเพียงเล็กน้อย
5	<p><u>สภาพดีพอใช้</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>สภาพเป็นที่น่าพอใจ</u> : มีความเสียหายจากการชนเพียงเล็กน้อยในชั้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้าง Superstructure ที่ผ่านการซ่อมแซมมาก่อนจะถูกจัดให้มีสภาพไม่ให้เกิดระดับนี้ เว้นแต่จะได้รับการฟื้นฟูสภาพมาอย่างสมบูรณ์แบบ • <u>สภาพพอใช้</u> : ชั้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้างมีความเสียหายจากการชนมากพอสมควร แต่ไม่ร้ายแรง
3	<p><u>สภาพทรุดโทรม</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>สภาพทรุดโทรม</u> : มีความเสียหายจากการชนที่เข้าชั้นวิกฤต จึงจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันเบื้องต้น เช่น การเสริมนั่งร้าน หรือการจำกัดน้ำหนักบรรทุก • <u>สภาพทรุดโทรมมาก</u> : ชั้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้างได้รับความเสียหายมากและมีการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะต้องมีการเสริมนั่งร้าน และใช้เหล็กตามช่วย หรือการเปลี่ยนชั้นส่วนนั้นใหม่
1	<p><u>สภาพวิกฤต</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>สภาพวิกฤต</u> : ชั้นส่วนที่รับน้ำหนักโครงสร้างมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความมั่นคงและความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน
0	<p><u>สภาพเกือบพังทลายและสภาพพังทลาย</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>สภาพเกือบพังทลาย (Imminent Failure Condition)</u> : ต้องปิดสะพาน การซ่อมแซมแก้ไขจะช่วยทำให้ใช้สะพานในงานเบาๆ ได้ • <u>สภาพพังทลาย (Failed)</u> : ต้องปิดสะพาน และต้องสร้างใหม่เพื่อทดแทน



ตารางที่ 6.3 แนวทางสำหรับการให้คะแนนการประเมิน Superstructure ที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC)

คะแนน	รายละเอียด
9	<p><u>สภาพดีเยี่ยม</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดีเยี่ยม</u> : ไม่มีร่องรอยความเสียหายใดๆ ● <u>สภาพดีมาก</u> : ไม่มีปัญหาใดๆ ที่ชัดเจนไม่ต้องมีการซ่อมแซม มีความเสียหายจากการชนเล็กน้อยแต่ไม่ต้องซ่อม ถ้าเป็นแบบผสม(Composite) คานรูปกล่อง (Box) หรือคานรูปตัวที (Tee Beam) ถ้าให้พิจารณาส่วนพื้นสะพาน (Deck) รวมกับการประเมิน Superstructure ด้วย มีรอยร้าวขนาดเล็กมาก และอาจได้รับการฟื้นฟูมาแล้วเป็นอย่างดี
7	<p><u>สภาพดี</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดี</u> : มีปัญหาเพียงเล็กน้อยซึ่งทำการแก้ไขได้โดยการซ่อมแซมตามระยะเวลา (Routine Maintenance) Superstructure มีการเคลื่อนที่ในแนวขวางหรือในแนวยาวเพียงเล็กน้อย มีรอยแตกร้าวขนาดเล็กมาก (Hairline Cracks) โดยไม่ทำให้ชิ้นส่วนคอนกรีตเสื่อมสภาพ มีรอยต่างเล็กน้อย
5	<p><u>สภาพดีพอใช้</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพดีเป็นที่น่าพอใจ</u> : มีการเสื่อมสภาพเพียงเล็กน้อย มีความเสียหายที่เกิดจากการชนเล็กน้อย ในชิ้นส่วนที่ไม่ได้รองรับโครงสร้าง ต้องการให้มีการซ่อมบำรุงครั้งสำคัญ เป็นสภาพดีที่สุดในกรณีที่ไม่ได้รับการซ่อมแซมฟื้นฟูมาก่อน มีความเสียหายเล็กน้อย ที่ส่วนปลายแผ่นพื้นปลายคาน และลำตัวของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ถ้าแผ่นพื้นสะพานเป็นแบบชิ้นส่วนเดียวกัน (Integral Deck) ก็ให้พิจารณาแผ่นพื้นสะพานรวมกับการประเมินสภาพ Superstructure ด้วย มีการชะล้างเล็กน้อย และไม่มี การเคลื่อนตัวของชั้นผิว (No Delamination) ● <u>สภาพดีพอเป็นที่ยอมรับได้</u> : ชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งหมดมีสภาพดี แต่อาจมีรอยแตกหรือการหลุดล่อนของคอนกรีตบ้างเล็กน้อย ชิ้นส่วนประกอบชนิดรอง (Secondary) อาจมีการเสื่อมสภาพค่อนข้างมาก ในสภาวะนี้จำเป็นจะต้องได้รับการฟื้นฟูสภาพไม่มีการสูญเสียหน้าตัดของเหล็กเสริมเหล็ก แผ่นรองสะพาน (Bearing) ต้องการได้รับการดูแล หรือแผ่นรองพื้นใช้การไม่ได้ การชำรุดเสียหายและการเสื่อมสภาพค่อนข้างมาก ที่ส่วนปลายของแผ่นพื้น ส่วนปลายของคาน และส่วนปลายของชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป ถ้าแผ่นพื้นสะพานเป็นแบบเนื้อต่อเนื่องกัน (Integral) ก็ให้พิจารณาแผ่นพื้นสะพานรวมกับการประเมินสภาพของ Superstructure ด้วย
3	<p><u>สภาพทรุดโทรมถึงโทรมมาก</u> มีรายละเอียดดังต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพทรุดโทรม</u> : มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างมากและมีการเสื่อมสภาพและการหลุดล่อนของคอนกรีตค่อนข้างมากด้วย เหล็กเสริมเหล็กยังคงมีแรงยึดเหนี่ยวอยู่ ถึงแม้ว่าจะโผล่ออกมาให้เห็น มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมน้อยมาก ชิ้นส่วนที่รองรับโครงสร้าง ได้รับความเสียหายจากการชนมาก และต้องได้รับการป้องกันเบื้องต้น เช่นการตั้งค้ำยัน เพื่อรองรับ แผ่นรองสะพานไม่ทำงานทำให้เกิดปัญหาและ Superstructure หรือโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ไม่มีร่องรอยความเสียหายใดๆ ต่อคอนกรีตที่อยู่ในกล่องเหล็ก (Steel Cage) ที่

	<p>เป็นองค์อาคารในการรับแรงกด (Compression)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพทรุดโทรมมาก</u> : มีการสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก, การเสื่อมสภาพ และการหลุดล่อนของคอนกรีต ซึ่งส่งผลกระทบต่อองค์อาคารโครงสร้างหลัก ต้องได้รับการซ่อมแซมหรือการฟื้นฟูสภาพโดยเร็วที่สุด ขึ้นส่วนที่รองรับโครงสร้างมีการชำรุดเสียหาย และเสื่อมสภาพ จึงจำเป็นต้องมีการใช้ค้ำยัน (Shoring) และเหล็กคาน (Splice) หรือการสร้างชิ้นส่วนใหม่แทนของเก่า มีการเสื่อมสภาพของคอนกรีตอย่างรุนแรง มีรอยแตกเนื่องจากแรงเฉือน มีรอยแตกขนาดกว้างเนื่องจากแรงดัด มีการเปลี่ยนสีของคอนกรีตตามแนวเหล็กเสริม คอนกรีตเสื่อมหลุดออกจากเหล็กเสริมหลัก แกนกลางของเสาคอนกรีตได้รับผลกระทบต่างๆ ให้พิจารณาสภาพของแผ่นพื้นสะพานด้วย ถ้าเป็นส่วนหนึ่งกับคาน ต้องให้มีการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักใหม่ และจะเป็นการรอบคอบดีมาก โดยจัดให้มีการปรึกษากับวิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญ
<p>1</p>	<p><u>สภาพวิกฤต</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <p><u>สภาพวิกฤต</u> : มีการเสื่อมสภาพอย่างมากที่ชิ้นส่วนสำคัญของโครงสร้าง และต้องการการซ่อมแซมหรือการฟื้นฟูสภาพโดยด่วนที่สุด อาจมีรอยแตกอันเนื่องมาจากแรงเฉือนและมีขนาดกว้าง องค์อาคารสำคัญที่ทำหน้าที่รับแรงกดจะมีการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Deformation) คอนกรีตรอบๆ เหล็กเสริมจะเสื่อมสภาพและสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่ส่วนปลาย (End Anchorage) จำเป็นจะต้องมีการประเมินค่าความสามารถในการรองรับน้ำหนักใหม่ ให้แจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามความจำเป็น และให้มีการปรึกษากับวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ (รอบรู้) อีกทั้งต้องให้มีการปิดสะพานจนกว่าจะมีการแก้ไขปัญหาให้เรียบร้อย</p>
<p>0</p>	<p><u>สภาพเสี่ยงต่อการพังทลายและสภาพพังทลาย</u> มีรายละเอียดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>สภาพเสี่ยงต่อการพังทลาย</u> : สะพานถูกปิด มีการสูญเสียหน้าตัดและการเสื่อมสภาพอย่างมากในชิ้นส่วนสำคัญของโครงสร้าง การแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น อาจจะช่วยให้มีการใช้งานสะพานเบาๆ ได้ ● <u>สภาพพังทลาย</u> : ไม่สามารถใช้งานได้ และอยู่ในสภาพเกินกว่าจะแก้ไขได้

6.3 การตรวจสอบแผ่นยางรองรับสะพาน

Bearing เป็นชิ้นส่วนของ Superstructure ซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมโยงระหว่าง Superstructure และ Substructure โดย Bearing มีหน้าที่หลัก 3 ประการ (ดังแสดงในรูปที่ 6-19) คือ

1. เพื่อส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจาก Superstructure ไปยัง Substructure
2. เพื่อให้โครงสร้างหลักสามารถเคลื่อนตัวตามแนวยาว เนื่องจากการขยายตัวจากความร้อนและการหดตัวได้
3. เพื่อรองรับการหมุน (Rotation) เนื่องจากการโก่งตัวโดยน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)



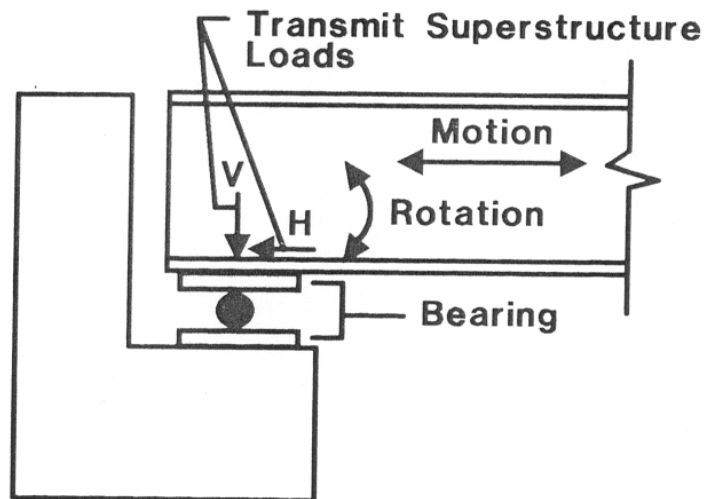
6.3.1 ประเภทของ Bearing

6.3.1.1 Bearing แบบยึดแน่น (Fixed Bearings)

Bearing แบบยึดแน่น (Fixed Bearing) จะไม่ยอมให้เกิดการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของ Superstructure แต่จะทำหน้าที่เหมือนหมุดหรือบานพับที่สามารถหมุนได้

6.3.1.2 Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ (Expansion Bearings)

Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ (Expansion Bearing) จะสามารถเคลื่อนตัวตามแนวยาว อันเนื่องจากการขยายตัวและหดตัวของคานได้ และสามารถรองรับการหมุนเนื่องจากการโก่งตัวของคานได้ ถ้า Fixed Bearing เกิดการต้านทานต่อการเคลื่อนตัวตามแนวยาว อันเนื่องจากการลึกร้อนหรือจากเหตุอื่นๆ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นก็จะขัดขวางการขยายตัวหรือการหดตัวของคาน ทั้งยังทำให้เกิดแรงเสียดทานอื่นๆ ขึ้นในช่วงของคานด้วย ซึ่งก็จะนำไปสู่ปัญหาต่างๆ ในการซ่อมแซมอีกมาก



รูปที่ 6-19 รูปแสดงการทำงานของ Bearing

6.3.2 ชิ้นส่วนของ Bearing

Bearing ประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐาน ดังนี้

1. Sole Plate เป็นแผ่นเหล็กซึ่งสัมผัสกับส่วนล่างของปีกคานหรือ Chord ส่วนล่างของ Trusses
2. Bearing Surface ถูกปิดด้วย Sole Plate และ Masonry Plate และทำหน้าที่ในการส่งถ่ายแรงจาก Sole Plate ไปยัง Masonry Plate
3. Masonry Plate เป็นแผ่นเหล็กซึ่งอยู่ติดกับส่วนของฐานรองรับ ตอม่อริมน้ำ ตอม่อกลางน้ำ Masonry Plate จะรับแรงตามแนวตั้งจาก Bearing คานและ Superstructure ไปยัง Substructure

4. แทนยึด (Anchorage) จะยึด Bearing กับ Substructure มันจะยึดขึ้นส่วนของ Bearing ไม่ให้ เกิดการเคลื่อนตัวตามขวาง ตามมาตรฐาน AASHTO หลักยึดสลักจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร และฝังตัวลงไปใน Masonry หรือ ชั้นส่วนของฐานรองรับไม่น้อยกว่า 25 เซนติเมตร Bearing ทุกชนิดไม่จำเป็นต้องมีชั้นส่วนครบทั้ง 4 ส่วน แต่อย่างน้อยจะต้องมี Bearing Surface

ตัวอย่าง Bearing แบบยืด-หด (Elastomeric Bearings)

Plain Neoprene Pads

ประกอบด้วยแผ่น Neoprene บริสุทธิ์รูปสี่เหลี่ยม จะถูกนำมาใช้สำหรับคานคอนกรีตอัดแรงที่มีความยาวช่วงสั้น การขยายตัวของ Superstructure จะถูกรองรับโดยการยืด-หดตัวของ Neoprene

Laminated Neoprene Pads

โดยทั่วไปจะเป็นชั้นของ Neoprene Pads ซึ่งจะมีแผ่นเหล็กหรือ Fiberglass แปะมันออกเป็นชั้นๆ เราจะไม่สามารถมองเห็นแผ่นเหล็กได้ถ้าไม่เกิดความเสียหาย Bearing คานชนิดนี้จะใช้กับโครงสร้างที่ยาวซึ่งจะมีการยืดและหดตัวมาก



รูปที่ 6-20 Neoprene Bearing

6.3.3 การตรวจสอบ Bearing

เมื่อทำการตรวจสอบ Bearing ชั้นแรกผู้ตรวจสอบต้องพิจารณาว่าแผ่นรองเป็นแบบยืดแน่นหรือแบบเคลื่อนตัวได้ ถ้า Bearing ถูกออกแบบให้รองรับการเคลื่อนตัวจาก Superstructure ได้แสดงว่ามันเป็น Bearing แบบเคลื่อนตัว ถ้าไม่ได้แสดงว่ามันเป็น Bearing แบบยืดแน่น ถ้าเป็นไปได้ผู้ตรวจสอบควรจะทำอ้างอิงกับแบบการออกแบบ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ตรวจสอบสามารถประเมินสภาพของ Bearing แบบเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น



Bearing จะต้องเหมาะสมกับที่ฐานรองรับ และควรมีระยะห่างมากพอระหว่างขอบของ Masonry Plate กับขอบของฐานรองรับ ตะม่อริมน้ำ หรือ ตะม่อกลางน้ำ การสูญเสียพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนฐานรองรับมักจะอยู่ใกล้กับ Bearing

การตรวจสอบ Bearing แบบยืดหด (Inspection of Elastomeric Bearings)

การตรวจสอบ Bearing แบบยืดหยุ่นจะเป็นอะไรที่ง่ายเนื่องจากมีชิ้นส่วนที่ต้องตรวจสอบน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ความเสียหายของ Bearing คานแบบยืดหดได้จะยากต่อการตรวจพบ

Neoprene Bearings

Bearing Neoprene ควรถูกตรวจสอบการปูดบวมที่เกินปกติ ซึ่งจะเป็นการบ่งชี้ว่า Bearing ซึ่ง Bearing อาจจะมีสูงกว่าปกติเนื่องจากการออกแบบอย่างไม่เหมาะสม การยึดตัวและหดตัวของโครงสร้างจะไปแทนที่ การปูดบวมมีแนวโน้มที่จะมีแนวโน้มไปบนคานหรือที่รองรับสะพาน

Bearing ควรถูกตรวจสอบการแตกออกเป็นชิ้นๆ หรือไหลเยิ้ม การผลิตที่ไม่เหมาะสมบางครั้งเป็นสาเหตุของความเสียหายใน Neoprene และ Interior Steel Shims ซึ่งถูกยึดเข้าไว้ด้วยกัน

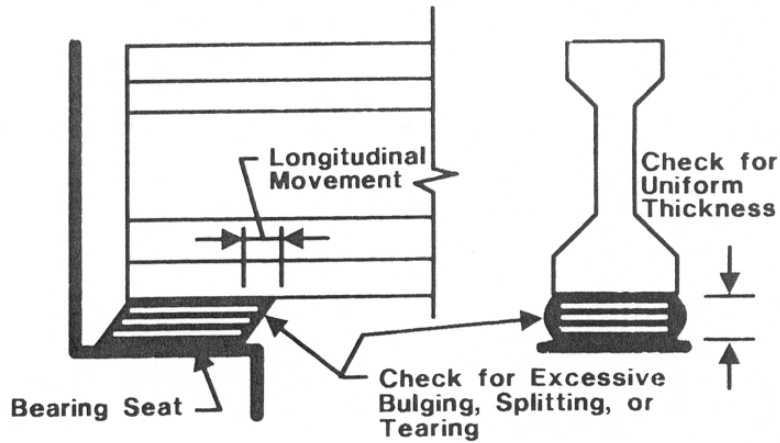
ควรทำการตรวจสอบความหนาของแผ่นซึ่งมีผลต่อการหมุนของ Bearing คาน

แผ่นรองควรจะถูกตรวจสอบการผุดขึ้นที่ Masonry Plate การผุดขึ้นนี้แสดงถึงความเครียดที่แผ่นรองได้รับ ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ปกติและโดยปกติจะแสดงถึงปัญหาของการออกแบบหรือปัญหาการผลิต Bearing คาน ถ้าปล่อยให้เป็นอย่างนี้ต่อไปในที่สุดแผ่นรองจะเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน แผ่นรองผุดขึ้นมาจะไม่เป็นปัญหากับ Laminated Bearings

ควรทำการดูแลอย่างใกล้ชิดในบริเวณซึ่งแผ่นรองยึดกับ Sole และ Masonry Plates บริเวณเหล่านี้เป็นบริเวณที่ Bearing คานจะเสียหาย บางครั้งแผ่นรองมักจะหลุด "Walk" ออกจากภายใต้คาน บางครั้งตัวแทนจำหน่ายห้ามไม่ให้ทาสีสัมผัสกับผิวหน้าระหว่าง Neoprene และ Sole Plate ด้วยเหตุผลนี้

การเคลื่อนตัวตามยาวของ Bearing Neoprene จะถูกวัดคล้ายๆกับ Sliding Plate Bearing โดยการเคลื่อนตัวตามยาวคือระยะห่างตามแนวนอนระหว่างขอบด้านบนของแผ่นรองและของด้านล่างของแผ่นรอง

การหมุนบน Bearing Neoprene ถูกวัดได้ในลักษณะเดียวกับ Pot Bearing (ดูรูปที่ 6-21) ด้านบนและด้านล่างของแผ่นรองถ้าไม่เกิดการหมุนมันจะอยู่ขนานกัน ผู้ตรวจสอบควรจะวัดความยาวของแผ่นรองและความสูงของแผ่นรองที่ด้านหน้าและด้านหลังของ Bearing คาน สมการที่เสนอในเรื่อง Pot Bearing สามารถใช้คำนวณกับ Neoprene Bearing ได้ ถ้ามุมของแผ่นรองถูกใช้เพื่อทำให้สะพานอยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้วเราจะต้องรู้จุดเริ่มต้นของแผ่นรองเพื่อใช้ในการวัดการหมุนของ Bearing คาน



รูปที่ 6-21 รายการการตรวจสอบ Bearing แบบยึดหด

สรุปรายการตรวจสอบ Bearing

ชนิดของ Bearing	รายการตรวจสอบ
Bearing แบบยึด-หดตัว	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความเสียหายในส่วนที่สำคัญของ Bearing การแตกร้าว การปูดนูน การแตกออกเป็นชั้น และการไหลเอี่ยม 2. ความเสียหายของฐานรอง การแตกร้าวและการหลุดร่วงของปูนฐานรอง 3. ความเสียหายของสลักยึด การกัดกร่อน 4. การรวมตัวของสิ่งสกปรกและฝุ่นละออง

6.3.4 การประเมินสภาพของ Bearing

Bearing ถูกพิจารณาให้เป็นชิ้นส่วนหนึ่งของ Superstructure อย่างไรก็ตามจุดสำคัญที่สุดที่ควรจำเกี่ยวกับการตรวจสอบ Bearing คือพวกมันจะมีผลกระทบกับคะแนนสภาพของ Superstructure ถ้าหากมันไม่อยู่ในตำแหน่งที่รุนแรง Bearing เป็นรายการการตรวจสอบที่สำคัญ อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัญหาการซ่อมบำรุงที่น้อยมาก สามารถที่จะพัฒนาไปในทางที่เลวร้ายถ้าหากถูกละเลย ทำยที่สุดแล้วมันก็จะเป็สาเหตุหลักของปัญหาสะพานพัง ถ้าการเสื่อมสภาพของพื้นที่ Bearing เป็นเหตุให้ Bearing คานมีการทำงานที่ผิดพลาดแล้วความเค้นที่มากเกินไปจะส่งต่อไปยัง Superstructure และ Substructure

สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นกับ Superstructure ถ้าหนึ่งในเหตุการณ์นี้เกิดขึ้น

- ความวิบัติทางแนวอนของ Bearing ซึ่งยอมให้ Superstructure หลุดออกจาก Substructure
- ความวิบัติของ อุปกรณ์ Tie-Down (Restraining) ซึ่งยอมให้ความยาวช่วงรับความเค้นมากเกิดไปและการพังทลายที่ซ่อนอยู่
- ความวิบัติของหมุดและ Link Hanger ในโครงสร้าง Two-Girder ซึ่งเป็นเหตุให้น้ำตัดของสะพานพังทลาย

ถ้าปัญหายังคงอยู่แล้ว Bearing คานจะแสดงผลกระทบกับคะแนนสภาพ Superstructure ในทางตรงกันข้าม Bearing จะมีผลต่อคะแนนเพียงเล็กน้อย



6.4 การตรวจสอบโครงสร้างส่วนล่าง (Inspection of Substructures)

โครงสร้างส่วนล่าง (Substructures) เป็นส่วนประกอบของสะพานซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนทั้งหมดที่รองรับโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) มีจุดมุ่งหมายเพื่อถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบนไปยังฐานราก ดินหรือหิน

การอธิบายคุณลักษณะนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบทั่วไป ได้แก่ วัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการก่อสร้าง และชิ้นส่วนหลักของโครงสร้างส่วนล่าง ในบทนี้จะได้อธิบายถึงวิธีการตรวจสอบสำหรับโครงสร้างส่วนล่างแต่ละชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยปัญหาของโครงสร้างทั่วไป สาเหตุ และวิธีการตรวจหาปัญหาเหล่านั้น

ชิ้นส่วนหนึ่งที่สำคัญของโครงสร้างส่วนล่างคือเสาเข็ม เสาเข็มเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างส่วนล่างซึ่งส่งถ่ายน้ำหนักจากฐาน (Footing) ไปยังชั้นดินที่อยู่ข้างใต้ (Underlying Soil) หรือหิน เสาเข็มทำได้จาก ไม้ คอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตอัดแรง หรือเหล็ก หรืออาจทำมาจากเหล็กและคอนกรีตอย่างเช่น เสาเข็มที่เป็นท่อเหล็กเติมด้วยคอนกรีต (A Concrete-Filled Steel Pipe Pile) เสาเข็มบางที่ถูกตอกลงไปตามแนวตั้งหรือเอียง ขึ้นอยู่กับทิศทางของน้ำหนักที่มากระทำ อย่างไรก็ตาม เสาเข็มที่ไม่แข็งแรงเนื่องจากการกัดเซาะของดิน (Soil Erosion) หรือปัจจัยอื่นๆ เช่น ควรจะมีตรวจสอบการกัดกร่อน (Corrosion) และการโก่งงอ

6.4.1 ตอม่อริมฝั่ง (Abutments)

ลักษณะการออกแบบ (Design Characteristics)

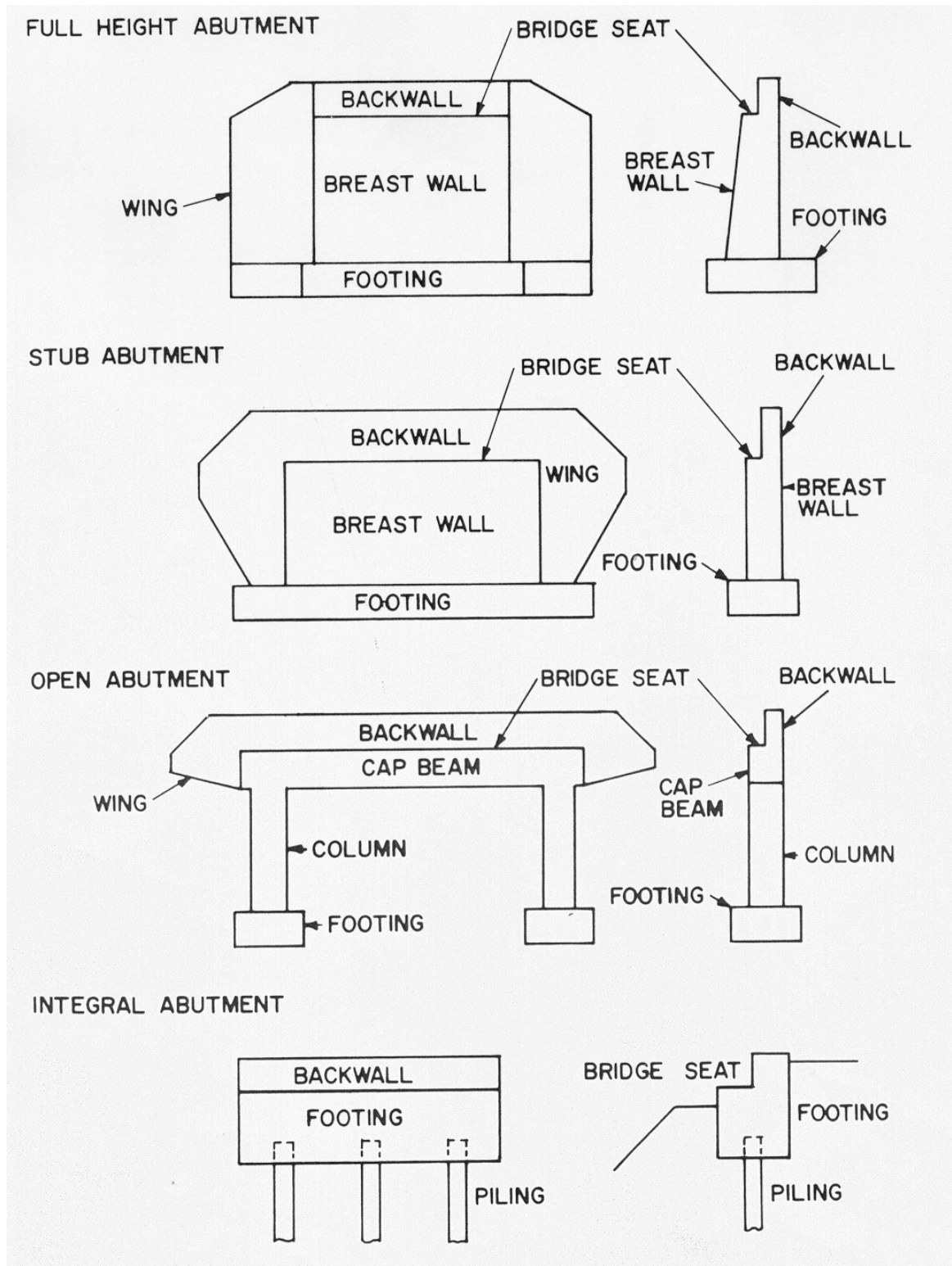
ตอม่อริมฝั่งเป็นโครงสร้างส่วนล่างอยู่ที่บริเวณปลายของสะพาน มีหน้าที่คือเป็นฐานรองรับที่จุดปลายของสะพาน และกันดินคันทางดินถมช่วงก่อนขึ้นสะพาน

ชนิดของตอม่อริมฝั่ง (Abutment Types)

ตอม่อริมฝั่งถูกจัดแบ่งประเภทตามตำแหน่งที่ตั้งซึ่งเทียบกับคันทางดินถม ชนิดตอม่อริมฝั่งโดยทั่วไปแสดงในตารางที่ 6-4 และ รูปที่ 6-22

ตารางที่ 6-4 ชนิดตอม่อริมฝั่งโดยทั่วไป

<p>Full height or closed types:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gravity - Counterfort - Cantilever - Timber bent - Crib - Mechanically-stabilized earth <p>Stub, semi-stub, or shelf type</p> <p>Open or spill-through type:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Curtain wall Integral type



รูปที่ 6-22 ชนิดของตอม่อริมฝั่งโดยทั่วไป

โครงสร้างส่วนใหญ่จะมีรอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joint) ในโครงสร้างส่วนบนที่บริเวณตอม่อริมฝั่ง ตอม่อริมฝั่งนิยมใช้เสาเข็มแถวเดียว (Single Row of Piles) รองรับ ในการออกแบบตอม่อริมฝั่งจะสมมติโครงสร้างส่วนบนและโครงสร้างส่วนล่างมีแรงกระทำเป็นขึ้นเดียวกันโดยปราศจากรอยต่อเพื่อขยาย



วัสดุพื้นฐาน

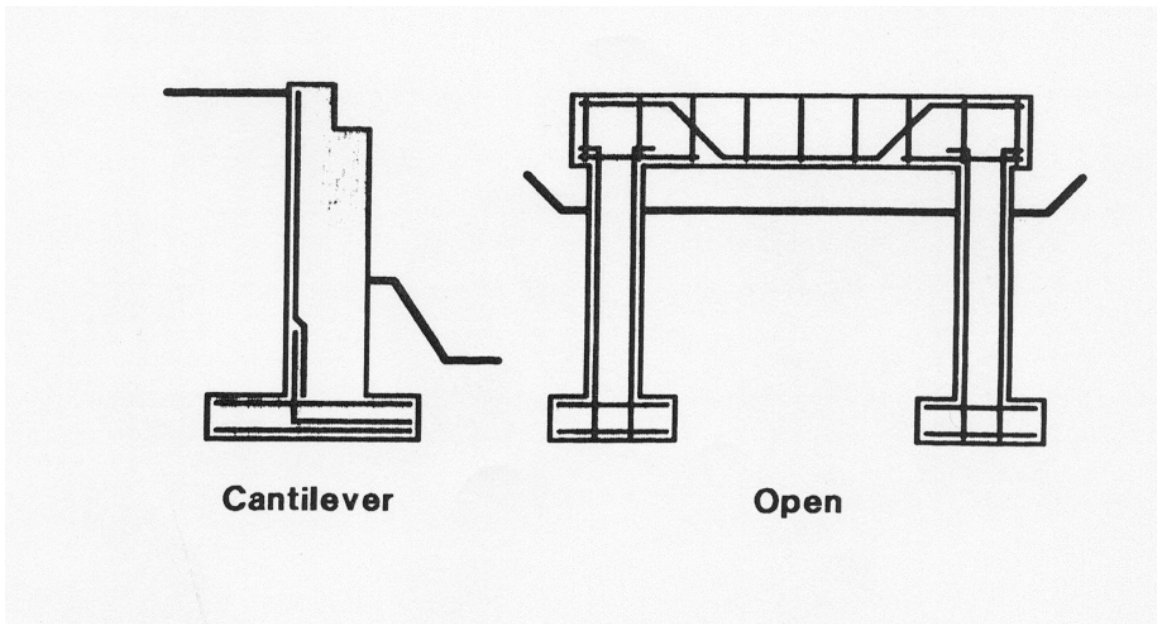
วัสดุพื้นฐานที่ใช้ในโครงสร้างตอม่อริมฝั่งคือ คอนกรีตที่มีซีเมนต์ล้วนๆ (Plain Cement Concrete) คอนกรีตเสริมเหล็ก งานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เหล็ก ไม้ หรือวัสดุประกอบของวัสดุเหล่านี้

เหล็กเสริมหลากหลายรูปแบบที่ใช้ในตอม่อริมฝั่งคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับชนิดของตอม่อริมฝั่ง

ใน Concrete Cantilever Abutment โดยทั่วไปมีเหล็กถูกตั้งอยู่ในผิวด้านหลังของ Stem และ Back wall เหล็กถูกนอนอยู่ในด้านล่างของฐาน (Toe Steel) และเหล็กถูกนอนอยู่ในด้านบนของฐาน (Heel Steel)

ใน Concrete Spill-Through Abutment โดยทั่วไปจะมีเหล็กถูกตั้งในผิวด้านหลังของ Back Wall เหล็กถูกนอนอยู่ในผิวด้านล่างของคานหุ้มหัวเสา (Cap Beam) เหล็กถูกตั้งอยู่ในทุกผิวของเสา และเหล็กถูกนอนอยู่ในผิวด้านล่างของฐาน

และเหล็กส่วนอื่นๆ ก็จะเป็น เหล็กปลอก หรือเหล็กเสริมรับอุณหภูมิและการหดตัว



รูปที่ 6-23 เหล็กเสริมพื้นฐานในตอม่อริมฝั่ง

ชิ้นส่วนตอม่อริมฝั่ง (Abutment Elements)

ชิ้นส่วนพื้นฐานของตอม่อริมฝั่งคือ:

Bridge Seat ใช้เป็นพื้นที่สำหรับแผ่นรองรับคานซึ่งเป็นฐานรองรับโครงสร้างส่วนบน

Back wall กันดินและช่วยป้องกันดินไม่ให้เข้าไปบนป่าตอม่อ (Bridge Seat) ซึ่ง Back Wall จะรองรับ แผ่นพื้นช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) และ รอยต่อเพื่อขยาย

Cheek Wall จะป้องกันจุดปลายของแผ่นรองรับคานจากชิ้นส่วนและป้องกันความสกปรกและดินทรายที่จะสะสมบริเวณรอบๆ Check Wall ไม่จำเป็นต้องมีก็ได้

Breast Wall จะกันดินด้านหลังของตอม่อริมฝั่ง ซึ่ง Stem และ Web Walls เป็นรูปแบบของ Breast Walls

ฐาน (Footing) ส่งผ่านน้ำหนักของตอม่อริมน้ำ น้ำหนักดิน และแรงปฏิกิริยาไปยังฐานรองรับดินหรือหินเมื่อเสาเข็มไม่ได้ถูกใช้ มันจะช่วยให้มีความเสถียรภาพต่อต้านการคว่ำ (Overturning) และแรงจากการเลื่อน (Sliding Forces) ส่วนของฐานหน้ากำแพงถูกเรียกว่า Toe และส่วนหลังกำแพงซึ่งต้านทานน้ำหนักการคว่ำ (Overturning) ของกำแพงกันดินถูกเรียกว่า Heel

เสาเข็ม (Piles) รับน้ำหนักโครงสร้างอยู่ในดิน เสาเข็มไม่จำเป็นต้องมีส่วนนี้แต่โดยทั่วไป มันจะใช้เมื่อฐานรากดินไม่มีความสามารถพอที่จะต่อต้านแรงดันของตอม่อริมฝั่ง

วิธีการและตำแหน่งที่ต้องการการตรวจสอบ (Inspection Locations and Procedures)

ปัญหาโดยทั่วไปที่พบจากการตรวจสอบตอม่อริมฝั่งคือ

- การเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง (Vertical Movement)
- การเคลื่อนตัวตามแนวขวาง (Lateral Movement)
- การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)
- การหมุน (Rotation Movement)
- ความเสียหายของวัสดุ (Failure of Material)

การเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง

การเคลื่อนตัวตามแนวตั้งสามารถเกิดขึ้นได้ในรูปแบบของการทรุดตัวเสมอกัน (Uniform Settlement) หรือ การทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) กรณีของการทรุดตัวเสมอกัน (Uniform Settlement) ของโครงสร้างส่วนล่างทั้งหมดรวมไปถึงตอม่อริมฝั่ง จะมีผลกระทบน้อยบนโครงสร้าง หากตรวจพบการทรุดตัวเสมอกัน (Uniform Settlement) ประมาณ 30 เซนติเมตร บนสะพานเล็ก ๆ ก็ยังไม่ได้หมายความว่ามันจะมีสภาพที่อันตราย

อย่างไรก็ตามการทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) สามารถก่อให้เกิดสภาพที่อันตรายได้ในสะพาน การทรุดตัวลักษณะนี้อาจก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างโครงสร้างส่วนล่าง ซึ่งเป็นสาเหตุของความเสียหายของสะพานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวช่วงและชนิดของสะพาน (ดูรูปที่ 6-24) บางทีมันจะเกิดภายใต้โครงสร้างเดียวกัน (Single Substructure Unit) (ดูรูปที่ 6-25) ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการเปิดออกของรอยต่อเพื่อขยายระหว่าง ตอม่อริมฝั่งกับ กำแพงหรือบางทีมันจะเป็นสาเหตุของการแตกร้าวหรือ Tipping ของตอม่อริมฝั่งหรือกำแพง

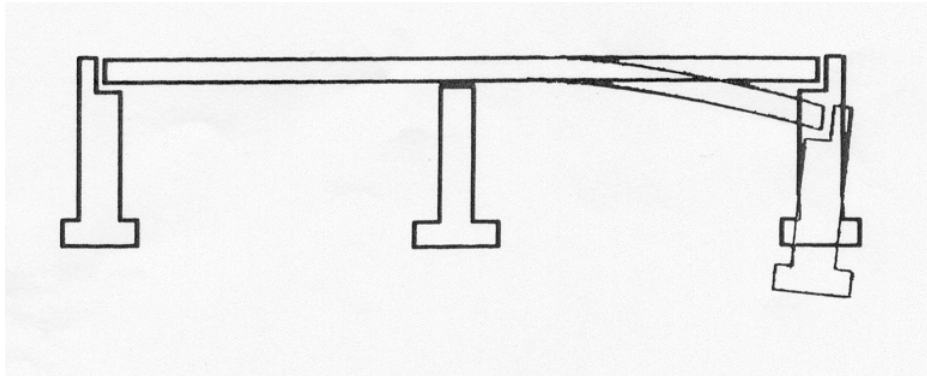
สาเหตุส่วนมากของการเคลื่อนตัวตามแนวตั้งคือการวิบัติในการแบกทานของดิน (Soil Bearing Failure) การอัดตัวคายน้ำของดิน (Consolidation of Soil) การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour) และการเสื่อมสภาพของฐานรากตอม่อริมฝั่ง

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง หรือการทรุดตัว ควรทำดังนี้

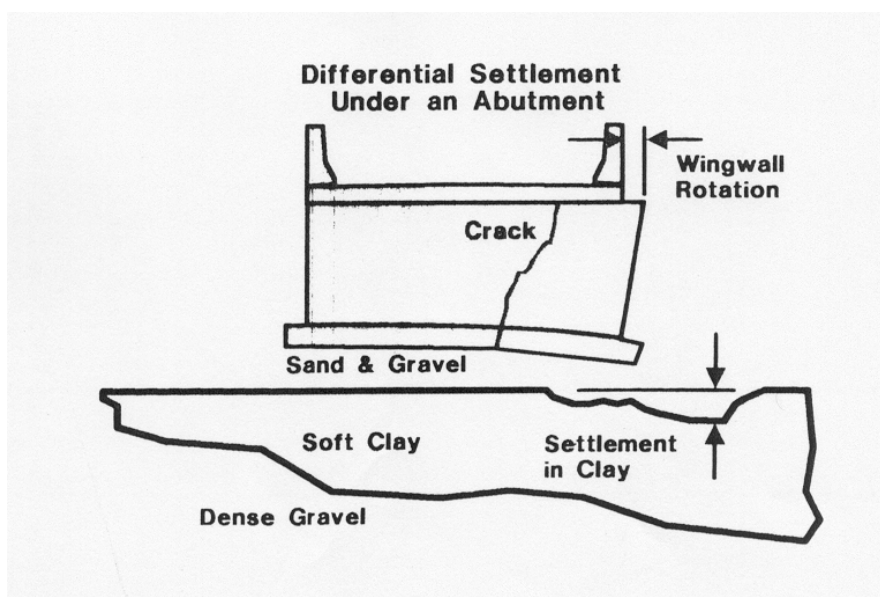
1. ตรวจสอบรอยต่อระหว่างปลายของแผ่นพื้นช่วงก่อนขึ้นสะพาน (Approach Slab) และส่วนพื้นของสะพาน (Deck) ในบางกรณีการขยายตัวของชั้นทาง (Pavement Expansion) หรือ Approach Fill Expansion อาจเป็นสาเหตุของการเคลื่อนตัวแนวตั้งของแผ่นพื้นช่วงก่อนขึ้นสะพาน
2. ตรวจสอบการแตกร้าวใหม่เพื่อดูการทรุดตัว
3. พิจารณาโครงสร้างส่วนบนเพื่อดูการทรุดตัว



4. เช็คการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำรอบๆ ฐานของตอม่อกลางน้ำ (Abutment Footing) หรือ ฐานราก (Foundation)
5. ตรวจสอบรอยต่อซึ่งเป็นจุดแบ่งกำแพงตอม่อริมฝั่ง และตอม่อริมฝั่ง



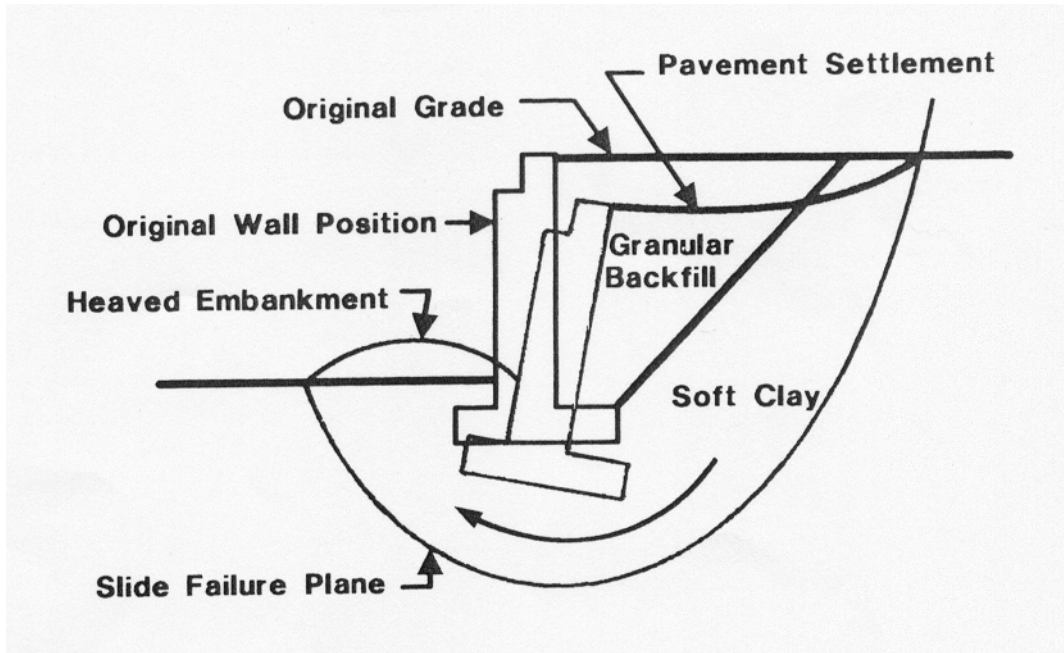
รูปที่ 6-24 การทรุดตัวไม่เท่ากันระหว่างโครงสร้างส่วนล่าง



รูปที่ 6-25 การทรุดตัวไม่เท่ากันภายใต้โครงสร้างส่วนล่างอันเดียว

การเคลื่อนตัวด้านข้าง

โครงสร้างที่ใช้กันดิน (Earth Retaining) เช่น ตอม่อริมฝั่ง และกำแพงกันดิน (Retaining Walls) เป็นโครงสร้างที่อ่อนไหวต่อการเคลื่อนตัวด้านข้าง หรือการเลื่อน (รูปที่ 6-26) การเคลื่อนตัวด้านข้างเกิดขึ้นเมื่อมีแรงด้านข้างมากกระทำบนกำแพงเกินกว่าแรงตามแนวตั้ง



รูปที่ 6-26 การเคลื่อนตัวด้านข้างของตอม่อริมฝั่งเนื่องจาก Slope Failure

สาเหตุโดยทั่วไปของการเคลื่อนตัวด้านข้างคือ Slope Failure, การไหลซึมของน้ำในดิน (Seepage) การเปลี่ยนแปลงลักษณะของดิน (เช่น Frost Action และ Ice) และระยะเวลาการอัดตัวคายน้ำของดินดั้งเดิม

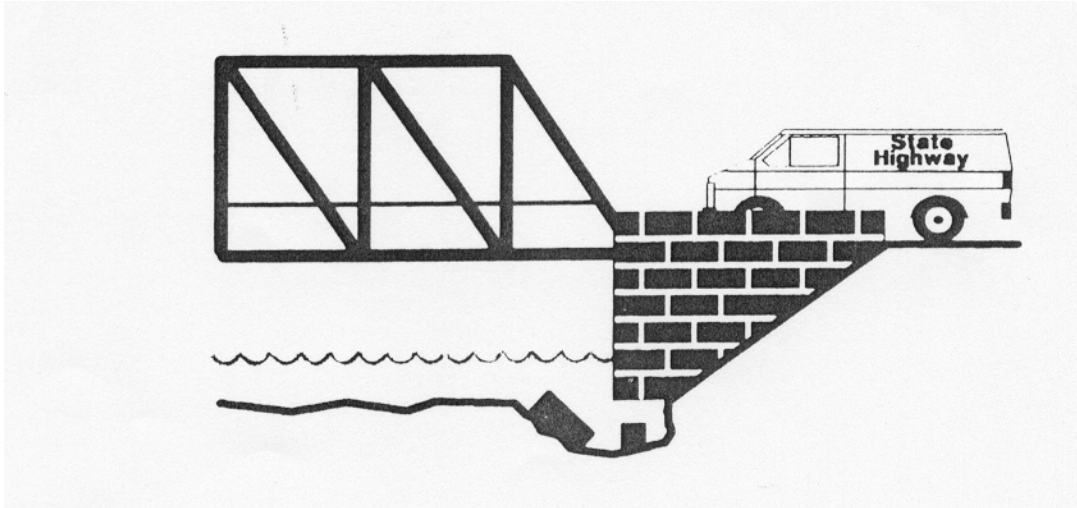
การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามขวาง หรือการเลื่อนทำได้โดย

1. ตรวจสอบแนวของตอม่อริมฝั่ง
2. ตรวจสอบเช็คแผ่นรองรับคานเพื่อดูการทรุดตัวตามแนวขวาง
3. พิจารณารอยเปิดในจุดต่อโครงสร้างระหว่างกำแพงตอม่อริมฝั่งและตอม่อริมฝั่ง
4. ตรวจสอบรอยต่อที่เปิดระหว่างส่วนของพื้นและแผ่นพื้นก่อนขึ้นสะพาน
5. เช็คระยะห่างระหว่างปลายของโครงสร้างส่วนบนและดินถมกลบแต่ง
6. พิจารณาช่องระบายน้ำที่อุดตัน (Clogged Drains)
7. ตรวจสอบการกัดเซาะของกำแพงกันดินด้านหน้าของตอม่อริมฝั่ง

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour) คือ การที่วัสดุถูกกัดเซาะออกไปจากท้องน้ำ เป็นผลของการกัดเซาะของน้ำที่ไหลผ่าน (รูปที่ 6-27) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโพรงข้างใต้ของตอม่อริมฝั่ง โดยการไหลของธารน้ำหรือแม่น้ำ

การตรวจสอบการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำควรรวมไปถึงการหยั่ง (Probing) รอบตอม่อริมฝั่งเพื่อดูว่าเกิดโพรงข้างใต้หรือเปล่า



รูปที่ 6-27 ตอม่อริมฝั่งซึ่งเกิดการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ

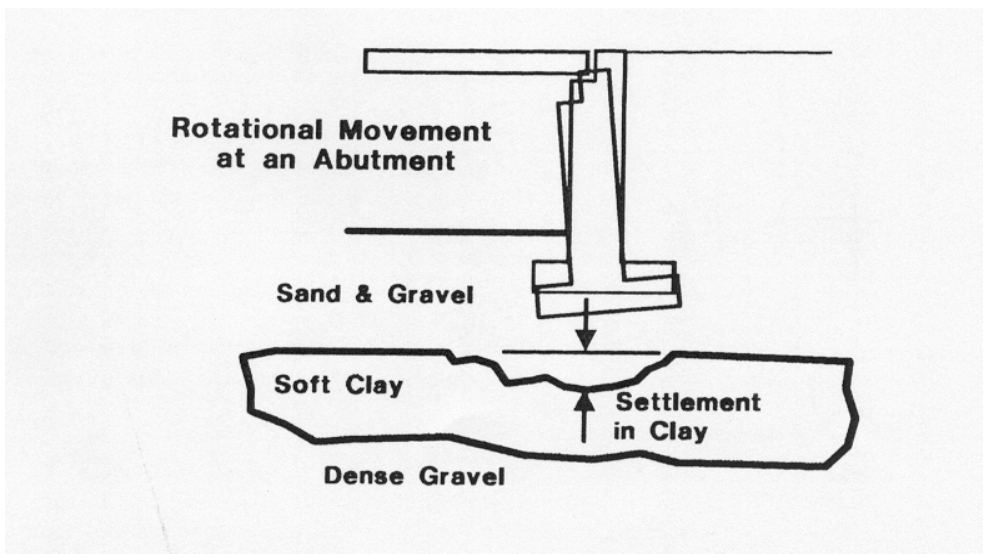
การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement)

การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) หรือ Tipping ของโครงสร้างส่วนล่างโดยทั่วไปเป็นผลมาจากความไม่สมดุลของการทรุดตัวหรือการเคลื่อนตัวตามขวาง (รูปที่ 6-28) การตรวจสอบการเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) ควรทำการตรวจสอบที่ชิ้นส่วนเหล่านี้คือ ตอม่อกลางน้ำ ตอม่อริมน้ำ และกำแพง

สาเหตุส่วนมากของการเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) คือ การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ, ความอิ่มตัวของดินถม (Saturation of Backfill) การกัดเซาะของดินถม (Erosion of Back Fill) ตามด้านข้างของตอม่อริมน้ำและการออกแบบที่ไม่เหมาะสม

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotation Movement) หรือ Tipping ทำได้โดย

1. ตรวจสอบเช็คแนวตั้งของตอม่อริมน้ำโดยใช้ลูกดิ่ง ระวังไว้เสมอว่าตอม่อบางตัวถูกสร้างด้วย Battered or Sloped Front Face



รูปที่ 6-28 การเคลื่อนตัวจากการหมุนของตอม่อริมฝั่ง

2. ตรวจสอบพิจารณาช่องว่างระหว่างคานและดินถมกลับแต่ง
3. ตรวจสอบช่องระบายน้ำอุดตัน (Clogged Drains) หรือรูรั่ว (Weep Holes)
4. ตรวจสอบการแตกและบันทึกความกว้าง ความยาว และทิศทาง

การวิบัติของวัสดุ (Failure of Material)

ปัญหาโดยปกติอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการตรวจสอบตอม่อริมฝั่งคือความวิบัติของวัสดุก่อสร้าง

ตารางที่ 6-5 แสดงรูปแบบส่วนมากของความวิบัติสำหรับวัสดุต่างๆ ที่ถูกใช้ในโครงสร้างส่วนล่าง

<p>คอนกรีต :</p> <ul style="list-style-type: none"> - การแตกร้าว - การหลุดล่อน - การกะเทาะ - การกระแทก - การเปิดออกของเหล็กเสริม 	<p>เหล็ก :</p> <ul style="list-style-type: none"> - การกัดกร่อน - การแตกร้าว - การโก่งเดาะ
<p>งานก่อด้วยหิน :</p> <ul style="list-style-type: none"> - สภาพอากาศ - การหลุดล่อน - การแตกร้าว - การแตกหัก - การแตกร้าวหรือเสื่อมสภาพของ Mortar 	<p>ไม้ :</p> <ul style="list-style-type: none"> - การผุ - แมลง - Maring Borers - Caddisflies - ความเสียหายจากสัตว์ (Vermin Damage) - สภาพอากาศ - ความเสียหายจากไฟ

การตรวจสอบความเสียหายของคอนกรีตและ Stone Masonry ของตอม่อริมฝั่งทำได้ดังนี้

1. ตรวจสอบพิจารณาที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seats) เพื่อหารอยแตกและการหลุดล่อน (Spalling) โดยเฉพาะใกล้ๆ ขอบ โดยเฉพาะจุดวิกฤตซึ่งคานคอนกรีต วางโดยตรงบนป่าตอม่อ (Abutment Seat.)
2. ตรวจสอบการสะสมของดินและน้ำที่ขัง (Standing Water) บนที่วางแผ่นรองรับคาน
3. ตรวจสอบหาความเสื่อมสภาพของคอนกรีตในพื้นที่ซึ่งสัมผัสกับท่อระบายน้ำจากถนน (Roadway Drainage) โดยเฉพาะได้รอยต่อระหว่างดินถมและตอม่อริมฝั่ง
4. ตรวจสอบเช็คดินถมเพื่อดูรอยแตกร้าวและการเคลื่อนตัวที่เป็นไปได้
5. ตรวจสอบพิจารณารอยต่อระหว่างดินถมและ ตอม่อริมฝั่ง



6. ตรวจสอบงานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เพื่อดูการแตกร้าวของ Mortar หรือ การสูญเสีย Mortar ในรอยต่อ
7. พิจารณางานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เพื่อดูวัชพืช (Vegetation) รอยน้ำไหลซึมผ่านรอยแตกร้าว ความหลวมหรือการสูญหายของหิน (Loose or Missing Stones) สภาพแวดล้อม (Weathering) และการหลุดล่อนหรือการสูญหายของหิน
8. ตรวจเช็คครุฑที่เห็นและดูการทำงานของมัน

การตรวจสอบความเสียหายของตอม่อริมฝั่งเหล็ก

1. ดูว่าบริเวณที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seat) สกปรกและมีการสะสมของดินหรือไม่
2. หลังจากการทำความสะอาดที่วางแผ่นรองรับคานแล้วให้เช็คดูการกัดกร่อนและการสูญเสียหน้าตัด
3. ตรวจสอบคานหุ้มหัวเสา (Cap Beam) เสาเข็ม และชิ้นส่วนเหล็กว่าเกิดการกัดกร่อน การแตกร้าวและการสูญเสียหน้าตัด
4. ตรวจสอบเสาเข็มใกล้กับที่ระดับพื้นดิน (Investigate Piles Closely at The Ground Line)
5. ตรวจเช็คการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำและการกัดเซาะรอบๆ เสาเข็ม
6. ตรวจพิจารณาตัวยึดทั้งหมดและจุดต่อเพื่อดูการกัดกร่อนและความแน่น

การตรวจสอบความเสียหายของไม้ในตอม่อริมฝั่งทำได้ดังนี้

1. พิจารณาที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seat) ว่ามีฝุ่นหรือกองดินและความชื้นอยู่หรือไม่
2. ตรวจสอบการผุ ความเสียหายจากแมลง และการแตกหักของคานหุ้มหัวเสา (Cap Beam)
3. ตรวจสอบ Local Failure ใน Lagging หรือ เสาเข็ม ระหว่างการเคลื่อนตัวตามขวาง
4. ตรวจเช็คการ Lagging ไม้ และเสาเข็ม เพื่อดูการแตกแยก การแตกร้าว การผุ ความเสียหายจากแมลง หรือความเสียหายจากไฟ
5. ตรวจสอบการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำรอบๆเสาเข็ม
6. ตรวจพิจารณาเสาเข็มอย่างใกล้ชิดเพื่อดูการผุที่บริเวณใกล้ระดับน้ำ
7. ตรวจสอบรอยต่อและจุดต่อเพื่อดูความแน่นและความหลวมของสลักเกลียว
8. ในสภาพที่เป็นทะเลให้พิจารณาเสาเข็มเพื่อดูท่าที่ของ Marine Borers และ Caddisflies

6.4.2 ตอม่อกลางน้ำ (Pier and Bents)

ลักษณะการออกแบบ (Design Characteristics)

ตอม่อกลางน้ำหรือ Bent เป็นโครงสร้างส่วนล่างที่อยู่ตรงกลางระหว่างจุดปลายของสะพาน มีหน้าที่คือรองรับสะพานระหว่างกลางซึ่งจะต้องกีดขวางทางน้ำให้น้อยที่สุด ความแตกต่างระหว่างตอม่อกลางน้ำ และ Bent คือรูปร่างพื้นฐานที่ปรากฏแต่มีหน้าที่การทำงานที่เหมือนกัน

ชนิดของตอม่อกลางน้ำ มีดังนี้

1. Solid Shaft Pier
2. Column Pier
3. Column Pier with A Web Wall
4. Cantilever Pier with A Web Wall
5. Column Bent or Open Bent
6. Pile Bent

วัสดุพื้นฐาน (Primary Materials)

วัสดุพื้นฐานที่ถูกใช้ในการก่อสร้างตอม่อกลางน้ำ (Piers and Bents) คือคอนกรีตล้วน (Plain Cement Concrete) คอนกรีตเสริมเหล็ก งานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เหล็ก ไม้ หรือวัสดุประกอบขึ้นจากวัสดุเหล่านี้

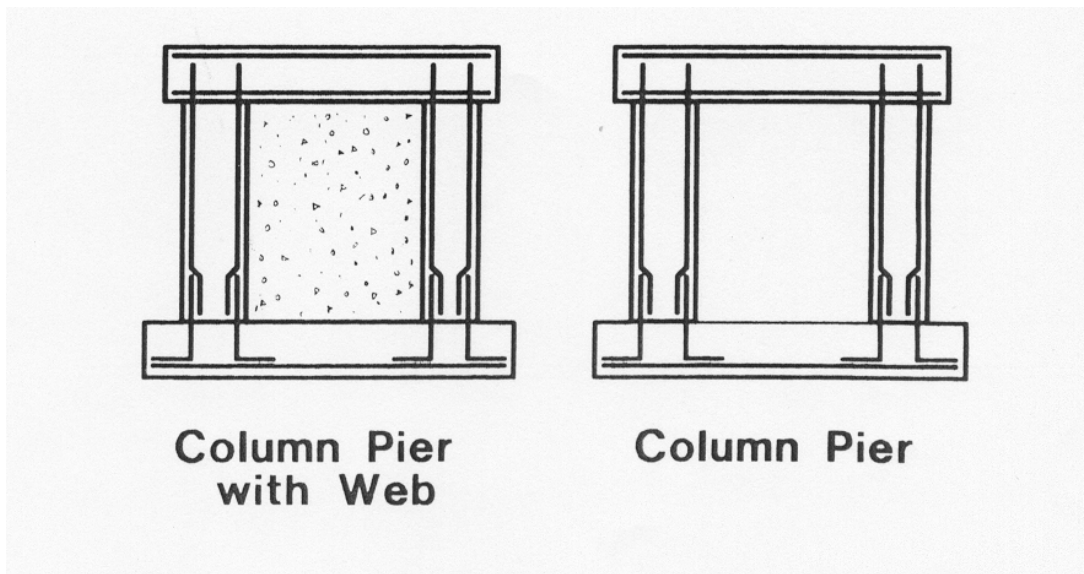
รูปแบบการวางเหล็กเสริมหลายๆ ชนิดถูกวางในคอนกรีตขึ้นอยู่กับชนิดของตอม่อกลางน้ำ (Piers and Bents)

ใน Concrete Solid Shaft Pier Column Pier or Column Pier with Wall โดยทั่วไปจะมีเหล็กถูกตั้งใน stem หรือเสา (Column) และเหล็กถูกนอนใน ด้านล่างของฐาน

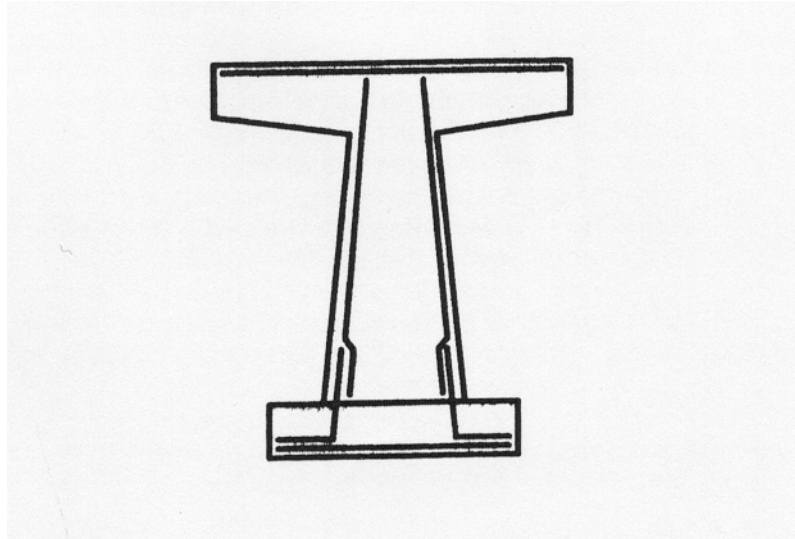
ใน Concrete Cantilever หรือ Hammerhead Pier โดยทั่วไปไม่มีเหล็กถูกนอนในผิวบนของ Cap เหล็กถูกตั้งใน Stem และ เหล็กถูกนอนใน ส่วนล่างของ Footing

ใน Concrete Column Bent or Open Pier โดยทั่วไปไม่มีเหล็กถูกนอนในผิวด้านล่างของหัวหุ้มคานระหว่างเสา เหล็กถูกตั้งในเสา และเหล็กถูกนอนใน ส่วนล่างของฐาน

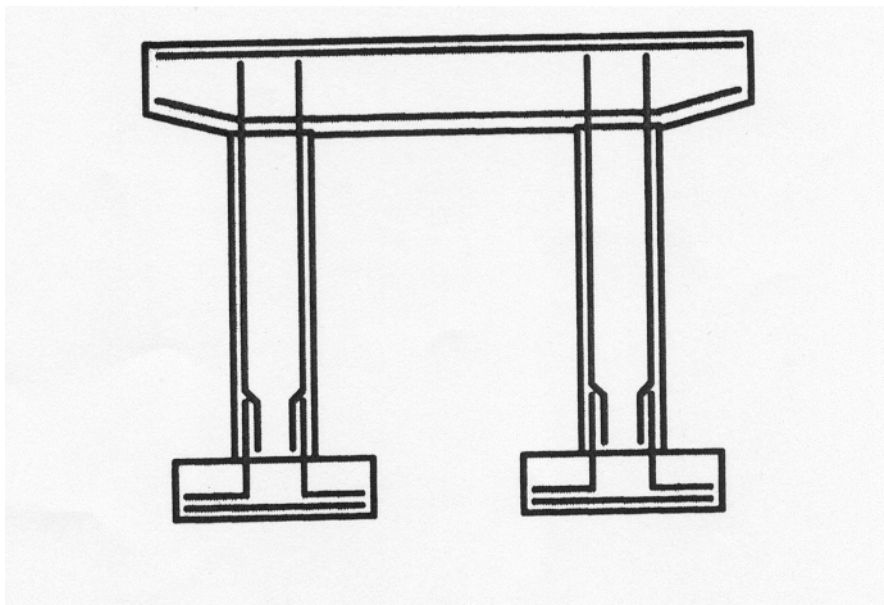
ใน Concrete Pile Bent โดยทั่วไปไม่มีเหล็กถูกนอนในผิวด้านล่างของหัวหุ้ม (Cap) ระหว่างเสา เหล็กถูกตั้งใน เสาเชื่อมคอนกรีต ฐาน (Footing) ไม่ได้มีการระบุไว้ เหล็กอื่นๆ ก็จะเป็นเหล็กปลอกหรือเหล็กรับอุณหภูมิและการหดตัว



รูปที่ 6-29 เหล็กเสริมพื้นฐานใน Column Pier with Web and in Column Pier



รูปที่ 6-30 เหล็กเสริมพื้นฐานใน Hammerhead Pier



รูปที่ 6-31 เหล็กเสริมพื้นฐานใน Column Bents

ชิ้นส่วนของตอม่อกลางน้ำ

ชิ้นส่วนพื้นฐานของตอม่อกลางน้ำ

- แท่นหัวเข็ม (Pile or Bent Cap)
- Pier Wall or Stem
- เสา (Column)
- ฐาน (Footing)
- เสาเข็ม (Piles)

แท่นหัวเข็ม (Pile or Bent Cap) ใช้เพื่อเป็นฐานรองรับแผ่นรองรับคานและโครงสร้างส่วนบน
Pier Wall หรือ Stem ใช้ส่งถ่ายน้ำหนักจาก Pier Cap ไปยังฐาน

เมื่อเสาถูกใช้พวกมันจะส่งถ่ายน้ำหนักของตอม่อกลางน้ำ น้ำหนักดิน และแรงปฏิกิริยาของสะพานไปยังฐานรองรับดินหรือหินถ้าเราไม่ใช้เสาเข็ม ฐานจะใช้เพื่อสร้างเสถียรภาพของตอม่อกลางน้ำ ด้านทานการเกิด Overturning และ แรงการเลื่อน (Sliding Forces)

เสาเข็มเป็นชิ้นส่วนที่ตั้งตรงหรือเฉียงซึ่งจะถูกตอก ใช้แม่แรงกด หรือหล่อลงไปในพื้นดิน จุดประสงค์เพื่อส่งถ่ายน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนล่างไปยังดิน เสาเข็มไม่จำเป็นต้องมีแต่โดยทั่วไปมันจะถูกใช้เมื่อฐานรากดินสามารถที่จะต้านทานแรงดันของตอม่อกลางน้ำ

การป้องกันตอม่อกลางน้ำ (Pier Protection)

การป้องกันตอม่อกลางน้ำสามารถทำได้โดยใช้ Collision Wall Pier Dolphins หรือ Fenders.

เสาตอม่อกลางน้ำของ Collision Wall Pier ถูกห่อโดยกำแพงแข็งของคอนกรีตเพื่อป้องกันยวดยาน รถไฟ หรือการกัดกร่อนจากทะเล Ice Flows

Dolphins are Single เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ Sand-Filled Sheet Pile Cylinders Clusters ของเสาเข็มไม้หรือเหล็กกลม หรือ ก้อนคอนกรีตขนาดใหญ่ วางไว้ด้านหน้าของตอม่อกลางน้ำเพื่อป้องกันเรือเดินทะเลหรือการจลาจลอื่นๆ

Fenders คือรั้วป้องกันล้อมรอบตอม่อกลางน้ำ เพื่อป้องกันตอม่อกลางน้ำจากการจลาจลทางทะเล พวกมันประกอบด้วย การจัดเรียงไม้ให้เป็นโค้ง โครงเหล็กหรือคอนกรีต หรือแผ่นทำนบ

ตำแหน่งและวิธีการตรวจสอบ (Inspection Locations and Procedures)

ปัญหาที่ปรากฏในการตรวจสอบตอม่อกลางน้ำ

- การเคลื่อนตัวแนวตั้ง
- การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)
- การหมุน และการเคลื่อนตัวตามขวาง
- ความวิบัติของวัสดุ

การเคลื่อนตัวแนวตั้ง (Vertical Movement)

การหลุดตัวที่แตกต่างกันของตอม่อกลางน้ำเป็นสาเหตุของปัญหาที่รุนแรงในสะพาน รอยต่อพื้นสะพาน สามารถที่จะอยู่ชิดกันอย่างสมบูรณ์ที่ตอม่อกลางน้ำ และเปิดอย่างเหลือเฟือที่ตะม่อริมน้ำ การเสื่อมสภาพเช่น การหลุดล่อน (Spalling) การแตกร้าว (Cracking) และการโก่ง (Buckling) สามารถที่จะเกิดขึ้นได้

สาเหตุโดยทั่วไปของการเคลื่อนตัวตามแนวตั้งคือ Soil Bearing Failure, การอัดตัวคายน้ำของดิน (Soil Consolidation) การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour) และการเสื่อมสภาพของวัสดุฐานราก

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง หรือการหลุดตัวทำได้โดย

1. สำหรับสะพานที่มีหลายความยาวช่วง พิจารณารอยต่อในพื้น (Deck) เหนือตอม่อกลางน้ำ อย่างใกล้ชิดเช่นเดียวกับที่ ตรวจสอบตอม่อกลางน้ำและตอม่อริมฝั่ง (As Well As at Adjacent Piers and at The Abutments)



2. เช็คการแตกร้าวใหม่หรือการแตกร้าวที่มองไม่เห็นที่เกิดขึ้นในตอม่อกลางน้ำ
3. ตรวจสอบการโก่งคดในเสาเหล็กของตอม่อกลางน้ำ ตรวจสอบเช็คโครงสร้างส่วนบนเพื่อดูการทรุดตัว
4. ตรวจสอบการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำรอบๆฐานตอม่อกลางน้ำ
5. ในบางกรณี ต้องเช็คแผ่นรองรับคาน หรือยอดของระดับตอม่อกลางน้ำโดยใช้การสำรวจด้วยอุปกรณ์ถ้าจำเป็น

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)

การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ เป็นการเอาวัสดุออกจากพื้นท้องน้ำซึ่งเป็นผลจากการกัดเซาะของน้ำที่ไหลผ่าน การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำรอบๆ ตอม่อกลางน้ำเป็นสาเหตุทำให้สะพานพังทลายในหลายๆ ครั้ง

การตรวจสอบการกัดเซาะบริเวณท้องน้ำทำได้โดย

1. หยั่ง (Probe) ดูรอบๆ ตอม่อกลางน้ำ (Pier or Bent) เพื่อดูความเป็นโพรง
2. การตรวจสอบใต้น้ำโดยการดำน้ำบางที่อาจต้องการ
3. Remote Sensing using Ground-Probing Radar

การเคลื่อนตัวโดยการหมุนและการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Rotational Movement and Lateral Movement)

การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement) หรือ Tipping และ การเคลื่อนตัวด้านข้าง (Lateral Movement) ของตอม่อกลางน้ำ บางทีจะเป็นสาเหตุของการทรุดตัวที่ไม่สมมาตรหรือ แรงตามแนวแกนมากเกินไป เช่นการเกิดแผ่นดินไหว

การตรวจสอบ การเคลื่อนตัวโดยการหมุน หรือ Tipping ทำได้ดังนี้

1. เช็คแนวตั้งของตอม่อกลางน้ำโดยใช้ลูกตั้ง
2. ตรวจสอบระยะห่างระหว่างปลายของคานที่ตะม่อกลางน้ำและระหว่างคานกับ Back Wall
3. ตรวจสอบรอยแตกร้าวของการหลุดลอกซึ่งบางที่ไม่สามารถอธิบายได้ ในกรณีที่ทำการตรวจสอบหลังจากแผ่นดินไหว ความเสียหายจะปรากฏให้เห็นชัด

การตรวจสอบการเคลื่อนตัวตามขวางควรทำการตรวจสอบโดยการตรวจ แนวตามระยะยาวของราวกันตก (Railing) หรือ ขอบกัน (Barrier) ของสะพาน

ความวิบัติของวัสดุ (Failure of Material)

การตรวจสอบความเสียหายของคอนกรีตและ Stone Masonry ใน Piers และ Bents ทำได้ดังนี้

1. ตรวจสอบการแตกแยกของคอนกรีตโดยเฉพาะใน Splash Zone ที่ระดับน้ำ ที่ระดับพื้นดิน และ คอนกรีตทุกแห่งที่สัมผัสกับที่ระบายน้ำพื้นผิวถนน (Roadway Drainage)
2. พิจารณาเสาตอม่อกลางน้ำและ หัวหุ้มตอม่อกลางน้ำ (Pier Bent Caps) เพื่อดูการแตกร้าว
3. เช็คที่วางแผ่นรองรับคาน (Bearing Seat) เพื่อดูการแตกร้าวและ การหลุดล่อน
4. พิจารณา Grout Pads และ Pedestals เพื่อดูการแตกร้าว การหลุดล่อน และการเสื่อมสภาพ

5. ตรวจสอบทุกๆที่เปลี่ยนแปลงในระยะห่างการเคลื่อนตัวแต่ละตอม่อกลางน้ำ
6. เช็คทุกๆชิ้นส่วนตอม่อกลางน้ำ เพื่อดูความเสียหายของโครงสร้างซึ่งเกิดจากการชนกัน (Collision) หรือการบรรทุกน้ำหนักเกิน (Overstress)
7. พิจารณาสภาพของพื้นดินหรือหินเดิมที่ใช้ในการต้านทานการเคลื่อนตัวของตอม่อกลางน้ำให้อยู่ในสภาพที่จะไม่ทำให้ตอม่อกลางน้ำอยู่ในสภาพที่ไม่มั่นคง
8. เช็ค ตอม่อกลางน้ำที่เป็นงานก่อด้วยหิน เพื่อดูการแตกร้าวของ Mortar, น้ำและวัชพืช ในรอยร้าว และเพื่อดูการหลุดลอก การแตกแยก ความหลวม การหลุดหายของหิน



รูปที่ 6-32 การกัดกร่อนและการทับถมของเศษอิฐที่ตอม่อกลางน้ำเหล็ก

การตรวจสอบความเสียหายของเหล็กในตอม่อกลางน้ำ ทำได้ดังนี้

1. เช็คแท่นหัวเข็ม เพื่อดูท่าที่ของการกัดกร่อน โดยเฉพาะที่ระดับน้ำ
2. Over Water Crossings ตรวจสอบ Splash Zone (เช่น ขึ้นไป 0.60 เมตรเหนือ High Tide หรือ ระดับน้ำเฉลี่ย (Mean Water Level) และส่วนของเสาเข็มที่จมน้ำเพื่อดูการกัดกร่อนและการเกิดสนิมของส่วนของเสาเข็มที่จมน้ำ
3. ตรวจสอบการสะสมของดินรอบๆเสาเข็มหรือ Pier Bents ซึ่งการสะสมของดินจะเป็นตัวดูความชื้นและทำให้เกิดการกัดกร่อน
4. ตรวจสอบการหมุนในหัวเข็มเหล็กเนื่องจากจุดต่อเยื้องศูนย์ (Eccentric Connections)
5. ตรวจสอบค้ำยันเพื่อดูการหักของจุดต่อและความหลวมของหมุดย้ำหรือสลักเกลียว
6. เช็คสภาพของ Web Stiffeners (ถ้ามี)
7. เช็คเสาตอม่อกลางน้ำหรือหัวเข็มตอม่อกลางน้ำเพื่อหารอยแตกร้าว
8. เมื่อมีจุดสำคัญเกิดการเปลี่ยนแปลง ให้ทำการตรวจสอบด้วยสายตาและวัดการเคลื่อนตัวของ ตอม่อกลางน้ำ



9. ตรวจสอบชิ้นส่วนต่อม่อกลางน้ำ ทั้งหมดเพื่อดูความเสียหายของโครงสร้างที่เกิดจาก การชน (Collision) การโก่งเดาะ (Buckling) หรือ การรับน้ำหนักบรรทุกเกิน (Overstress)
10. ที่บริเวณคานหัวหุ้มเหล็กและคานต่อเนื่องตามยาวถูกวางไว้ด้วยกัน ตรวจสอบ Top Flange Welds และ Webs เพื่อหารอยแตกร้าว

การตรวจสอบความวิบัติของไม้ในต่อม่อกลางน้ำ ควรทำดังนี้

1. ตรวจสอบการผุในเสาเข็ม หัวหุ้ม และค้ำยัน การผุสามารถตรวจพิจารณาได้โดยการ Tapping ด้วย Hammer หรือโดยการทดสอบ Boring The Timber ตรวจสอบที่ระดับเป็นพิเศษที่ระดับพื้นดินหรือระดับน้ำและที่จุดต่อและรอยต่อ เนื่องจากการผุโดยทั่วไปจะเริ่มจากบริเวณเหล่านี้เนื่องจากโดยปกติการผุเริ่มต้นที่จุดเหล่านี้
2. พิจารณารอยต่อและจุดต่อเพื่อดูความแน่นหนาหรือความหลวมของสลักเกลียว
3. ตรวจสอบสภาพของหัวหุ้มที่ตำแหน่งซึ่งคานวางบนมันโดยตรง และที่ซึ่งคานหัวหุ้มวางโดยตรงบนเสาเข็ม จุดบ้นที่กส่วนที่มีการแตกร้าวหรือแตกหักของไม้ในพื้นที่เหล่านี้
4. สังเกตหัวหุ้มซึ่งอยู่ใต้น้ำหนักมากๆ เพื่อดูการโก่งตัวที่มากเกินไป
5. ในสภาพแวดล้อมที่เป็นทะเล, ตรวจสอบ Marine Borers Shipworms and Caddisflies.
6. ตรวจสอบต่อม่อกลางน้ำเสาเข็มไม้ในน้ำเค็มเพื่อดูความเสียหายที่มีสาเหตุจาก Marine Borers ตำแหน่งปกติของความเสียหายคือที่ Checks in The Wood รุสลักเกลียว หัวหุ้ม หรือจุดต่ออื่นๆ

Dolphins และ Fenders

สภาพของ Dolphins หรือ Fenders ควรถูกตรวจสอบในวิธีการคล้ายกับการตรวจสอบชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ส่วนล่างในชิ้นส่วน คอนกรีตป้องกันตอม่อ (Concrete Pier Protection) เช็คการหลุดลอกและการแตกร้าวของคอนกรีต หรือการกัดกร่อนของเหล็กเสริม Investigate for Hour-Glass Shaping ของเสาเข็มที่ระดับน้ำและเช็คความเสียหายของโครงสร้างที่มีสาเหตุมาจากการจลาจลทางน้ำ (0.6 เมตร) ให้ระมัดระวังการกัดกร่อนที่รุนแรง พิจารณาส่วนประกอบเหล็กอื่นๆทั้งหมดเพื่อหาการกัดกร่อนและเช็คความเสียหายของโครงสร้าง

ในชิ้นส่วนการป้องกันตอม่อกลางน้ำไม่ให้ดูที่ส่วนบนระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับโคลนเพื่อดู Marine Borers Caddisflies การผุและเช็คความเสียหายของโครงสร้าง

6.4.3 กำแพงตอม่อริมฝั่ง

ลักษณะการออกแบบ (Design Characteristics)

กำแพงตอม่อริมฝั่งเป็นกำแพงด้านข้างของตอม่อริมฝั่งซึ่ง Enclose The Approach Fill. โดยทั่วไป กำแพงตอม่อ ถูกพิจารณาให้เป็นกำแพงกันดิน (Retaining Walls) เนื่องจากพวกมันถูกออกแบบให้รักษาความแตกต่างระหว่างระดับผิวดินสองด้านของกำแพง กำแพงตอม่อริมฝั่งจะคล้ายตอม่อริมฝั่งยกเว้นว่ามันไม่มีความจำเป็นต้องรับน้ำหนักตามแนวตั้ง น้ำหนักที่หายไปตามแนวตั้งของโครงสร้างส่วนบน โดยปกติจำเป็นที่จะต้องกว้างกว่าฐานเพื่อป้องกันการคว่ำกำแพง ตอม่อริมฝั่งบางทีอาจจะก่อสร้างจากคอนกรีต งานก่อด้วยหิน (Stone Masonry) เหล็ก หรือไม้ ใน Concrete Cantilever

Wing Wall เหล็กเสริมพื้นฐานประกอบด้วยเหล็กดัดในทิศทางหลังของ Stem เหล็กดัดนอนในด้านล่างของฐาน (Toe Steel) และเหล็กดัดนอนในส่วนบนของฐาน (Heel Steel) และเหล็กอื่นๆเป็นเหล็กเสริมรับอุณหภูมิและหดตัว

มีการแบ่งกำแพงต่อม่อริมฝั่งเป็นหลายๆ รูปทรง และการใช้งานขึ้นอยู่กับการออกแบบที่ต้องการของโครงสร้าง

- Straight- Extensions of The Abutment Wall
- Flared-Form and Acute Angle with The Bridge Road Way
- U-Wings-Parallel to The Bridge Road Way

มีการแบ่งประเภทโครงสร้างกำแพงต่อม่อริมฝั่งหลายอย่างได้แก่

- Integrat-Cast Monolithically with The Abutment
- Independent-Cast Separately จากต่อม่อริมฝั่ง โดยปกติรอยต่อส่วนขยายจะแยกพวกมันออกจาก The Abutment Breast Wall

ตำแหน่งและวิธีในการตรวจสอบ

ตำแหน่งและวิธีการตรวจสอบของกำแพงต่อม่อริมฝั่งส่วนมากคล้ายกับ ต่อม่อริมฝั่งปัญหามากมายที่เกิดขึ้นใน ต่อม่อริมฝั่งเป็นปัญหาของกำแพงต่อม่อริมฝั่งด้วยปัญหาเหล่านี้ได้แก่

1. การเคลื่อนตัวตามแนวตั้ง
2. การเคลื่อนตัวตามแนวขวาง
3. การกัดเซาะบริเวณท้องน้ำ (Scour)
4. การเคลื่อนตัวโดยการหมุน (Rotational Movement)
5. ความเสียหายของวัสดุ (ดูรูปที่ 6-33)

กำแพงต่อม่อริมฝั่งที่เป็นอิสระ ควรถูกตรวจสอบกับต่อม่อริมฝั่งแต่สภาพของพวกมันไม่มีผลกระทบต่อภาระน้คะแนนการประเมินของโครงสร้างส่วนล่าง Integral Wing Walls ถูกรวมไปในการประเมินและการให้คะแนนโครงสร้างส่วนล่างแต่ส่วนที่ถูกพิจารณาจะมีแค่ Portion Up to The First Construction หรือรอยต่อส่วนขยาย



รูปที่ 6-33 การเสื่อมสภาพของกำแพงต่อม่อริมฝั่งคอนกรีต

การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ

7.1 การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ

การเก็บตัวอย่างและการทดสอบวัสดุ หมายถึง วิธีการปฏิบัติและขั้นตอนในการตรวจสอบสภาพและคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างจริง วิธีการเหล่านี้รวมถึงการสำรวจด้วยตา การทดสอบโดยไม่ทำลายและการทดสอบแบบทำลาย ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนที่ใช้ในสถานที่ก่อสร้างและในห้องปฏิบัติการ

7.2 การพิจารณาข้อกำหนดเพื่อทำการทดสอบ

สิ่งที่ต้องการในการทดสอบ (Requirements) ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบขั้นต้น การศึกษาเอกสารที่มาและสิ่งที่ต้องการของข้อเสนอข้อแก้ไข ทั้งนี้หากมีข้อมูลเพียงพอในการวิเคราะห์หาข้อสรุปที่เชื่อถือได้ ก็อาจไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากโครงสร้างนั้นอยู่ในสภาพดีและไม่มีความเสียหาย มิติ (Dimensions) ที่วัดได้ระหว่างการตรวจสอบ อาจนำมาใช้สรุปความเหมาะสมในการใช้งานในอนาคตของโครงสร้างได้ และอาจจำเป็นต้องทำการทดสอบหากพบว่ามีข้อมูลไม่เพียงพอเกี่ยวกับวัสดุในโครงสร้างที่เกิดความเสียหาย หรือคาดว่าจะเกิดความเสียหาย

ในการทดสอบควรทราบประเภทของข้อมูลที่ต้องการและควรเข้าใจจุดประสงค์ของการทดสอบแต่ละครั้ง และต้องเข้าใจข้อมูลที่จะได้จากการทดสอบนั้น เพื่อตัดสินใจเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสม วิธีการทดสอบแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันในด้านค่าใช้จ่าย ความน่าเชื่อถือ และความซับซ้อน การทดสอบบางอย่างไม่ก่อให้เกิดความเสียหายหรือรบกวนการใช้งาน (Disturbance) ในขณะที่การทดสอบบางวิธีก่อให้เกิดความเสียหายและจำเป็นต้องแยกชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนออกจากโครงสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบ ผู้ทำการทดสอบควรมีประสบการณ์ที่เหมาะสมเพียงพอเพื่อดำเนินการทดสอบได้อย่างเหมาะสมและมีการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

แต่ในบางกรณีค่าใช้จ่ายในการทดสอบอาจสูงเกินไปจนอาจต้องเลือกใช้วิธีซ่อมแซมแก้ไข (Remedial action) แทน โดยไม่ทำการทดสอบเพื่อความประหยัด

การเลือกวิธีการทดสอบที่เหมาะสมจำนวนครั้งและตำแหน่งของการทดสอบขึ้นอยู่กับปัจจัยนี้ (ACI 228.1 R)



- ก) ความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุในโครงสร้าง
- ข) ตำแหน่งวิกฤต
- ค) ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการทดสอบ
- ง) พื้นที่ที่ต้องการทำการทดสอบสำหรับคุณสมบัติอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การใช้วิธีการวัดแบบ Ultrasonic-pulse-velocity สามารถบ่งบอกคุณภาพโดยเฉลี่ยทั่วไปตลอดแนวความลึกของโครงสร้าง ในขณะที่วิธีการเจาะทดสอบจะบ่งบอกสภาพของวัสดุชิ้นที่เจาะออกมาเท่านั้น

7.3 การทดสอบและการประเมินผล (Testing and Evaluation)

การประเมินผลคอนกรีตควรบ่งบอกกำลังและคุณภาพ (NRMCA 1979, ACI 228.1 R, และ Shroff 1986 และ 1988) โดยมีวิธีประเมินผล (Assessment and subsequent evaluation) ที่เหมาะสม เพื่อให้เข้าใจความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างและความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมรอบๆ โครงสร้างนั้น

7.3.1 ขั้นตอนการประเมินผลคอนกรีต

คอนกรีตมีหน้าที่สำคัญในโครงสร้างสองประการ ประการที่หนึ่ง คือ เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่ทำหน้าที่รับแรง ประการที่สอง ทำหน้าที่ป้องกันไฟและผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตส่วนที่หุ้มปกป้องเหล็กเสริมจากการกัดกร่อนและจากไฟช่วยให้อายุการใช้งานมีความทนทานตามต้องการ

สำหรับคอนกรีตที่มีหน้าที่รับน้ำหนัก ควรมีลักษณะสามประการดังนี้คือ มีความแข็งแรงและมีกำลังเพียงพอต่อการใช้งาน มีพื้นที่หน้าตัดเหมาะสมสำหรับทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม หากขาดข้อใดข้อหนึ่งข้างต้นนี้ ถือว่าคอนกรีตนั้นยังไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

ลักษณะคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมและคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมอัดแรง ซึ่งสามารถเสริมความทนทานให้โครงสร้างคอนกรีตเหล่านั้นได้ดีควรมีลักษณะดังนี้ ก) มีความหนาแน่นพอสมควร ข) ไม่มีโพรงพรุน ค) มีจำนวนโพรงคาพิลลารี (Capillary) น้อย ง) มีการซึมผ่านได้น้อย และ จ) ประกอบไปด้วยมวลรวมและปูนซีเมนต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยากันเองและไม่ทำปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อม ถึงแม้ว่าคุณสมบัติเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับกำลังอัดแต่คุณสมบัติที่กำหนดดังกล่าวอาจได้จากการควบคุมปริมาณและชนิดของปูนซีเมนต์ ระดับของการกระจายฟองอากาศ การยุบตัว อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน ชนิดของมวลรวมและชนิดของสารผสมเพิ่มเติมตลอดจนการควบคุมขั้นตอนในการผสม การเท และการบ่ม

จากข้อกำหนดข้างต้นจึงอาจนำคุณสมบัติคอนกรีตและสภาพทางกายภาพที่กำหนดไว้ในตาราง 7.1 (ก) และ 7.1 (ข) มาใช้ในการประเมินการยอมรับได้ (Acceptability) ของคอนกรีตและประสิทธิภาพการใช้งานในอนาคต (ASCE 11) วิศวกรที่ทำหน้าที่ตรวจสอบอาจใช้ตารางเหล่านี้เป็นแนวทางโดยอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจที่ดีควบคู่ไปด้วย

ตาราง 7.1 (ก) คุณสมบัติคอนกรีตและสภาพทางกายภาพที่ใช้ในการประเมินเพื่อการยอมรับได้

วิธีการประเมินคุณภาพ	ผลกระทบของคลื่นเสียง	การทดสอบปริมาณอากาศ ASTM C457	การทดสอบปริมาณปูนซีเมนต์ ASTM	การทดสอบทางเคมี	การเจาะเก็บแบบทดสอบ ASTM C42	การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า	การวัดความต้านทานไฟฟ้า	การทดสอบการอัด ASTM C42	การทดสอบเยือกแข็งหกลมละลาย	การแผ่รังสีแกมมา	เครื่องวัดความถี่นิวเคลียร์	การทดสอบการซึมผ่าน CRD C48	การวิเคราะห์เสถียร ASTM C 856	การทดสอบแรงดึงคอน ASTM C900	คอนกรีตสะท้อน ASTM C805	คลื่นไหวสะเทือนเชิงรุก ASTM C597	Winsor Probe ASTM C803
ความเป็นกรด				●									●				
ปริมาณอากาศ		●											●				
ปฏิกิริยาอัลคาไลน์คาร์บอนेट													●				
ปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา													●				
ปริมาณปูนซีเมนต์				●	●								●				
องค์ประกอบทางเคมี					●								●				
ปริมาณคลอไรด์					●								●				
กำลังอัด					●									●	●	●	●
การปนเปื้อนของมวลรวม				●									●				
การปนเปื้อนของน้ำผสม				●									●				
สภาวะการกัดกร่อน				●		●											
การคืบ					●												
ความหนาแน่น					●					●							
ค่าการยึดตัว					●												
องค์ประกอบเยือกแข็ง													●				
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น					●											●	
ค่าโมดูลัสการแตกร้าว					●		●										
ความชื้น					●		●				●						
การซึมผ่าน												●	●				
กำลังรับแรงดึงคอน														●			
คุณภาพของมวลรวม													●				
ความต้านทานการเยือกแข็งและหกลม					●				●				●				
ความคงตัว					●					●			●				
กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก					●												
ความต้านทานซัลเฟต				●									●				
กำลังรับแรงดึง					●												
ความสม่ำเสมอ	●												●		●		●
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน													●				



ตาราง 7.1 (ข) คุณสมบัติและสภาพทางกายภาพที่ใช้ในการประเมินการยอมรับได้

วิธีการประเมินคุณภาพ	การกระจายของคลื่นเสียง	ผลกระทบทางการดูดซับเสียง	การทดสอบทางเคมี	การเจาะเก็บแท่งทดสอบ ASTM C42	การใช้แก้วน้ำแข็ง	การฉายรังสีแกมมา	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด	การทดสอบการให้แรง ACI 437 R	การวิเคราะห์แร่หิน (Petrographic)	การวัดทางกายภาพ	การใช้เรดาร์	ค้อนแรงกระแทก ASTM C 805	คลื่นแรงไหวสะเทือน ASTM C 597	การสะท้อนของคลื่นแรงอัดด้วยอัลตราโซนิก	การตรวจสอบด้วยสายตา	Winsor Probe ASTM C803
ช่องการเย็บน้ำ									●						●	
การเสื่อมสภาพทางเคมี			●						●						●	
การเกิดสนิมของเหล็ก			●	●					●						●	
การแตกร้าว	●	●		●	●		●		●	●	●		●	●	●	
คุณสมบัติของหน้าตัดและความหนา				●		●				●			●			
การแตกร่อน		●		●	●	●	●		●		●		●	●	●	
การเปลี่ยนสี			●						●						●	
ความไม่ต่อเนื่อง				●		●	●		●						●	
การบิดรูปหรือ บิด															●	
การเกิดฝ้าขาว			●						●						●	
ความเสียหายจากการกัดเซาะ									●						●	
ความเสียหายจากการเหือกแข็งและหลอม									●						●	
ลักษณะโพรงแบบรังผึ้ง				●	●	●	●		●				●		●	
การหลุดร่อนของหิน															●	
การกะเทาะของผิว															●	
การกะเทาะ/รอยบิ่น				●		●	●								●	
การแยกชั้น		●			●									●	●	
พฤติกรรมรวมโครงสร้าง	●							●							●	
ความสม่ำเสมอของคอนกรีต						●			●			●	●		●	●

7.3.2 ขั้นตอนการประเมินผลสำหรับเหล็กเสริม

หน้าที่ของเหล็กเสริมในคอนกรีต คือ การรับแรงดึงและแรงกด นอกจากนี้จะต้องหาคุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กเสริมเพื่อใช้คำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักแล้วยังต้องหาความสามารถในการถ่ายเท (Transmitting) และการกระจายหน่วยแรง (Stresses) ลงบนโครงสร้างด้วย ข้อกำหนดดังกล่าวบ่งบอกว่าสามารถใช้คุณสมบัติและสภาพทางกายภาพในตารางที่ 7.2 (ASCE 11) ในการประเมินผลยอมรับได้ในเหล็กเสริมในคอนกรีต

ตาราง 7.2 คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมินผลการยอมรับได้ของเหล็กเสริมในคอนกรีต

วิธีการประเมินคุณภาพ	ผลกระทบทางเสียง	การวิเคราะห์ทางเคมี ASTM A751	การทดสอบการเคลือบ ASTM A775, G12, 14, 20	เครื่องตรวจระยะหุ้ม Cover Meters Pachometer	การวัดความต่างศักย์	การแรงดึงแกมมา	การวัดทางกายภาพ	การใช้เรดาร์	การทดสอบแรงดึง	การสะท้อนของคลื่นเสียงหัวขั้วตัดรั้วโซนิค	การตรวจสอบด้วยตาเปล่า
แรงยึดเหนี่ยวของ Epoxy			●								
การยึดฝัง							●				
ทดสอบการดีด							●				
กำลังที่จุดแตกหัก									●		
ปริมาณคาร์บอน		●									
องค์ประกอบทางเคมี		●	●								
คุณสมบัติการเคลือบ		●									
ระยะหุ้มคอนกรีต				●		●	●	●			
ความต่อเนื่องของการเคลือบ Epoxy			●								
การกัดกร่อน					●		●				●
คุณสมบัติหน้าตัดและความหนา							●				
การเปลี่ยนรูปร่าง							●				●
ค่าการยึดตัว									●		
การสัมผัสสภาพแวดล้อม											●
ตำแหน่งเหล็กเสริม	●			●		●	●	●			
การลดทอนพื้นที่หน้าตัด									●		
รูปร่าง							●				
กำลังที่จุดต่อ							●				
กำลังรับแรงดึง									●		
ความหนาของการเคลือบ Epoxy			●								
กำลังรับแรงเฉือนที่จุดเชื่อม							●				
กำลังที่จุดคราก									●		



ในส่วนต่อไปนี้เป็นขั้นตอนที่ควรปฏิบัติเพื่อใช้หาคุณภาพ และคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและเหล็กเสริมในโครงสร้าง โดยได้อธิบายถึงวิธีการเก็บตัวอย่าง การตรวจสอบเพื่อหาแร่ประกอบหิน (Petrographic) และการตรวจสอบทางเคมีของคอนกรีตตลอดจนวิธีการตรวจสอบอื่นๆ ที่ใช้ในการหาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและเหล็ก

7.4 คอนกรีต

7.4.1 วิธีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่เหมาะสม

ในบางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างเดิมเพื่อนำไปหากำลังอัดรวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งขั้นตอนต่างๆเป็นสิ่งสำคัญ ตั้งแต่การเก็บตัวอย่าง การเคลื่อนย้าย (Handle) การระบุชื่อ (Labeled) และการจัดเก็บตัวอย่างวิธีที่เหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหายและการปนเปื้อน (contamination) ซึ่งหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่เหมาะสม

ASTM C823 กำหนดแนวทางในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมไว้ เพื่อใช้หาข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตในโครงสร้างทั้งหมดเพื่อระบุสภาพผิดปกติในสัณฐานใดส่วนหนึ่งของโครงสร้าง โดยขั้นแรก ควรกำหนดบริเวณที่จะเก็บตัวอย่างให้กระจายทั่วบริเวณโครงสร้าง โดยจำนวนและขนาดของตัวอย่างขึ้นอยู่กับประเภทของการทดสอบ และระดับความมั่นใจที่ต้องการได้จากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ

สำหรับงานหนึ่งๆ ประเภทของแผนการเก็บตัวอย่างที่จำเป็นขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของคอนกรีต หรือในบางกรณีที่โครงสร้างคอนกรีตอาจมีหลายส่วนที่แตกต่างกันในด้านสัณฐานประกอบ สภาพ หรือคุณภาพ (Quality) จึงควรมีการตรวจสอบในเบื้องต้นและหาข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ มาประกอบ ก่อนที่จะวางแผนการเก็บตัวอย่างให้ลึกกลงไปในรายละเอียด ในกรณีที่คุณสมบัติของคอนกรีตมีความสม่ำเสมอ ควรกระจายตำแหน่งของการเก็บตัวอย่างให้ทั่วบริเวณที่จะสำรวจ ออกเป็นพื้นที่ย่อยที่เชื่อว่าแต่ละพื้นที่มีความสม่ำเสมอในระดับเดียวกัน ทั้งนี้ให้มีการเก็บตัวอย่างและประเมินผลต่างหากสำหรับแต่ละพื้นที่

สำหรับการทดสอบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของคอนกรีตเช่น กำลัง (Strength) โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus) หรือปริมาณอากาศ (Air content) ควรใช้จำนวนตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ใน ASTM E122 ซึ่งจำนวนตัวอย่างที่จำเป็นต้องใช้ขึ้นอยู่กับ

- ก) ค่าแตกต่างสูงสุดที่ยอมรับได้ ระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่เก็บได้และค่าเฉลี่ยจริง
- ข) ความผันแปรของผลการทดสอบ
- ค) ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ หากมีค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้

ผู้ทดสอบควรคำนึงถึงเสมอว่าคอนกรีตไม่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic) และคุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงตามทิศทางในการเก็บตัวอย่างด้วย ดังนั้นควรใช้ควรระมัดระวังอย่างสูงสำหรับโครงสร้างทางแนวตั้ง เช่น เสา กำแพง และคานลึก (Deep beams) คุณสมบัติของคอนกรีตในโครงสร้างเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูง เนื่องจากความแตกต่างในการเท และการทำให้แน่น การแยกตัว (Segregation) หรือการยี้ม โดยทั่วไปกำลังของคอนกรีตจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตในการเทครั้งเดียวกัน

7.4.2 การเจาะตัวอย่างคอนกรีต

ASTM C 42 กำหนดกระบวนการที่เหมาะสมในการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตไว้ แนวทางต่อไปนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการเจาะเก็บตัวอย่าง

- ก) อุปกรณ์โดยทั่วไปควรใช้หัวเจาะเพชร (Diamond-studded core bits) ในกรณีที่ทดสอบเพื่อหาค่ากำลัง ส่วนในกรณีอื่น ๆ ที่มีการเจาะในแนวตั้ง อาจใช้หัวเจาะแบบยิง (Shot drill) อย่างไรก็ตามควรใช้หัวเจาะเพชรในการเจาะในทิศทางอื่น
- ข) ควรเลือกจำนวนขนาด และบริเวณที่จะเจาะอย่างระมัดระวังเพื่อให้เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการทดสอบที่จำเป็นควรใช้ตัวอย่างใหม่สำหรับการทดสอบแต่ละครั้งเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดการทดสอบก่อนหน้านั้นในกรณีที่เป็นไปได้
- ค) เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างที่เจาะเก็บ (Core Diameter) ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบหาค่ากำลังควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดระบุโตสุดของมวลหยาบ หรือ 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) โดยให้เลือกใช้ค่าที่สูงกว่า
- ง) ความยาวของตัวอย่าง หากเป็นไปได้ควรให้ความยาวของตัวอย่างที่จะนำไปใช้ทดสอบหาค่ากำลังมีค่าอย่างน้อยสองเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง
- จ) ไม่ควรมีเหล็กเสริมในตัวอย่างที่จะนำไปใช้ทดสอบหาค่ากำลังอัด
- ฉ) ควรใช้ความระมัดระวังในการเจาะเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายของทางเดินสายไฟ หรือเหล็กเสริมอัดแรงที่ฝังในเนื้อคอนกรีต
- ช) หากเป็นไปได้ควรเจาะคอนกรีตตลอดแนวความลึกเพื่อหลีกเลี่ยงชิ้นส่วนตัวอย่างจากโครงสร้างแตกหัก หากไม่สามารถเจาะทะลุได้ ควรเจาะเพื่อให้มีความลึกเพิ่มขึ้น 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ในกรณีที่มีความเสียหายปรากฏบริเวณฐานรากของตัวอย่าง
- ซ) ในการเจาะตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบหาค่ากำลังควรเจาะอย่างน้อย 3 ตัวอย่างสำหรับแต่ละบริเวณของโครงสร้างนั้นๆ ค่ากำลัง ที่ใช้ควรเป็นค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างทั้งหมด ไม่ควรใช้ตัวอย่างเพียงชิ้นเดียวในการประเมินผลหรือวินิจฉัยปัญหาใดๆ

7.4.3 การสุ่มเก็บตัวอย่างจากชั้นคอนกรีตที่แตกหัก (Random sampling of broken concrete)

ไม่ควรใช้ตัวอย่างจากคอนกรีตที่แตกหักเสียหายในการทดสอบที่เกี่ยวกับกำลัง วิธีการนี้มักจะนำมาใช้ในกรณีที่ต้องการหาคุณสมบัติทางเคมีในชั้นส่วนคอนกรีตที่เกิดการเสื่อมสภาพ

7.4.4 การวิเคราะห์หาแร่ประกอบหิน (Petrographic) และการวิเคราะห์ทางเคมี

ห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานสำหรับการหาแร่ประกอบหินและการวิเคราะห์ทางเคมีจะช่วยในการหาลักษณะ (Characteristics) และคุณสมบัติของคอนกรีตจากโครงสร้างซึ่งอาจมีความสำคัญในการวิเคราะห์หาค่ากำลัง โดยควรปรึกษาผู้ทดสอบที่มีคุณสมบัติ (Qualified petrographer) ในการหาแร่ประกอบหิน เกี่ยวกับปัญหาของคอนกรีตก่อนเจาะตัวอย่างจากโครงสร้าง ผู้ทดสอบควรได้รับข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีตทั้งช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการก่อสร้างตลอดจนพฤติกรรมของโครงสร้างนั้นๆ



7.4.5 มวลรวม

การวิเคราะห์หาแร่ประกอบของหินของตัวอย่างคอนกรีตตาม ASTM C856 อาจนำมาใช้เพื่อหาคุณสมบัติของมวลรวมดังต่อไปนี้

- ก. รูปร่างของอนุภาค การกระจายขนาด และส่วนประกอบ
- ข. ขอบเขตที่อนุภาคได้รับการเคลือบผิว และคุณสมบัติของเพสต์ที่เคลือบ
- ค. ความน่าจะเป็นในการเกิดปฏิกิริยาที่ก่อความเสียหายระหว่างมวลรวมและต่างของปูนซีเมนต์ซัลเฟต และซัลไฟด์

7.4.6 คอนกรีต

การวิเคราะห์หาแร่ประกอบหิน ตามที่กำหนดใน ASTM C856 อาจใช้หาลักษณะของคอนกรีตดังต่อไปนี้

- ก. ความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์ของปูนซีเมนต์
- ข. ความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต
- ค. การทรุดตัวและการเยิ้ม ของคอนกรีตสด
- ง. ความเสียหายที่เกิดจากการแข็งตัวและหลอมละลายของน้ำในคอนกรีต
- จ. การเกิดและการกระจายตัวของรอยแตกร้าว
- ฉ. ลักษณะและการกระจายตัวของช่องว่างอากาศ
- ช. สารปนเปื้อนที่ปรากฏ
- ซ. สัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน
- ฌ. สารผสมเพิ่มแร่ธาตุที่ใช้
- ฎ. สัดส่วนโดยปริมาตรระหว่างมวลรวม ซีเมนต์เพสต์ และช่องว่างอากาศ
- ฏ. ปริมาณอากาศ (Air content) และลักษณะต่างๆของระบบช่องว่างอากาศ (รวมถึง entrained และ entrapped air)
- ฎ. รูปแบบการสึกกร่อนจากผิวบนสู่ส่วนล่างสุด
- ฐ. ความเสียหายที่ปรากฏเนื่องจากการเสื่อมสภาพจากการขีดสีและการไหม้ไฟ

7.4.7 การตรวจสอบทางเคมี

การตรวจสอบทางเคมีสามารถให้หาปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณของเกลือที่ละลายน้ำได้ ความลึกของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนชั่น และปริมาณคลอไรด์ ในกรณีที่โครงสร้างมีการสัมผัสกับสารที่อาจก่อให้เกิดอันตราย มักจะมีการหาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติตามความลึกของโครงสร้าง (Profile) ซึ่งถือว่ามีความสำคัญเป็นพิเศษโดยเฉพาะต่อโครงสร้างที่สัมผัสกับคลอไรด์

7.4.8 การทดสอบคอนกรีตเพื่อกำกำลังอัด

7.4.8.1 การทดสอบแบบทำลาย (Destructive testing)

การหากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะได้จากโครงสร้างควรเป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้ใน ASTM C39 และ C42 โดยควรให้ความสำคัญกับข้อต่อไปนี้

- ก. สำหรับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.0 ควรใช้ ค่าปรับแก้กำลัง (Strength correction factors) ที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้ใน ASTM C42
- ข. หากคอนกรีตในส่วนของโครงสร้างที่ต้องการทดสอบมีลักษณะแห้งอยู่ตลอด ระยะเวลาใช้งาน ตัวอย่างที่เจาะได้ควรทิ้งให้แห้งในอากาศ (Air-dried) ในช่วงอุณหภูมิ 15 ถึง 25 ° C (อุณหภูมิ 60-80 ° F) และความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าร้อยละ 60 อย่างน้อย 7 วัน ก่อนการทดสอบและควรทดสอบในสภาพแห้ง
- ค. หากคอนกรีตในโครงสร้างที่ต้องการทดสอบอยู่ในสภาพเปียกชื้นรุนแรงระหว่างการใช้งาน ควรแช่ตัวอย่างที่เจาะได้ในน้ำปูนอิ่มตัว (Lime-saturated water) เป็นเวลาอย่างน้อย 40 ชั่วโมงและควรทดสอบในสภาพเปียก คอนกรีตที่ใช้งานภายนอก (Outdoor exposure) ควรทดสอบในสภาพเปียก นอกจากนี้ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตดังกล่าวมีการป้องกันการซึมน้ำอย่างดีระหว่างการใช้งาน
- ง. ควรทดสอบหากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่เจาะเก็บได้ในสภาพเปียกเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอกที่ได้รับการบ่มแบบมาตรฐาน
- จ. ควรทดสอบหากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่เจาะเก็บได้ในสภาพเปียกเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานขนาด 150 คูณ 300 มิลลิเมตร (6 คูณ 12 นิ้ว) ที่เก็บในระหว่างการก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตที่มีอายุมาก (Matured concrete) ค่ากำลังอัดที่ได้จากตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานสำหรับคอนกรีตที่มีกำลัง 20 MPa (3000 psi) จนถึงร้อยละ 70 สำหรับคอนกรีต 60 MPa (9000 psi) (Mindess and Young)
- ฉ. กำลังอัดตัวอย่างซึ่งเจาะเก็บจากส่วนบนของพื้น คาน ฐานราก กำแพง และเสา อาจมีค่าต่ำกว่ากำลังอัดของตัวอย่างจากส่วนล่างของโครงสร้างดังกล่าว

7.4.8.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (nondestructive testing)

ผู้ทำการทดสอบหากำลังอัดควรระลึกว่า ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการทดสอบแบบทำลายใดๆที่สามารถใช้หากำลังได้โดยตรงในโครงสร้างคอนกรีตส่วนใหญ่จะใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายควบคู่ไปกับการทดสอบแบบเจาะ (Tests of drilled cores) เพื่อลดปริมาณการเจาะในการหากำลังอัดของโครงสร้าง ควรใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษในการประมาณค่ากำลังอัดที่เหมาะสมจากการทดสอบแบบไม่ทำลาย และควรดูหัวข้อ 2.2.2.2 ใน ACI 437 R สำหรับข้อมูลเพิ่มเติม



7.5 เหล็กเสริม

7.5.1 วิธีการสำรวจหาตำแหน่ง

การหาขนาด จำนวน และตำแหน่งของเหล็กเสริมสามารถทำได้โดยวิธีการ หรือส่วนประกอบของวิธีการดังต่อไปนี้

ก. การทดสอบโดยใช้แม่เหล็ก (Magnetic tests)

อุปกรณ์สำรวจที่ใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีตใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจากอุปกรณ์สำรวจนั้นๆเมื่อเคลื่อนอุปกรณ์เข้าใกล้เหล็กเสริมในคอนกรีต โดยการเคลื่อนอุปกรณ์สำรวจไปตามผิวคอนกรีต เข็มวัด (Meter) จะบ่งบอกตำแหน่งของเหล็กเส้น เมื่ออุปกรณ์สำรวจอยู่เหนือเหล็กเส้นพอดี หากมีการปรับเทียบที่เหมาะสม อาจใช้เข็มวัดนี้คาดคะเนความลึกเหล็กเสริมได้หากรู้ความหนาของระยะหุ้ม

การทดสอบโดยใช้แม่เหล็กมีข้อจำกัด คือ สามารถระบุตำแหน่งของเหล็กเสริมลึกจากผิวคอนกรีตได้ไม่เกิน 175 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) วิธีการนี้อาจไม่มีประสิทธิภาพหรือประสิทธิภาพต่ำ หากใช้กับคอนกรีตที่เสริมเหล็กหนาแน่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่มีเหล็กเสริมใกล้เคียงกันตั้งแต่ 2 เส้น ขึ้นไปหรือมีชั้นเหล็กเสริมที่ซ้อนอยู่ใกล้กัน อุปกรณ์สำรวจที่ใช้แบตเตอรี่อาจให้ผลผิดพลาดได้ หากใช้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 0° C (32 °F) แต่ก็ยังสามารถใช้อุปกรณ์สำรวจดังกล่าวในอุณหภูมิห้องต่ำๆได้ หากห่อหุ้มอุปกรณ์สำรวจนั้นไว้ด้วยแผ่นให้ความร้อน (Heat pads)

ความแม่นยำของอุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างของเหล็กเสริม และความหนาของระยะหุ้ม โดยอาจให้ผลที่ไม่แม่นยำในกรณีที่มีความหนาของระยะหุ้มเท่ากับ หรือใกล้เคียงกับระยะห่างของเหล็กเสริม และต้องไม่ใช้วัดเมื่ออุปกรณ์อยู่ใกล้กับวัสดุเหล็กอื่นใดเพื่อป้องกัน ผลลัพธ์ที่ผิดพลาด ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้อุปกรณ์สำรวจนำไปปรับเทียบ (Calibrated) หรือเปรียบเทียบ (Correlated) กับผลลัพธ์ที่ได้จากการเจาะหรือสกัด (Chipping) เพื่อยืนยันความถูกต้องของความหนาของระยะหุ้มขนาดของเหล็กเสริม

ข. การวิเคราะห์โดยใช้รังสี (Radiographic Evaluation)

วีธีรังสีอาจใช้หาขนาด ตำแหน่ง และสัณฐาน (Configuration) ของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีต โดยเฉพาะในการหาตำแหน่งของเหล็กอัดแรงแบบตึงที่หลัง (Post-tensioning Strands) ในแผ่นคอนกรีต และสามารถใช้รังสีแกมมาได้กับคอนกรีตที่หนาถึง 450 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) วิธีการนี้ได้รับการยอมรับให้ใช้ได้ในภาคสนามเนื่องจากอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและสะดวกต่อการพกพา

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดโดยใช้รังสีควรนำไปปรับเทียบ หรือเปรียบเทียบ กับผลการเจาะหรือการสกัด เพื่อยืนยันความถูกต้องกับความหนาของระยะหุ้ม และขนาดของเหล็กเสริมจริงเช่นกัน

ค. เรดาร์ (Radar)

การใช้ระบบเรดาร์แบบส่งคลื่นเป็นจังหวะ (Pulsed radar Systems) อาจนำมาใช้ในการหาตำแหน่งของเหล็กเสริมในคอนกรีต วิธีการนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แม่เหล็ก ในกรณีที่เหล็กเสริมที่การเสริมเหล็กหนาแน่น หรือในการสำรวจหาโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก การตีความผลลัพธ์ที่อ่านได้จากอุปกรณ์นี้ต้องกระทำโดยบุคคลากรที่มีประสบการณ์ในด้านนี้สูงเท่านั้น

ง. การสกัดเปิดคอนกรีตหุ้ม (Removal of Concrete Cover)

วิธีนี้ต้องใช้การสกัดเปิดผิวคอนกรีต เพื่อหาตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในคอนกรีต หรือใช้สว่านเจาะเพื่อหาความลึกของระยะหุ้ม มักใช้วิธีนี้เพื่อการยืนยันและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบโดยไม่ทำลายดังที่กล่าวข้างต้น

7.5.2 การหาค่าลึงคราก (Yield Strength) ของเหล็กเสริม

การหาค่าลึงครากของเหล็กเสริมที่ใช้ในอาคารมี สองวิธี คือ วิธีแรก ได้จากการใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบของผู้ผลิตเหล็กเส้นหากผู้ตรวจสอบและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องอาคารยอมรับอย่างไรก็ตาม กำลังดึงจากรายงานการทดสอบของผู้ผลิตมักจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างจริง หากผลดังกล่าวนี้เป็นไปไม่ได้หรือยอมรับไม่ได้ ต้องเก็บตัวอย่างและทำการทดสอบแบบทำลาย แนวทางปฏิบัติสำหรับวิธีการนี้อยู่ในหัวข้อ 7.5.3 สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบเหล็กเสริมในโครงสร้างเก่า อาจหาได้จากเอกสารอ้างอิงของ Concrete Reinforcing Steel Institute (1981)

7.5.3 วิธีการเก็บตัวอย่างเหล็กเสริม

การใช้วิธีการทดสอบแบบทำลายกับตัวอย่างเหล็กเสริมที่ได้จากโครงสร้างอาคารเก่าเพื่อหาค่าลึงครากของเหล็กเสริมในคอนกรีต ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำต่อไปนี้

- ก. ASTM A 370 กำหนดลักษณะของตัวอย่างที่จะทดสอบ การเลือกตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง โดยสามารถทดสอบเหล็กเสริมได้ทั้งเส้น
- ข. ควรเก็บตัวอย่างจากบริเวณที่มีหน่วยแรง (Stress) ในเหล็กเสริมน้อยที่สุด
- ค. ไม่ควรเก็บตัวอย่างสองชิ้นจากหน้าตัดโครงสร้างเดียวกัน
- ง. บริเวณที่เก็บตัวอย่างในคอนกรีตที่เทต่อเนื่อง ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างควรอยู่ห่างกันอย่างน้อยเท่ากับความยาวของระยะฝัง (Development length) ของเหล็กเสริมเพื่อป้องกันความเสียหายความแข็งแรงของส่วนนั้น
- จ. สำหรับโครงสร้างเดี่ยวที่มีช่วงความยาวคาน (Span) น้อยกว่า 7.5 เมตร (25 ฟุต) หรือพื้นที่รับน้ำหนักขนาดเล็กกว่า 60 ตารางเมตร (625 ตารางฟุต) ควรเก็บอย่างน้อยหนึ่งตัวอย่างในบริเวณหลักที่เสริมเหล็กตามยาว (ไม่ใช่เหล็กผูกตั้ง (Stirrup) หรือเหล็กยึด (Ties))
- ฉ. สำหรับช่วงที่ยาวกว่านั้น หรือพื้นที่รับน้ำหนักที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อข้างต้น ควรเก็บตัวอย่างมากขึ้น โดยเก็บให้ทั่วบริเวณที่ต้องการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่ามีการใช้เหล็กเสริมที่มีความแข็งแรง (Strength) เท่ากันทั้งโครงสร้าง
- ช. ตัวอย่างแต่ละชิ้นควรมีความยาวอย่างน้อย 400 มิลลิเมตร (16 นิ้ว) แต่อาจเก็บตัวอย่างขนาดใหญ่กว่าแล้วนำไปไส แต่ง (Machined) ตามข้อกำหนดใน ASTM A370 เพื่อนำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางกล



7.6 การทดสอบแบบไม่ทำลาย

วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบไม่ทำลายคือ เพื่อหาคุณสมบัติต่างของคอนกรีตเชิงเปรียบเทียบ เช่น กำลังค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ความเป็นเนื้อเดียวกัน รวมถึงความเค้นและความเครียดด้วย โดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตได้รับความเสียหาย การเลือกวิธีทดสอบต้องมีการพิจารณาตัดสินที่ดี โดยขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ต้องการ ขนาดและลักษณะของโครงสร้างสภาพหน้าและความเสี่ยงของโครงสร้าง (ACI 207.3R) การใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่เหมาะสมต้องใช้เครื่องมือทางเทคนิคและผู้ชำนาญการที่เข้าใจการใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในสถานการณ์ต่างๆ วิธีการทดสอบอาจจำแนกเป็นวิธีการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับกำลัง และวิธีการทดสอบที่ใช้ในการหาตำแหน่งความเสียหายแอบแฝง ในกลุ่มแรกพัฒนาการล่าสุดได้กล่าวถึงการทดสอบ Pullout Test, Break off Test, Torque Test , Pulloff Test และ Maturity Method ส่วนกลุ่มหลังได้ทบทวนการนำเสนอมือวิธี Infrared thermograohy, ground penetration radar และวิธีอื่นๆ อีกหลายวิธีที่อิงกับการแพร่ของคลื่นด้วยความเค้น (Stress Wave Propagation) ทฤษฎีของแต่ละวิธี ได้มาจากการกล่าวถึงข้อดีและข้อจำกัดในที่นี้ รวมทั้งจุดที่ต้องเกี่ยวข้องกับมาตรฐาน ASTM

ก. ค่าตัวเลขการสะท้อนกลับ (Rebound number of Schmidt hammer)

ตัวเลขการสะท้อนกลับได้จากการใช้ค้อนที่ประกอบด้วยแท่งเหล็กและสปริงแรงในแนวแกน ประกอบอยู่ในโครงรูปแบบ ดันค้อนเข้าหาพื้นผิวของคอนกรีตซึ่งแท่งเหล็กจะถูกดันร่นเข้ามาอัดสปริง เมื่อแท่งเหล็กถูกดันเข้ามาเต็มที่ สปริงก็จะคืนตัวโดยอัตโนมัติ และแท่งเหล็กจะถูกดันซ้ำเข้ากับค้อนส่งแรงกระแทกกับคอนกรีต และสะท้อนกลับออกมา ระยะของการสะท้อนกลับแสดงโดยตัวชี้บนสเกลซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 ค่าการสะท้อนที่อ่านได้เรียกว่า R การตีความค่าของ R จะแสดงไว้ในคู่มือการใช้งาน ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายจะเป็นผู้ให้มา ค่า R แสดงถึงสัมประสิทธิ์การคืนตัวของคอนกรีต และค่า R จะเพิ่มขึ้นตามกำลังของคอนกรีต

ค้อนส่วนใหญ่จะให้มาพร้อมกับแผนภูมิเปรียบเทียบ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกับค่าการสะท้อนกลับที่อ่านได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดความมั่นใจมากขึ้นจากการใช้แผนภูมิเปรียบเทียบเพียงอย่างเดียว ผู้ใช้ควรพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างคอนกรีตที่ส่วนผสมต่างๆ กับค่าตัวเลขการสะท้อน

ตัวเลขที่วัดได้อาจใช้เพื่อประมาณความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีต และคุณภาพของคอนกรีต รายละเอียดวิธีการทดสอบได้รายงานไว้ใน ASTM (805 C CRD-C-22)

การใช้ค้อนแรงสะท้อนเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย และทำได้รวดเร็วสำหรับการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลายหน้างาน อุปกรณ์ทดสอบราคาไม่แพงและสามารถใช้งานโดยบุคลากรที่หน้างานหลังจากได้รับคำแนะนำง่ายๆ ค้อนแรงสะท้อนมีประโยชน์มากในการทดสอบคุณภาพทั่วๆ ไปของคอนกรีต และสำหรับตรวจหาตำแหน่งของคุณภาพของคอนกรีตที่คุณภาพไม่ดี วิธีการทดสอบนี้สามารถทำการทดสอบได้พื้นที่มากในเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นจึงสามารถจัดทำแผนที่ของการทดสอบได้ภายในระยะเวลาเพียง 2-3 ชั่วโมงเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม การวัดค่าการสะท้อนกลับนี้เป็นการทดสอบที่ไม่ค่อยแม่นยำนัก และไม่ได้ให้ค่าที่น่าเชื่อถือในการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของคอนกรีต การวัดแรงสะท้อนกลับของคอนกรีตในสนามนี้ได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ความเรียบของผิวเรียบ
- ปริมาณความชื้นของคอนกรีต
- ชนิดของมวลรวมหยาบ

- ขนาด รูปร่าง และความแข็งแรงของตัวอย่าง (เช่น ผนังหนาๆ หรือคาน)
- การเกิดคาร์บอนชั้นของผิวคอนกรีต

ข. กำลังต้านทานการทะลวงแบบทะลวง (แบบแทง)

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความต้านทานการทะลวง ส่วนใหญ่จะใช้ Windsor Probe ที่ใช้ในการยิงเข็มเหล็กกำลังสูงผ่านช่องว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. (0.32 นิ้ว) เข้าไปในเนื้อคอนกรีต การทดสอบ 1 ชุด จะวัด 3 ครั้งโดยทำในแต่ละพื้นที่โดยมีแผ่นเพลตกำหนดระยะ ความยาวของเข็มที่พ้นจากผิวหน้าของคอนกรีตสามารถวัดได้โดยอุปกรณ์ง่าย ๆ

ผู้ผลิตจะให้กราฟเปรียบเทียบมาชุดหนึ่งซึ่งจะประกอบด้วยเส้นโค้ง 5 เส้น แต่ละเส้นจะใช้ตามค่า Moh's hardness ของมวลรวมหยาบที่ใช้ในคอนกรีต ด้วยเส้นโค้งเหล่านี้ ค่าการวัดเข็มจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม การใช้โค้งปรับเทียบของผู้ผลิตที่ให้มา มักทำให้ผลที่ไม่ถูกต้องในการประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีต ดังนั้นวิธีการนี้จึงควรมีการปรับเทียบสำหรับผู้ใช้งานแต่ละราย และควรมีการปรับเทียบอีกครั้ง เมื่อมีการเปลี่ยนสัดส่วนผสมหรือมวลรวม

ความต้านทานการทะลวงสามารถใช้วัดคุณภาพและความสม่ำเสมอของคอนกรีตได้ เนื่องจากความแตกต่างทางกายภาพของคอนกรีตจะมีผลต่อความต้านทานการทะลวง เข็มจะทะลวงลงไปได้ลึก เมื่อมีความหนาแน่น ความแข็งของพื้นผิว และกำลังของคอนกรีตลดลง พื้นที่ของคอนกรีตที่คุณภาพไม่ดี สามารถแสดงออกมาได้โดยการทดสอบการทะลวงที่ระยะห่างสม่ำเสมอ วิธีการทดสอบมีรายละเอียดไว้ใน ASTM C 803 (CRD-C59)

อุปกรณ์นี้ใช้งานง่าย ทนทานและไม่ต้องการบำรุงรักษามาก สามารถให้บุคลากรที่หน้างานใช้ได้โดยไม่ต้องจำเป็นต้องอบรมวิธีการใช้มากนัก การทดสอบนี้มีประโยชน์มากในการวัดคุณภาพโดยทั่วไปของคอนกรีตและกำลังของคอนกรีตในเชิงเปรียบเทียบในส่วนต่างๆ ของโครงสร้าง

สำหรับข้อจำกัดของวิธีนี้ จะต้องระมัดระวังทุกครั้งที่ใช้อุปกรณ์นี้เนื่องจากใช้การยิงแบบวิถีโค้ง และควรสวมแว่นนิรภัยขณะทำงาน วิธีการนี้เป็นการวัดความแข็งแรงของผิวและบริเวณใต้ผิวคอนกรีตซึ่งไม่ได้หาค่าที่แม่นยำในการวัดค่ากำลังแรงอัดของคอนกรีตในสนาม อย่างไรก็ตามก็อาจหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตหากอุปกรณ์นี้ได้รับการเปรียบเทียบอย่างเหมาะสม วิธีการนี้ทำให้คอนกรีตได้รับความเสียหายโดยทำให้เกิดรู ขนาด 8 มม. (0.32 นิ้ว) เท่ากับความลึกของเข็มที่ทะลวงลงไป และอาจทำให้เกิดผิวรอยแตกและหลุดออกมา ทำให้อาจจำเป็นต้องมีการซ่อมแซมคอนกรีตในบริเวณนั้น

ค. Ultrasonic pulse – velocity Method

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ได้รับการใช้อย่างแพร่หลายที่สุดสำหรับการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลายในสนาม วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับการเดินทางของคลื่นแรงอัดเป็นจังหวะทางอิเล็กทรอนิกส์ผ่านระยะทางที่ทราบในคอนกรีต จากระยะเวลาที่ทราบและระยะทางที่เดินทางทำให้สามารถคำนวณหา Pulse Velocity ผ่านคอนกรีตที่มีคุณภาพดีโดยปกติแล้วจะให้ค่าความเร็วที่สูงร่วมกับสัญญาณที่ดีของกำลังอัด คอนกรีตที่มีคุณภาพไม่ดีหรือเสื่อมสภาพจะทำให้ความเร็วสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของรอยแตก แต่จะทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง

วิธีการนี้ได้นำมาใช้งานหลายปีแล้ว โดยเป็นการใช้ตรวจสอบคุณภาพและสภาพโดยทั่วไปของคอนกรีต และใช้ทดสอบขอบเขตและความรุนแรงของรอยแตกในคอนกรีตรวมถึงใช้เพื่อกำหนดพื้นที่ของคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายและคอนกรีตที่มีคุณภาพไม่ดี วิธีการทดสอบนี้อธิบายรายละเอียดไว้ใน ASTM C 597 (CRD-C51)



เครื่องมือสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย และมีกำลังมากพอที่จะทะลุทะลวงผ่านคอนกรีตคุณภาพดีที่มีความหนา 11 เมตร (35 ฟุต) และการทดสอบสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

วิธีการนี้ให้ค่าที่มีความแม่นยำในการประมาณกำลังของคอนกรีต ความชื้นที่ผันแปรและการเสริมเหล็กมีผลกระทบต่อผลลัพธ์ จึงจำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความชำนาญในการวิเคราะห์ผล การวัดต้องการเข้าถึงด้านตรงข้ามของหน้าตัดที่ต้องการวัด

ง. Acoustic Mapping System

วิธีการนี้สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องระบายน้ำออกจากโครงสร้าง สามารถประเมินผลในวงกว้างของการสึกหรอของพื้นผิวราบเช่น aprons , sills , พื้น lock chamber และ พื้นแ่งรับน้ำ (Stilling basins) ที่ซึ่งกระแส น้ำวนพัดพาหินและเศษดินมาขัดทำให้เกิดความเสียหายแบบกัดกร่อน ระบบนี้จะใช้หลักของโซนาร์ (Sonar) โดยกาส่งผ่านคลื่นเสียงและรับการสะท้อนกลับจากโครงสร้างได้น้ำ

ระบบนี้สามารถใช้ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำในการสำรวจพื้นผิวราบที่อยู่ใต้ระดับน้ำลึก 1.5 ถึง 12 เมตร (5 ถึง 40 ฟุต) โดยมีความแม่นยำ ± 50 มม. (2 นิ้ว) ในทางดิ่ง และ ± 0.3 ม.(1 ฟุต) ในทางราบ ความหลากหลายของระบบทำให้สามารถใช้สำหรับการทำงานได้น้ำแบบอื่นๆ เช่น การซ่อมแซมและการตรวจหารูขนาดใหญ่ใต้น้ำหรือการก่อดวงของตะกอนใต้น้ำ ระบบนี้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการสำรวจชั้นอ่างน้ำนิ่งของเขื่อน fulsome ซึ่งเป็นโครงการหนึ่งของสำนัก Reclamation Project ของสหรัฐฯ (SONEX 1984) และอ่างน้ำของเขื่อน Ice Habor ในเขต Walla Walla

วิธีการนี้อาจใช้เพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายและความไม่สะดวกของผู้ใช้การระบายน้ำและอันตราย รวมถึงความไม่แม่นยำของที่มประดาน้ำผู้ทำการสำรวจ

ความแม่นยำทั้งทางดิ่งและทางราบจะลดลงเมื่อใช้กับความลึกมากกว่า 9 เมตร (30 ฟุต) และมีข้อจำกัดบางประการเกี่ยวกับความเร็วและความปั่นป่วนของกระแส

จ. Ultrasonic pulse-echo (UPE)

ลักษณะการประยุกต์วิธีการ Pulse – Velocity อย่างหนึ่งก็คือวิธีการ Pulse Echo โดยคลื่น Pulse ที่ถูกสร้างและส่งผ่านพื้นผิว และรับการสะท้อนกลับที่จุดเดียวกัน ระยะเวลาสะท้อนจากพื้นผิว รอยแตก ช่องว่าง ร่วมกับความเร็วภายในคอนกรีตที่ทราบ ทำให้สามารถคำนวณระยะทางระหว่างจุดไม่ต่อเนื่องต่างๆไปยังจุดส่งและจุดรับ ระบบนี้ได้รับการสาธิตว่าเป็นไปได้และมีการพัฒนามาตั้งแต่ ค.ศ.1988 (Alexander and Thornton 1988) ระบบ Impact pulse – echo สำหรับการประยุกต์ใช้ตรวจสอบเสาเข็มได้ บรรยายโดย Alexander(1980) และปัจจุบันเริ่มมีการนำมาใช้งานแล้ว

ระบบนี้ใช้งานได้ดีกับงานลักษณะแบนราบโดยมีความหนาไม่เกิน 0.3 เมตร (1 ฟุต) ระบบนี้สามารถตรวจจับวัสดุแปลกปลอม เช่น เหล็ก และท่อพลาสติกได้ สามารถใช้วัดพื้นที่ไม่ทราบความหนา และแสดงแยกชั้นได้สูงสุด 0.3 เมตร (1 ฟุต) ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมระบบ Neural Network Algorithms ให้เรียนรู้สภาพของชั้นงานจากที่ได้รับการเปรียบเทียบแล้ว

ระบบมีความละเอียดสูงเนื่องจากการทำงานที่มีความถี่เฉลี่ยขนาด 200 kHz ความยาวคลื่นโดยประมาณ 25 มม. (1 นิ้ว) ในคอนกรีตที่มีคุณภาพดี ซึ่งให้ Spatial Resolution ที่ดีกว่าเรดาร์ สามารถทำงานได้ใต้น้ำหรือที่แห้ง ความเร็วของเสียงในคอนกรีตที่แห้งและชื้นมีความผันแปรไม่เกิน 5 %

อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายส่วน ไม่สะดวกในการพกพามากนัก รวมถึงข้อมูลในการวัดทั้งหมดต้องการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เพื่อดึงคลื่นสัญญาณออกจากสัญญาณรบกวน และต้องใช้ผู้ชำนาญการที่มีทักษะทางด้านนี้

จ. Radar

วิธีนี้อาศัยการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับการทำงานของวิธี Ultrasonic Pulse Echo (UPE) ระยะเวลาการเดินทางของคลื่นวัดจากเวลาที่คลื่นวิ่งผ่านผิวคอนกรีต ผ่านความต่อเนื่องต่างๆรอยต่อ และสะท้อนกลับมาที่จุดกำเนิด ขณะที่คลื่นทางกลของเทคนิค UPE เคลื่อนที่ด้วยความเร็วของเสียง แต่สำหรับระบบนี้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบ Radar เคลื่อนที่ด้วยความเร็วของแสง

ระบบเรดาร์ทำงานที่ความถี่ 1 GHz มีความยาวของคลื่นประมาณ 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ในคอนกรีต ในปัจจุบันสามารถทะลุผ่านคอนกรีตที่มีความหนา 0.5 เมตร (1.5 ฟุต) ได้ที่คลื่นความถี่นี้ ในการตรวจจับช่องว่างที่อยู่ลึก 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ในคอนกรีตช่องว่างพื้นต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ถึง 75 มิลลิเมตร (2 – 3 นิ้ว) และที่ความลึก 0.3 เมตร (1 ฟุต) ช่องว่างต้องมีขนาด 75 ถึง 100 มิลลิเมตร (3 ถึง 4 นิ้ว) จึงสามารถตรวจพบได้ ระบบที่มีความถี่ต่ำกว่านี้จะสามารถทะลุทะลวงได้ลึกกว่า แต่มีความละเอียดต่ำกว่า ระบบเรดาร์นี้มีความไวในการตรวจหาเหล็กเสริม แต่เหล็กเสริมอาจรบกวนการตรวจสอบได้ในกรณีที่ทำกรตรวจสอบเพื่อหาความเสื่อมสภาพของคอนกรีต เรดาร์มีความไวต่อความชื้นและมีประโยชน์สำหรับการหาพื้นที่ที่เสื่อมสภาพ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเก็บความชื้นไว้มากกว่าคอนกรีตที่มีสภาพดี

เรดาร์เป็นระบบที่ไม่ต้องสัมผัสและได้ข้อมูลที่เร็วมาก แต่ความละเอียดและการทะลุทะลวงมีข้อจำกัด ในปัจจุบันนี้ได้พัฒนามาใช้ในเชิงพาณิชย์

เรดาร์ยังคงอยู่ในระหว่างการพัฒนาเพื่อใช้กับคอนกรีต และยังไม่มีความมาตรฐานสำหรับการวัดนี้ ในปัจจุบันเครื่องเรดาร์มีราคากระหว่าง 50,000 ถึง 100,000 US\$ และต้องใช้บุคลากรที่ได้รับการอบรมมาเป็นอย่างดี เพื่อใช้เครื่องมือและแปลผลข้อมูล ระบบที่ใช้ในทางพาณิชย์ในปัจจุบันซึ่งมีการนำมาใช้กับคอนกรีตนั้น ได้รับการพัฒนาระบบมาให้สามารถใช้ดินเพื่อการใช้งานให้ได้ผลที่ดีกว่าในการศึกษาปฐพีกายภาพ การใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณช่วงความเร็วของ Pulse ขึ้นกับ Dielectric Constant ของคอนกรีตและแปรผันเกือบ 100 % ระหว่างคอนกรีตแห้ง กับคอนกรีตชื้น

การทดสอบสะพานในสภาวะ การรับน้ำหนักบรรทุกจริง

8.1 บทนำ

การทดสอบโครงสร้างโดยการรับน้ำหนักบรรทุกที่ทราบค่า เป็นรูปแบบหนึ่งของการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อช่วยให้สามารถประเมินได้ว่า โครงสร้างนั้นๆ มีพฤติกรรมและผลตอบสนองเช่นใดภายใต้น้ำหนักบรรทุกจริง และยังสามารถในการรับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจริง (Load Test) นี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อที่จะได้ออกแบบการซ่อมบำรุง และการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้างนั้นต่อไป

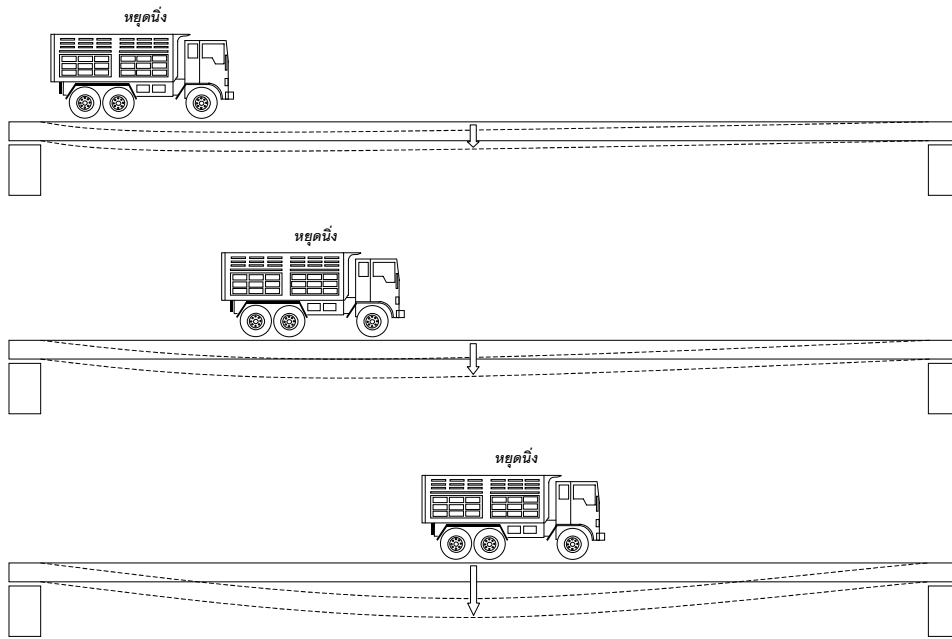
นอกจากนั้น ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์เบื้องต้น และใช้เป็นเกณฑ์ในการปรับแก้พฤติกรรมของสะพานในแบบจำลองเบื้องต้นให้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของสะพานมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การประเมินความแข็งแรง และความปลอดภัยของโครงสร้างสะพาน (Bridge Evaluation) รวมถึงการคาดการณ์พฤติกรรมของสะพานภายใต้แรงกระทำรูปแบบต่างๆ มีความละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น

การทดสอบดังกล่าวสามารถกระทำได้ทั้งกับสะพานที่สร้างใหม่ สะพานเก่าที่เสื่อมสภาพ หรือสะพานที่ได้รับ ความเสียหายอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น อุบัติเหตุเพลิงไหม้ เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ ดังนี้

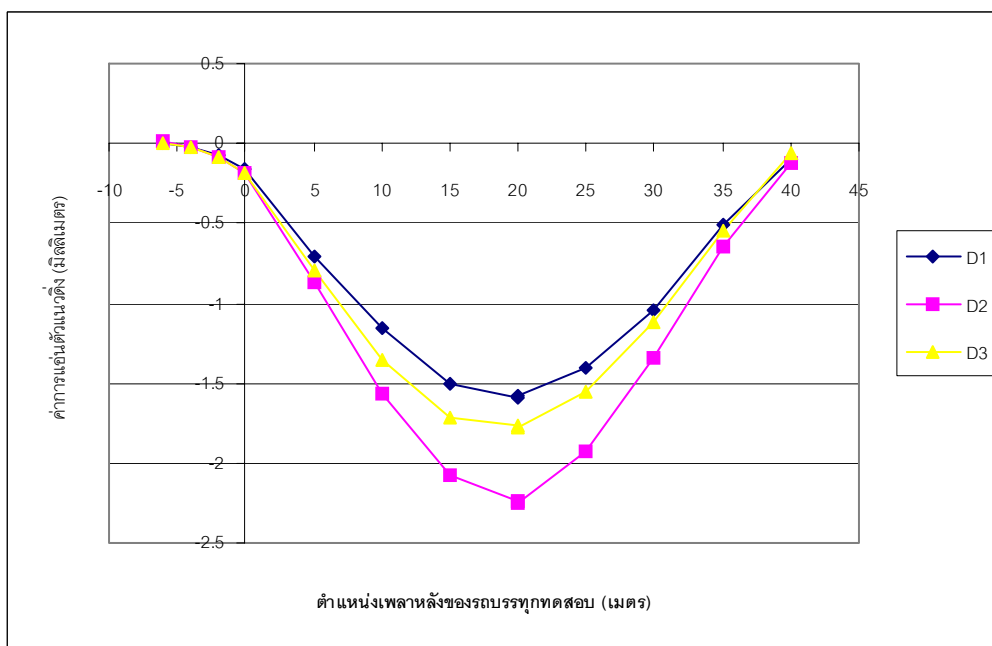
- การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิต (Static Load Test)** เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปแบบสถิตของโครงสร้างสะพาน เนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน ณ ตำแหน่งต่างๆ
- การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต (Dynamic Load Test)** เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปเชิงพลวัตของโครงสร้างสะพาน เนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกที่แล่นบนสะพานด้วยความเร็วต่างๆ

8.2 หลักการตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิต (Static Load Test)

การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิต เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปแบบสถิตของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักและตำแหน่งของรถบรรทุกที่กระทำต่อสะพาน โดยการตรวจวัดจะนำรถบรรทุกทดสอบที่มีขนาดน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งได้ทำการประเมินความปลอดภัยจากกรณีวิเคราะห์โครงสร้างแล้ว มาหยุดนิ่งที่ตำแหน่งทดสอบต่างๆ ที่กำหนดบนสะพานดังแสดงในรูปที่ 8-1 ในแต่ละตำแหน่งที่หยุดรถจะทำการบันทึกค่าการเสียรูปของโครงสร้างสะพานซึ่งได้แก่ ค่าความเครียด (Strain) และค่าการแอ่นตัวแนวตั้ง (Vertical Displacement) ของชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างสะพาน

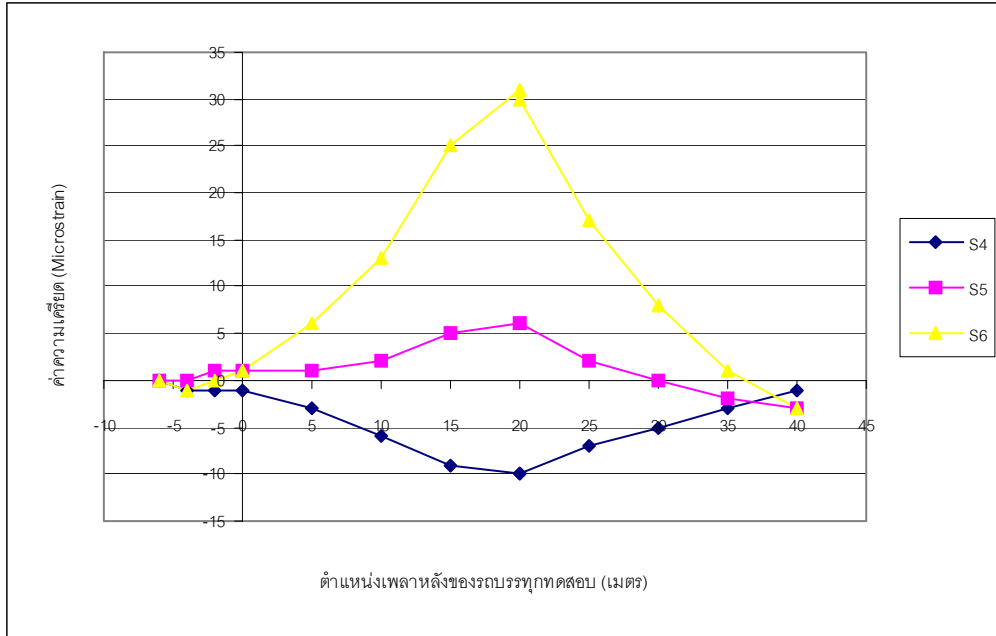


รูปที่ 8-1 ตัวอย่างพฤติกรรมการเสียรูปแบบสถิตของโครงสร้างสะพานเนื่องจากรถบรรทุกที่ตำแหน่งต่างๆ บนสะพาน



รูปที่ 8-2 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวแนวตั้งและตำแหน่งเพลาหลังของรถบรรทุกทดสอบ

จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้ จะทำการวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบของความสัมพันธ์ต่างๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดกับตำแหน่งของรถบรรทุก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวแนวตั้งกับตำแหน่งของรถบรรทุก และความคุณสมบัติความเป็นเส้นตรงของโครงสร้าง (Linearity) เป็นต้น ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 8-2 และ 8-3

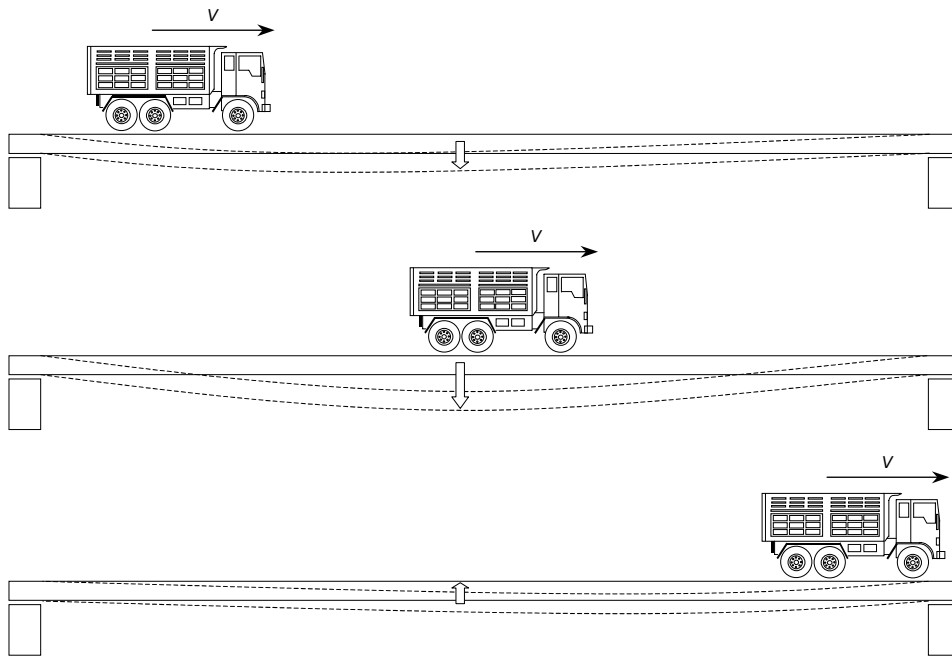


รูปที่ 8-3 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดและตำแหน่งเพลาลังของรถบรรทุกทดสอบ

8.3 หลักการตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต (Dynamic Load Test)

การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต เป็นการตรวจวัดเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปเชิงพลวัตของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่แล่นบนสะพาน โดยการตรวจวัดจะนำรถบรรทุกทดสอบที่มีขนาดน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ซึ่งได้ทำการประเมินความปลอดภัย จากการวิเคราะห์โครงสร้างแล้ว มาแล่นผ่านบนสะพานที่ความเร็วต่าง ๆ กัน ตัวอย่างของพฤติกรรมการเสียรูปเชิงพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน แสดงในรูปที่ 8-4

ในแต่ละน้ำหนักและความเร็วที่แล่นผ่านบนสะพาน จะทำการตรวจวัดและบันทึกค่าการเสียรูปของโครงสร้างสะพานซึ่งได้แก่ ค่าความเครียด (Strain) ค่าการแอ่นตัวแนวตั้ง (Vertical Displacement) และค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical Acceleration) ซึ่งจากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะทำการวิเคราะห์ค่า Factor ที่ใช้ในการออกแบบและคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน ได้แก่ ค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์ (Dynamic Amplification Factor, DAF) ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) และค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) ของโครงสร้างเป็นต้น



รูปที่ 8-4 ตัวอย่างพฤติกรรมการเสียรูปแบบพลวัตของโครงสร้างสะพานอันเนื่องจากรถบรรทุกแล่นผ่านบนสะพาน

8.4 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัด

8.4.1 ค่าคูณเพิ่มทางพลศาสตร์ (Dynamic Amplification Factor, DAF)

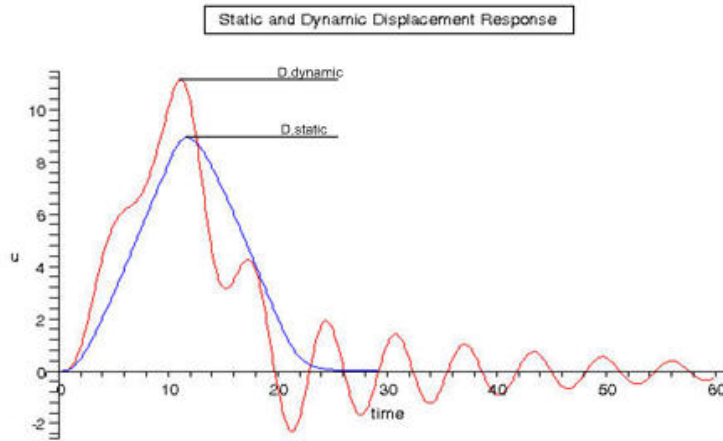
เป็นค่าที่ใช้คูณเพื่อขยายผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานที่วิเคราะห์พฤติกรรมในแบบสถิตให้รวมผลจากการสั่นไหวของโครงสร้างเนื่องจากแรงที่กระทำมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางตามเวลา ในข้อกำหนดของมาตรฐาน AASHTO เรียกค่า DAF นี้ว่า Impact Factor การวิเคราะห์ค่า DAF ทำโดยอาศัยสมการที่ 8-1

$$DAF = \frac{R_{Dyn}}{R_{Sta}} \quad (8-1)$$

โดยที่ R_{Dyn} = ค่าสูงสุดของการตอบสนองเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้าง

R_{Sta} = ค่าสูงสุดของการตอบสนองในแบบสถิต

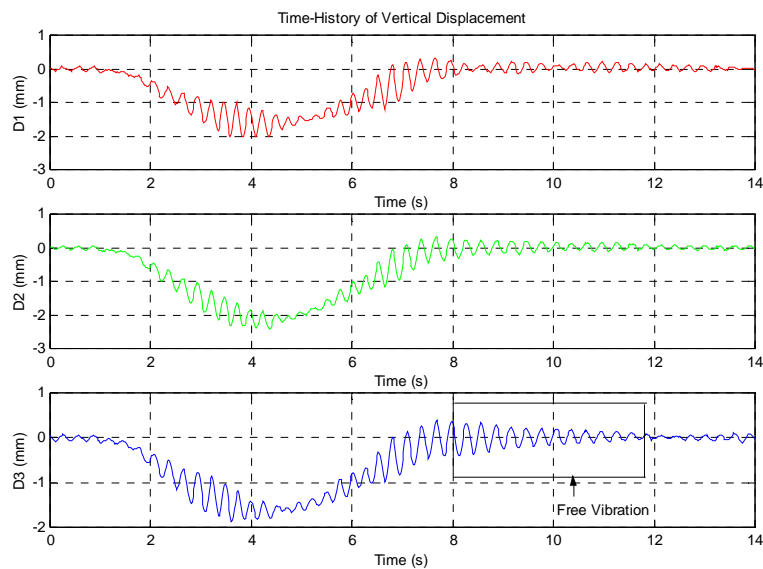
ค่า R_{Dyn} จะใช้ข้อมูลที่บันทึกได้จากการตรวจวัดเชิงพลศาสตร์ ซึ่งจะเป็น Dynamic Response ของโครงสร้าง โดยพิจารณาค่าสูงสุดของข้อมูลนั้น ส่วนค่า R_{Sta} จะใช้ค่าสูงสุดของการตอบสนองของโครงสร้างที่จุดที่พิจารณาจากการตรวจวัดแบบสถิต แต่ในกรณีที่ไม่สามารถทำการตรวจวัดแบบสถิตได้ จะวิเคราะห์โดยนำข้อมูลที่บันทึกได้จากการตรวจวัด Dynamic Load Test มาผ่านกระบวนการกรองความถี่แบบ Low Pass Filter เพื่อแยกส่วน Pseudo-Static ออกจาก Dynamic Response โดย Pseudo-Static นี้จะเป็นเสมือนพฤติกรรมตอบสนองของโครงสร้างที่จุดที่พิจารณาภายใต้น้ำหนักที่กระทำเป็นแบบ Static และน้ำหนักที่กระทำเคลื่อนที่ไปตามความยาวของช่วงสะพานและไม่มีผลจากการสั่นไหวของโครงสร้างเข้ามาเกี่ยวข้อง ค่า R_{Sta} จะเป็นค่าสูงสุดของ Pseudo-Static



รูปที่ 8-5 ค่าการตอบสนองของโครงสร้างแบบ Pseudo Static และแบบ Dynamic

8.4.2 ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน (Natural Frequency)

เป็นคุณสมบัติพื้นฐานทางพลศาสตร์ของโครงสร้าง โดยจะเป็นค่าความถี่ในการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้าง (Free Vibration) เมื่อแรงที่กระทำมีความถี่ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติ ผลการตอบสนองจะมีการสั่นพ้อง (Resonance) ทำให้มีระดับการตอบสนองสูงกว่าปกติมาก การวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานจากข้อมูลการตรวจวัด ทำโดยนำข้อมูลที่บันทึกได้จากการตรวจวัดซึ่งอยู่ในรูป Time-History ของข้อมูลต่างๆ โดยพิจารณาการสั่นไหวในช่วงการสั่นแบบอิสระมาแปลงให้อยู่ใน Frequency Domain โดยการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ตามสมการที่ 8-2 ตัวอย่าง Time History ของการแอนตัวเนื่องจากรถบรรทุกทดสอบแล่นบนสะพานและการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพาน แสดงในรูปที่ 8-6 และ 8-7 จากนั้นพิจารณาค่าความถี่ที่มีขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์สูงสุด จะเป็นค่าความถี่หลักของการสั่นแบบอิสระหรือความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพาน ตัวอย่างข้อมูลที่แปลงให้อยู่ใน Frequency Domain โดยการแปลงฟูเรียร์แสดงในรูปที่ 8-8

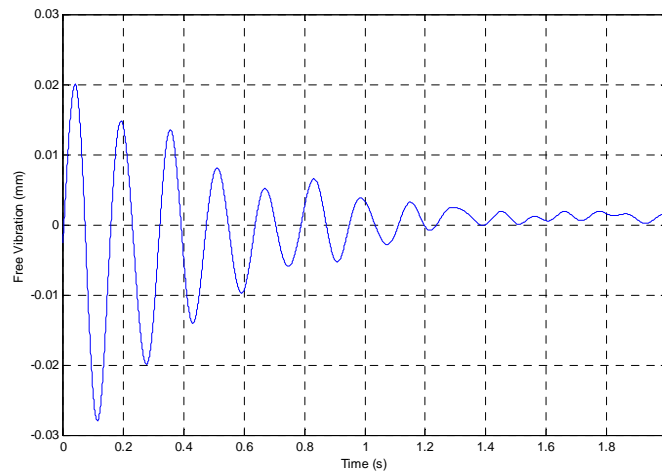


รูปที่ 8-6 ตัวอย่าง Time History ของการแอนตัวแนวตั้งที่ได้จากการตรวจวัดเนื่องจากรถบรรทุกทดสอบแล่นบนสะพาน

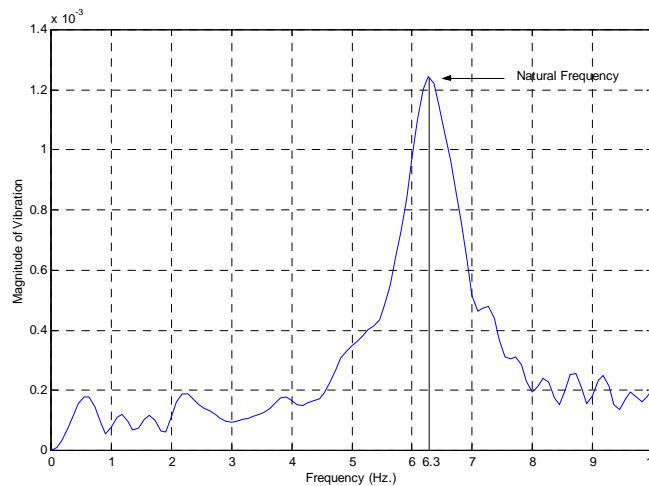


$$\bar{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \bar{x}(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (8-2)$$

โดยที่ $k = 0, -1, 1, -2, 2, -3, 3, \dots$



รูปที่ 8-7 ตัวอย่างการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 8-8 ตัวอย่าง Frequency Domain ของการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพานจากข้อมูลการตรวจวัด

8.4.3 ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างสะพาน (Damping Ratio)

ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างสะพาน (Damping Ratio) เป็นค่าในการลดพลังงานของการสั่นไหวของโครงสร้างให้กลับมามีอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง โดยสะพานที่มีอัตราส่วนความหน่วงสูง เมื่อรถแล่นออกจากสะพานแล้ว โครงสร้างสะพานจะสั่นแบบอิสระในช่วงเวลาสั้น ๆ ก็จะกลับมามีอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง ในทางกลับกันสะพานที่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงต่ำกว่า จะมีช่วงเวลาในการสั่นแบบอิสระจนกระทั่งหยุดนิ่งนานกว่า การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความหน่วงทำได้โดยนำข้อมูลการสั่นไหวในช่วงการสั่นแบบอิสระ (Free Vibration) มาคำนวณโดยอาศัยสมการที่ 8-3

$$\zeta = \frac{\ln(Y_1/Y_2)}{2\pi} \quad (8-3)$$

โดยที่ Y_1 = แอมพลิจูดของคลื่นรอบแรกที่พิจารณา

Y_2 = แอมพลิจูดของคลื่นรอบต่อมา

8.5 ตำแหน่งและจำนวนที่จะทำการทดสอบ

ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้างสะพาน จะพิจารณาจากการวิเคราะห์แบบจำลองของโครงสร้าง เพื่อเลือกตำแหน่งที่ติดตั้งในจุดที่เกิดการเสียรูปสูงสุด และครอบคลุมพฤติกรรมของโครงสร้างทั้งหมด ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองของโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น จะนำมาพิจารณาค่าตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

- 1) พิจารณาชิ้นส่วนและจุดต่อที่มีค่าความเค้น (Stress) เนื่องจากโมเมนต์ดัด (Bending Moment) มากที่สุด
- 2) พิจารณาระบบถ่ายแรงในโครงสร้าง โดยติดตั้งในชิ้นส่วนที่เริ่มรับแรงโดยตรง ไล่ไปตามชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบถ่ายแรง ลงสู่ฐานรองรับ
- 3) พิจารณาผลของขนาดของชิ้นส่วน โดยในชิ้นส่วนที่รับแรงดัดบางชิ้นส่วน อาจทำการติดตั้ง Strain Gage ที่ผิวบนสุด และผิวล่างสุด เพื่อดูผลของขนาดของชิ้นส่วน
- 4) พิจารณาตำแหน่งที่เกิดค่าการเคลื่อนตัวของจุดต่อ แอนตัว หรือเสียรูปมากที่สุด เช่น บริเวณฐานรองรับที่เป็น Roller หรือตำแหน่งกึ่งกลางของคาน เป็นต้น
- 5) พิจารณาตำแหน่งที่สามารถตรวจสอบสมมูลของโครงสร้างได้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

8.6 ตัวอย่างผลการตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างสะพานทางหลวง

ในการศึกษาพฤติกรรมการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน จะทำการทดสอบโดยการกำหนดน้ำหนักบรรทุก (Thai Truck) ที่ทราบค่ากระทำ ณ จุดต่างๆ ที่ความเร็วแตกต่างกันไป โดยรูปแบบและน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ แสดงไว้ในตารางที่ 8-1

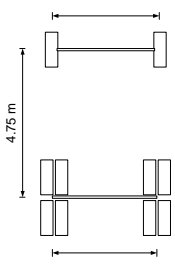
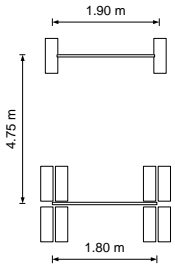
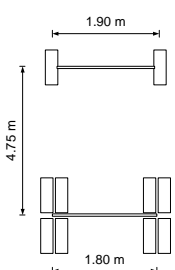
รูปแบบการเดินรถจะกำหนดให้รถบรรทุกทั้ง 2 คัน วิ่งขนานไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ จะกำหนดที่ 5, 25 และ 50 กม./ชม. ที่น้ำหนักบรรทุกเปล่าและน้ำหนักบรรทุกเต็มคัน โดยทำการทดสอบที่น้ำหนักและความเร็วเดียวกัน กรณีละ 2 รอบ รวมทั้งสิ้น 6x2 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 8-2 สำหรับค่าที่ได้จากการตรวจวัดแสดงไว้ดังตารางที่ 8-3



รูปที่ 8-9 การวัดน้ำหนักบรรทุกทุกในแต่ละเพล

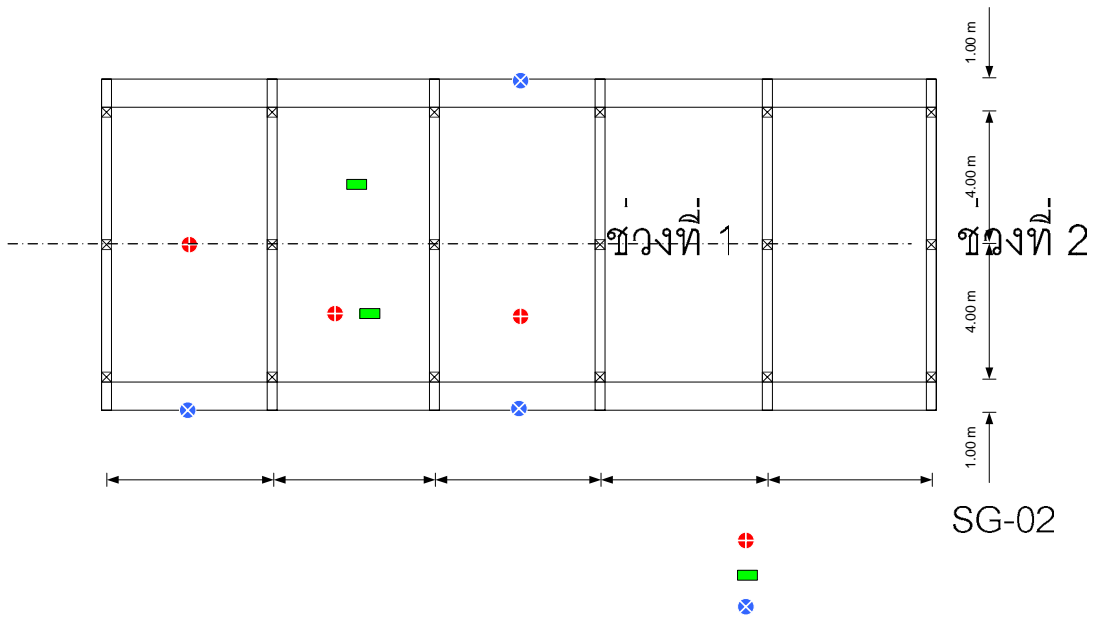


ตารางที่ 8-1 ขนาดและน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

รถบรรทุก	เลขทะเบียน	ขนาดเพลลา	น้ำหนักเพลลา หน้า (Ton)	น้ำหนักเพลลา หลัง (Ton)	น้ำหนักรวม (Ton)	
คันที่ 1 (รถเปล่า)	80-8668 ปราจีนบุรี		3.95	7.59	11.54	
คันที่ 1 (ใส่น้ำหนัก)	80-8668 ปราจีนบุรี		6.08	28.95	35.06	1.90 m
คันที่ 2 (ใส่น้ำหนัก)	80-2099 สระบุรี		7.88	32.87	40.75	1.80 m

ตารางที่ 8-2 รูปแบบการเดินรถที่ใช้ในการทดสอบ

กรณี	น้ำหนักบรรทุก	ความเร็วรถ (กม./ชม.)
1	รถเปล่า	5
2	รถเปล่า	25
3	รถเปล่า	50
4	บรรทุกเต็มคัน	5
5	บรรทุกเต็มคัน	25
6	บรรทุกเต็มคัน	50



รูปที่ 8-10 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการแอ่นตัว



รูปที่ 8-11 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการแอ่นตัว



รูปที่ 8-12 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการยึดหนืดของโครงสร้าง



รูปที่ 8-13 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความถี่ของโครงสร้าง

ตารางที่ 8-3 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกที่ทราบค่าของโครงสร้างสะพาน

อุปกรณ์ตรวจวัด	ผลการตรวจวัด					
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6
DT-01	-0.69 mm	-0.63 mm	-0.64 mm	-	-	-
DT-02	-0.73 mm	-0.68 mm	-0.66 mm	-3.05 mm	-2.84 mm	-2.91 mm
DT-03	-0.70 mm	-0.66 mm	-0.73 mm	-3.14 mm	-2.68 mm	-3.02 mm
AP-01	24.1 Hz	24.6 Hz	23.5 Hz	25.3 Hz	26.1 Hz	26.6 Hz
AP-02						
AP-03						
SG-01	212.3 $\mu\epsilon$	181.0 $\mu\epsilon$	179.7 $\mu\epsilon$	904.2 $\mu\epsilon$	811.6 $\mu\epsilon$	820.7 $\mu\epsilon$
SG-02	200.8 $\mu\epsilon$	177.5 $\mu\epsilon$	186.8 $\mu\epsilon$	922.0 $\mu\epsilon$	710 $\mu\epsilon$	862.5 $\mu\epsilon$

การวิเคราะห์โครงสร้างสะพาน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

9.1 บทนำ

ในงานด้านวิศวกรรมโยธา การวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความซับซ้อนหรือมีขนาดใหญ่ จะต้องจำลองโครงสร้างในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีรูปร่างคุณลักษณะต่าง ๆ ใกล้เคียงกับโครงสร้างจริงมากที่สุด วิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่าการตอบสนองของโครงสร้าง (Bridge Response) ซึ่งได้แก่ ค่าการแอ่นตัว (Deflection) ค่าความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ และค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างเบื้องต้น และการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองที่ถูกรับแต่งแล้ว

การวิเคราะห์โครงสร้างในขั้นเริ่มต้นจะใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากแบบแปลนก่อสร้าง และข้อมูลทางกายภาพของสะพานเท่าที่มีอยู่ เพื่อหาค่าการตอบสนองเบื้องต้นที่เกิดขึ้นภายใต้น้ำหนักบรรทุก แต่เนื่องจากสภาพของสะพานหลังจากมีการใช้งาน อาจมีการเสื่อมโทรมและชำรุดเสียหาย จึงทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมที่แตกต่างไปจากโครงสร้างของแบบจำลองเบื้องต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการปรับแต่งแบบจำลองให้มีพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกสอดคล้องพฤติกรรมจริงมากที่สุด โดยจะใช้ผลจากการทำ Load Test ประกอบกับผลจาก Visual Inspection และ Material Testing มาปรับแต่งแบบจำลอง

โดยปกติแล้ว การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีวัตถุประสงค์อยู่ 2 ประการ คือ

- เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างโดยรวม (Global Behavior) และเฉพาะที่ (Local Behavior) เพื่อหาจุดวิกฤตในโครงสร้างแบบจำลองสะพานเบื้องต้น โดยข้อมูลที่ได้จะใช้ประกอบการพิจารณาตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าการตอบสนองของสะพาน ในระหว่างการวัดความสั่นสะเทือน
- ใช้แบบจำลองที่ทำการปรับแก้แล้ว มาทำการวิเคราะห์หาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน เพื่อประเมินสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวม



9.2 โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้าง

โดยปกติในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะสร้างแบบจำลองพฤติกรรมโครงสร้างสะพานในแบบ 3 มิติ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับว่ามีพฤติกรรมใกล้เคียงกับพฤติกรรมของสะพานจริงมากที่สุด โดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและได้รับการยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือ คือ โปรแกรม SAP2000 หรือ STAAD.Pro 2004

9.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้เบื้องต้นในสมการพื้นฐานของกลศาสตร์โครงสร้าง หลักการวิเคราะห์ปัญหาชนิดต่างๆ ขั้นตอนในการวิเคราะห์ ตลอดจนการประมวลผลและนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ โดยความรู้เบื้องต้นดังกล่าวสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

9.3.1 สมการพื้นฐานของกลศาสตร์โครงสร้าง

สมการพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ของโครงสร้าง สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

9.3.1.1 สมการสภาวะสมดุล (Equilibrium Equations)

กล่าวคือ โครงสร้างโดยรวมและชิ้นส่วน (Element) แต่ละชิ้นที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างโดยรวม จะต้องอยู่ภายใต้สภาวะสมดุลของแรงที่กระทำจากภายนอกและภายใน โดยกำหนดให้แรงภายนอกจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงภายในของชิ้นส่วน ณ จุดต่อ (Joint) ทั้งหมดของระบบโครงสร้างนั้น

สมการสภาวะสมดุลเป็นกฎพื้นฐานทางฟิสิกส์ และเป็นสมการพื้นฐานแรกสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ดังนั้นจึงมีความสำคัญมากที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งถูกใช้ในการจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างจริง จะต้องสอดคล้องกับสมการพื้นฐานของภาวะสมดุลต่างๆ

สำหรับที่จุดต่อ ภายในโครงสร้าง 3 มิติ สมการของการสมดุล ทั้ง 6 สมการจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

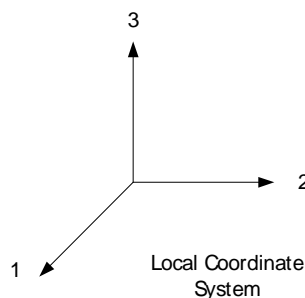
$$\sum F_1 = 0 \quad \sum F_2 = 0 \quad \sum F_3 = 0 \quad (9.1ก)$$

$$\sum M_1 = 0 \quad \sum M_2 = 0 \quad \sum M_3 = 0 \quad (9.1ข)$$

สำหรับโครงสร้าง 2 มิตินั้น มีเพียง 3 สมการเท่านั้นที่จำเป็นต้องสอดคล้องกัน คือ

$$\sum F_1 = 0 \quad \sum F_2 = 0 \quad \sum M_3 = 0 \quad (9.1ค)$$

โดยที่ F คือ แรง และ M คือ โมเมนต์



รูปที่ 6-1 ระบบ Coordinate System

9.3.1.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด (Stress-Strain Relationship)

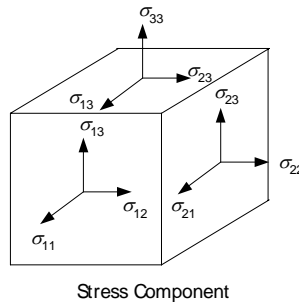
ในทางปฏิบัติสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะถูกสมมติให้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Stress-Strain Relationship) ในช่วงความยืดหยุ่น (Elastic) ของวัสดุ โดยความสัมพันธ์เชิงเส้นนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กฎของฮุค (Hook's Law)

จากกฎของฮุค (Hook's Law) และการยืดหดตัวของวัสดุภายใต้การเปลี่ยนอุณหภูมิ ความสัมพันธ์เชิงเส้นของความเค้นและความเครียด (Linear Stress-Strain Relationship) สามารถถูกเขียนให้อยู่ในรูปของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E) ค่าอัตราส่วนพัวซอง (Poisson's ratio, ν) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของการยืดหดตัวของวัสดุภายใต้การเปลี่ยนอุณหภูมิ (Coefficient of Thermal Expansion and Contraction, α)

รูปที่ 9-2 แสดงระบบบอกความเค้นในชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุใน 3 มิติ (เครื่องหมายของความเค้นในรูปนี้จะเป็นบวก) ค่าความเค้น คือ หน่วยของแรงต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ ส่วนความเครียด คือ หน่วยการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และสามารถเขียนความเค้นและความเครียดบนชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ (Vector) ได้ดังสมการที่ 9.2 และสมการที่ 9.3 ตามลำดับ

$$f^T = [\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3 \quad \tau_{12} \quad \tau_{13} \quad \tau_{23}] \tag{9.2}$$

$$d^T = [\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \varepsilon_3 \quad \gamma_{12} \quad \gamma_{13} \quad \gamma_{23}] \tag{9.3}$$



รูปที่ 9-2 ความเค้นในชิ้นส่วนเล็กๆ ของวัสดุใน 3 มิติ

อนึ่งวัสดุแบบ Isotropic จะมีคุณสมบัติทางกลศาสตร์เหมือนกันโดยไม่ขึ้นอยู่กับการทิศทาง เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากที่สุดเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อย ทำให้การคำนวณและแก้สมการเป็นไปได้สะดวกและง่าย โดยสามารถเขียนสมการ Stress-Strain Relationship ได้ดังนี้

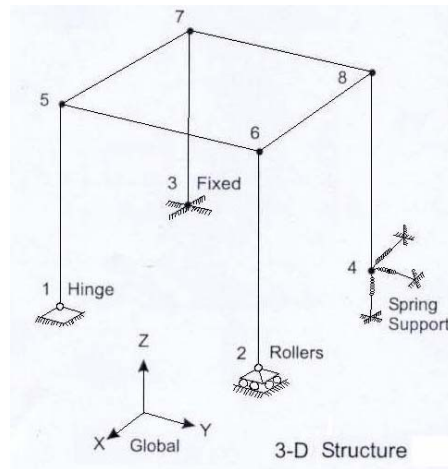


$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{21} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & \frac{-\nu}{E} & \frac{-\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu}{E} & \frac{1}{E} & \frac{-\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu}{E} & \frac{-\nu}{E} & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{21} \\ \tau_{31} \\ \tau_{23} \end{bmatrix} + \alpha \Delta T \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{9.4}$$

โดยที่

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ฉะนั้น สำหรับ Isotropic Materials แล้วมีเพียงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) และค่าอัตราส่วนพัวซอง (ν) เท่านั้นที่ต้องมีการกำหนด โปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้สมการนี้ในการคำนวณค่า Shear Modulus (ถ้าไม่ได้มีการกำหนดค่ามาให้)



รูปที่ 9-3 ตัวอย่างแบบจำลองเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions)

9.3.1.3 สมการความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสภาพขอบ

ข้อกำหนดของความต่อเนื่องกัน (Compatibility Requirements) จะต้องเป็นไปตามที่กำหนด ในการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างของชิ้นส่วนขึ้นใดชิ้นหนึ่ง หรือทุกๆ ชิ้นส่วนที่ติดต่อกับจุดต่อ จะต้องให้ค่าของการเคลื่อนที่ที่เท่ากัน หากกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (Node Displacement) มาด้วย การเปลี่ยนรูป (Deformation) ของชิ้นส่วนก็จะคำนวณได้จากการใช้สมการพื้นฐานของเรขาคณิต ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยยึดหลักการของการเคลื่อนที่นี้ การสอดคล้องกันของการเคลื่อนที่ของจุดต่อจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Conditions) จะต้องกำหนดให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามที่ได้สำรวจพบ เช่น ฐานรองรับแบบหมุนได้ แต่เคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge) ฐานรองรับแบบเคลื่อนที่ได้เฉพาะแนวอน (Roller)

ฐานรองที่ไม่อนุญาตให้มีการหมุนและเคลื่อนที่ (Fixed) และฐานรองแบบสปริง (Spring) เป็นต้น อย่างไรก็ตามสภาพของฐานรองอาจจะมีพฤติกรรมก้ำกึ่งระหว่างฐานรองที่ได้กล่าวมาทั้ง 3 ดังนั้นผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องมีวิจารณญาณในการเลือกแบบพฤติกรรมที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

9.3.2 หลักการวิเคราะห์แบบสถิต (Static Analysis) และ แบบพลศาสตร์ (Dynamic Analysis)

การวิเคราะห์แบบสถิต ของโครงสร้างหนึ่งๆ จะเกี่ยวข้องกับระบบของสมการเชิงเส้นซึ่งแสดงได้โดย

$$Ku = r \tag{9.5}$$

- โดย K = Stiffness Matrix
- r = เวกเตอร์ของน้ำหนักที่บรรทุก (Vector of Applied Loads)
- u = เวกเตอร์ของการขจัดสถิต (Static Displacement, u)

ค่า Stiffness Matrix สามารถหาได้จากการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียด และคุณสมบัติของพื้นที่หน้าตัด ในแต่ละกรณีของการบรรทุกน้ำหนัก (Load Case)

ในส่วนการวิเคราะห์แบบพลวัต จะทำการวิเคราะห์แบบ Eigen-Value และการวิเคราะห์ในพิสัยเวลา (Time History Analysis) โดยที่การวิเคราะห์ Eigen-Value จะใช้ในขบวนการปรับแก้แบบจำลองให้มีคุณสมบัติทางพลศาสตร์ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดสอบการรับน้ำหนักรถบรรทุกที่ทราบค่าบนสะพาน (Tested Truck) ส่วนการวิเคราะห์ในพิสัยเวลาจะใช้ในการหาค่าการตอบสนองสูงสุด เช่น ค่าการแอ่นตัวสูงสุด (Maximum Deflection) และค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ในขณะที่ยานวิ่งผ่านสะพาน

Eigenvector Analysis คือการคำนวณหา Mode Shapes ของการสั่นโดยอิสระแบบ Undamped และความถี่ (Frequency) ของระบบซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการหาคำตอบจาก Eigenvector ทั่วไป ดังนี้

$$[K - \Omega^2 M] \phi = 0 \tag{9.6}$$

- โดยที่ K คือ Stiffness Matrix
- M คือ Diagonal Mass Matrix
- Ω^2 คือ Diagonal Matrix of Eigenvalue
- ϕ คือ Matrix of Corresponding Eigenvector (Mode Shape)

ปกติจะเรียกแต่ละคู่ของ Eigenvalue-Eigenvector ว่า Natural Vibration Mode of Structure โดยที่ Mode ต่างๆ ถูกบ่งชี้โดยหมายเลข 1 ถึง n ตามลำดับ เพื่อให้จะให้โปรแกรมสามารถคำนวณหา Mode ได้

Eigenvalue คือ ค่า Circular Frequency (ω) ของ Mode นั้นยกกำลังสอง ส่วนค่า Cycle Frequency (f) และ Period (T) ของ Mode นั้น จะสัมพันธ์กับ ω ดังนี้

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{และ} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \tag{9.7}$$

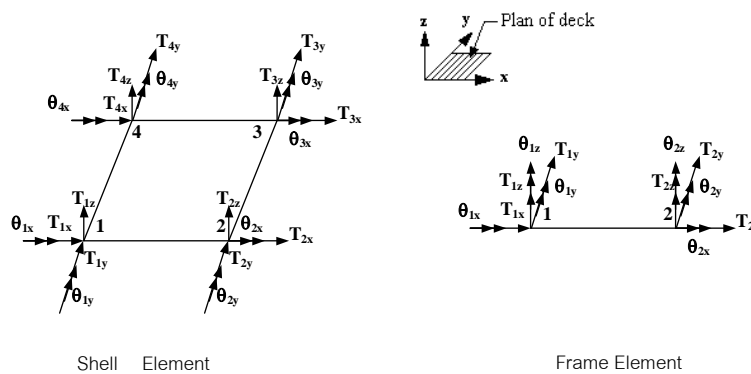


9.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

1) การเลือกใช้ชนิดของ Element

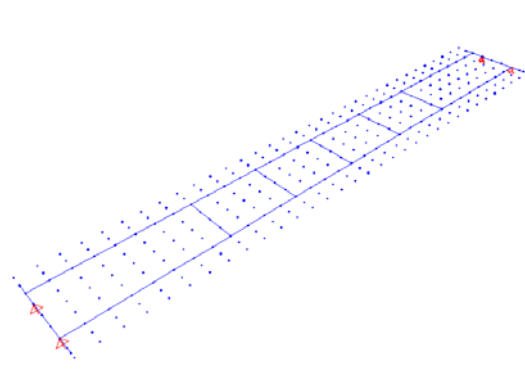
การเลือกใช้ชนิดของชิ้นส่วนนั้นจะต้องเลือกชนิดของชิ้นส่วนให้เหมาะสมกับลักษณะของโครงสร้างจริงที่จะทำการวิเคราะห์ โดยที่ชนิดของชิ้นส่วนจะต้องมีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด เช่น อาจจะใช้ Frame Element แทน Girder ของสะพาน หรืออาจใช้ Shell Element แทนพื้นสะพาน (Deck) หรืออาจใช้ Line element แทน Truss ตลอดจนจะต้องคำนึงถึงการกระทำของน้ำหนัก รวมทั้งความละเอียดที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ คืออาจเลือกใช้ element มิติเดียว, สองมิติ, สามมิติ หรือ ชนิดแกนไม่สมมาตร (Axi-symmetric Element) เป็นต้น



รูปที่ 9-4 ตัวอย่างชนิดของ Element

2) การแบ่งโครงสร้างสะพานเป็นชิ้นส่วนย่อย

การแบ่งโครงสร้างสะพานจริงให้ออกเป็นหลายๆ ชิ้นส่วนย่อย โดยแต่ละชิ้นส่วนจะต้องติดกับชิ้นส่วนข้างเคียงกับจุดขอบของชิ้นส่วนซึ่งเรียกว่าจุดต่อ และจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างเดิมให้มากที่สุด กล่าวคือแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมมากที่สุด เช่น บริเวณที่มีส่วนเว้า ส่วนโค้ง หรือมีรู หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างฉับพลันก็จำเป็นต้องแทนที่ด้วยชิ้นส่วนขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้การวิเคราะห์นั้นถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักก็อาจแทนด้วยชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ถ้าแบบจำลองมีจำนวนชิ้นส่วนมากเกินไปก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการคำนวณสูง และอาจไม่สามารถทำงานได้ถ้าคอมพิวเตอร์มีข้อจำกัดในเรื่องหน่วยความจำ และการนำเสนอข้อมูล



รูปที่ 9-5 แบบจำลอง Finite Element ของโครงสร้างหลักของสะพาน

3) การเลือกฟังก์ชันการขจัด

จะต้องเลือกใช้ฟังก์ชันการขจัดภายในชิ้นส่วนให้สอดคล้องกับจำนวนจุดต่อของชิ้นส่วนหรือสอดคล้องกับระดับความเสรีของชิ้นส่วน ฟังก์ชันการขจัดที่นิยมใช้คือ โพลีโนเมียลฟังก์ชัน ซึ่งอาจจะเป็นโพลีโนเมียลกำลังหนึ่ง, กำลังสอง, กำลังสาม ส่วนฟังก์ชันที่เป็นอนุกรมทางเรขาคณิตก็สามารถเลือกใช้ได้แต่ไม่เป็นที่นิยม ทั้งนี้เพราะโพลีโนเมียลฟังก์ชันให้ความสะดวกมากกว่า ในกรณีของปัญหา 2 มิติ ฟังก์ชันการขจัดที่จุดต่อจะเขียนอยู่ในเทอมของพิกัดของระนาบ เช่นระนาบ x-y เป็นต้น ฟังก์ชันการขจัดที่จะเลือกใช้จะต้องทำให้ผลเฉลยมีความต่อเนื่องทั้งภายในชิ้นส่วน และแบบจำลองของระบบรวม

4) การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การขจัด และความเค้น/ความเครียด

การหาสมการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละชิ้นส่วนจำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการขจัด และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด ในกรณีของปัญหามิติเดียว การยืดหดตัว, u ของชิ้นส่วนในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เช่น ทิศทาง x จะมีความสัมพันธ์กับความเครียด ϵ_x ในกรณีที่ ϵ_x มีค่าน้อย, $\epsilon_x = du/dx$ และถ้าวัสดุอยู่ในช่วงยืดหยุ่น, จากกฎของฮุก ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด คือ

$$\sigma_x = E \epsilon_x \tag{9.8}$$

ซึ่ง σ_x คือ ค่าความเค้นในทิศทาง x และ E คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ผลเฉลยของการขจัด, ความเค้น, ความเครียด โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกต้องแม่นยำเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณ และความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการขจัด และความเค้นกับความเครียดจะเป็นลักษณะเป็นสมการเชิงเส้น หรือไม่เป็นสมการเชิงเส้น

5) การหา Stiffness matrix และสมการของชิ้นส่วน

วิธีสมมูลโดยตรงนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เราสามารถหา Stiffness Matrix และสมการสมมูลของแรงในเทอมการกระจัดที่จุดต่อของชิ้นส่วนได้โดยใช้เงื่อนไขการสมมูลของแรงในชิ้นส่วน ส่วนมากจะใช้หา Stiffness Matrix ของชิ้นส่วนมิติเดียว เช่น สปริง, ท่อนโลหะ, เพลลา และคาน เป็นต้น

โดยอาศัยวิธีสมมูล เราจะได้รับสมการสมมูลของแรงในเทอมของ Stiffness Matrix และการกระจัดที่จุดต่อของชิ้นส่วน สมการดังกล่าวสามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \cdot \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdot & \cdot & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdot & \cdot & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & \cdot & \cdot & k_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdot & \cdot & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \cdot \\ d_n \end{Bmatrix} \tag{9.9}$$

หรือ $\{f\} = [k]\{d\}$

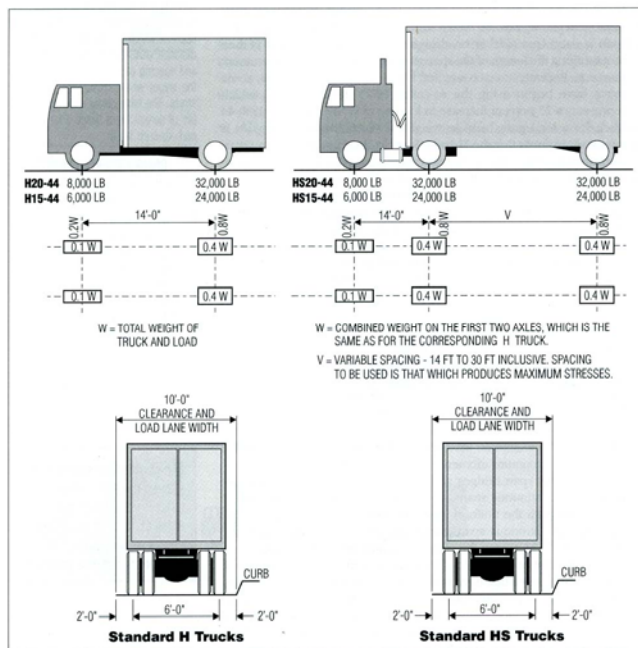


- ซึ่ง {f} คือ Matrix ของแรงกระทำที่จุดต่อ
- {k} คือ Stiffness matrix ของ Element
- {d} คือ การกระจัดที่จุดต่อที่ยังไม่ทราบค่า และ
- n คือ จำนวนของระดับความเสรีของ element

6) น้ำหนักบรรทุก (Loads)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads) คือ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานอยู่ตลอดเวลาการใช้งาน สำหรับโครงสร้างส่วนบนนั้น น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่จะรวมถึงน้ำหนักของพื้นสะพาน (Deck) ทางเท้า (Side Walks) ราวสะพาน (Railings) แผงบัง (Parapets) องค์อาคารหลักและองค์อาคารรอง (Primary and Secondary Members) Stiffeners ป้ายสัญลักษณ์และอุปกรณ์สาธารณูปการอื่น ๆ ทั้งหมด (Signs and All The Utilities) ในการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพานน้ำหนักบรรทุกคงที่จะถูกคำนวณโดยใช้การพิจารณาถึงเงื่อนไขข้อกำหนดจริงๆ ของสะพานที่ใช้เมื่อเวลาทำการวิเคราะห์สะพาน

น้ำหนักบรรทุกจากรถบรรทุก (Truck Loads) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการออกแบบสะพานโดยทั่วไปนั้นจะใช้มาตรฐานของ AASHTO ซึ่งได้พัฒนาข้อกำหนดของชุดน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน (Set of Standard Loading Conditions) สามารถนำไปใช้กับโครงสร้างสะพานทั่ว ๆ ไปดังแสดงในรูปที่ 9-6



รูปที่ 9-6 น้ำหนักบรรทุกมาตรฐานชนิด H และ HS

7) การหาสมการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบ

สมการรวมของระบบโครงสร้างหาได้จาก การรวมสมการของแต่ละชิ้นส่วนในชั้นที่ 5 เข้าด้วยกัน โดยวิธี Superposition method หรือ Direct stiffness method โดยอาศัยหลักการสมดุลของแรงที่จุดต่อของชิ้นส่วนและความต่อเนื่องของโครงสร้าง สมการรวมของระบบโครงสร้างที่ได้รับ สามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้คือ

$$\{F\} = [K]\{d\} \tag{9.10}$$

- ซึ่ง
- {F} คือ เมตริกซ์รวมของแรงที่จุดต่อ
 - [K] คือ Stiffness matrix รวมของระบบ และ
 - {d} คือ เมตริกซ์รวมของการกระจัดของการกระจัดที่อาจจะทราบค่าบางค่า และบางตัวอาจไม่ทราบค่า

เนื่องจาก [K] เป็น Singular matrix ซึ่งมี Determinant เท่ากับ 0 จึงไม่สามารถหาค่า {d} โดยตรงได้ จึงต้องมีเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) หรือ เงื่อนไขบังคับ (Constraints) ที่เหมาะสมกับลักษณะของจุดรองรับจริง (Supports) และไม่เกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะ Rigid Body Motion ซึ่งทำให้ [K] ไม่เป็น Singular Matrix และสามารถหาค่าการกระจัดที่แต่ละจุดต่อที่ต้องการได้

8) การหาการขจัดของระบบ

หลังจากกำหนดเงื่อนไขขอบ หรือเงื่อนไขบังคับแล้วจะสามารถหาการขจัด $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ ได้โดยการแก้สมการพีชคณิตพร้อมๆ กันคือ

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdot & \cdot & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \cdot & \cdot & K_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ K_{n1} & K_{n2} & \cdot & \cdot & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ d_n \end{Bmatrix} \tag{9.11}$$

การหาการกระจัด {d} อาจใช้ Gauss's Elimination Method หรือ Iteration Method หรืออาจหาจากการคูณด้วย $[K]^{-1}$ ตลอดโดย [K] จะต้องไม่เป็น Singular Matrix

9) การหาค่าความเครียดและความเค้น

ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกล นอกจากต้องการทราบการกระจัดแล้วยังต้องการทราบค่าของความเครียด, ความเค้น หรือค่าของโมเมนต์ และแรงเฉือน ค่าต่างๆ เหล่านี้สามารถคำนวณหาได้โดยใช้ความรู้พื้นฐานทางกลศาสตร์ของแข็ง อาทิเช่น ปัญหามิติเดียว ถ้าทราบค่าการกระจัด u ก็สามารถหาความเครียดจาก $\epsilon_n = du/dx$ และหาค่าความเค้นจาก $\sigma_x = E\epsilon_x$

10) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์

เนื่องจากการจำลองโครงสร้างสะพานด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ จะยึดเอาชนิดของโครงสร้างสะพาน มิติของชิ้นส่วนของสะพาน ลักษณะของฐานรากรองรับ ตลอดจนจรรยาละเอียดของรอยเชื่อม จากข้อมูลตามที่ระบุเบื้องต้นไว้ในแบบก่อสร้าง คุณสมบัติสมมุติของวัสดุ และจากข้อมูลการสำรวจด้วยตาเป็นหลัก ซึ่งแบบจำลองที่ได้นั้นจะมีความถูกต้องในระดับเบื้องต้นเท่านั้น

เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องตามสภาพความเป็นจริงของสะพาน จะต้องนำเอาข้อมูลผลการตรวจสอบสะพานมาเปรียบและปรับแต่งแบบจำลอง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ค่าคุณสมบัติทางกลจริงของวัสดุ และการเปรียบเทียบค่าการเสียรูปภายใต้น้ำหนักบรรทุกระหว่างแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ และค่าการเสียรูปของโครงสร้างจริงซึ่งได้จาก



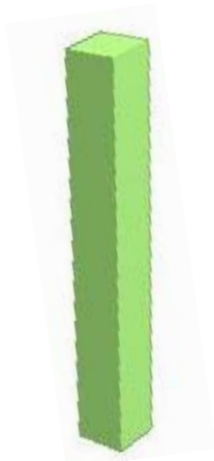
การทดสอบการรับน้ำหนักของรถบรรทุกที่ทราบค่า เพื่อให้โครงสร้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกสอดคล้องกับพฤติกรรมการเสียรูปของสะพานที่เกิดขึ้นจริง

9.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

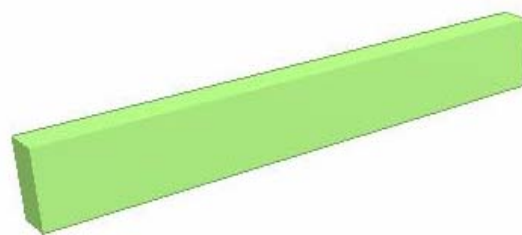
ขั้นตอนการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างเบื้องต้นของสะพานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

1. การเลือกใช้ชนิดของ Element ให้เหมาะสมกับสะพานที่ทำการวิเคราะห์

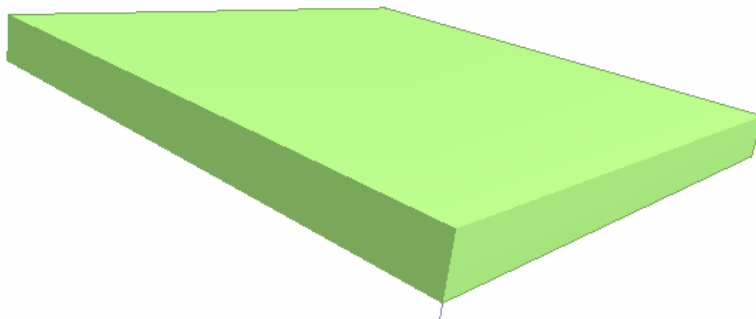
การเลือกใช้ชนิดของ Element นั้นจะต้องเลือกชนิดของ Element ให้เหมาะสมกับลักษณะของโครงสร้างจริงที่จะทำการวิเคราะห์ โดยที่ชนิดของ Element จะต้องมีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด เช่น อาจจะใช้ Frame Element แทน Girder ของสะพาน และอาจใช้ Plate Element หรือ Shell Element แทนพื้นสะพาน (Slab)



รูปที่ 9-7 ตัวอย่างแบบจำลอง
Column Element



รูปที่ 9-8 ตัวอย่างแบบจำลอง Beam Element



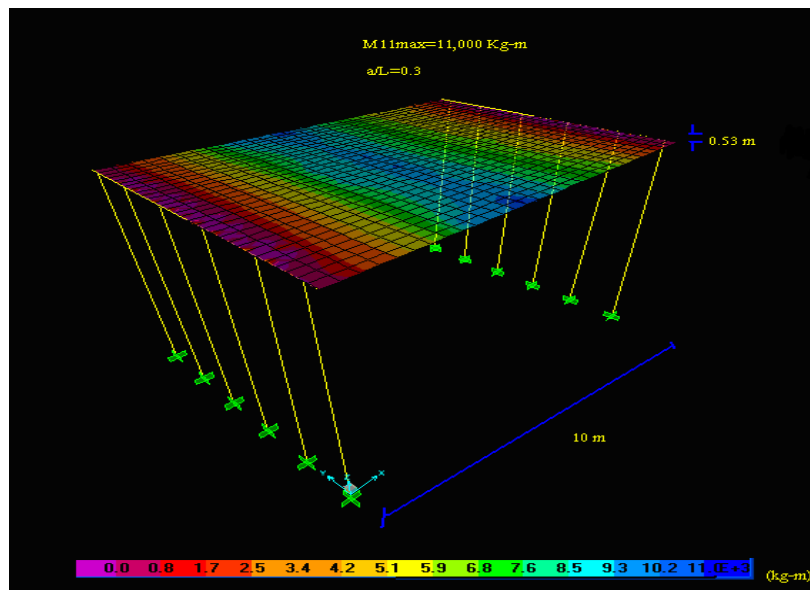
รูปที่ 9-9 ตัวอย่างแบบจำลอง Shell Element เพื่อจำลองพื้นสะพาน

2. แบ่งโครงสร้างสะพานเป็น Element ย่อย ๆ (Discretization)

การแบ่งโครงสร้างสะพานจริงให้ออกเป็นหลาย ๆ Element ย่อย โดยแต่ละ Element จะต้องติดกับ Node ของ Element ข้างเคียง และจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างเดิมให้มากที่สุด กล่าวคือแบบจำลอง Finite Element จะต้องมียลักษณะเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมมากที่สุด เช่น บริเวณที่มีส่วนเว้า ส่วนโค้ง หรือมีรู หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างฉับพลันก็จำเป็นต้องแทนที่ด้วย Element ขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้การวิเคราะห์ที่นั่นถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักก็อาจแทนด้วย Element ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

3. กำหนดสภาพฐานรองรับน้ำหนัก (Support Condition)

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบ จะต้องกำหนดสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามที่ได้สำรวจพบ เช่น ฐานรองรับแบบ Hinge จะหมุนได้แต่เคลื่อนที่ไม่ได้ ฐานรองรับแบบ Roller จะเคลื่อนที่ได้เฉพาะแนวนอน ฐานรองรับแบบ Fix ที่ไม่อนุญาตให้มีการหมุนและเคลื่อนที่เป็นต้น อย่างไรก็ตามสภาพของฐานรองรับอาจจะมีพฤติกรรมกึ่ง ๆ ระหว่างฐานรองรับที่ได้กล่าวมาทั้ง 3 ลักษณะ ดังนั้นผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องมีวิจารณญาณในการเลือกแบบที่เหมาะสม และใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 9-10 ตัวอย่างแสดงลักษณะฐานรองรับและโครงสร้างของแบบจำลองของสะพาน

4. กำหนดขนาดน้ำหนักบรรทุก (Loads) ซึ่งประกอบด้วย

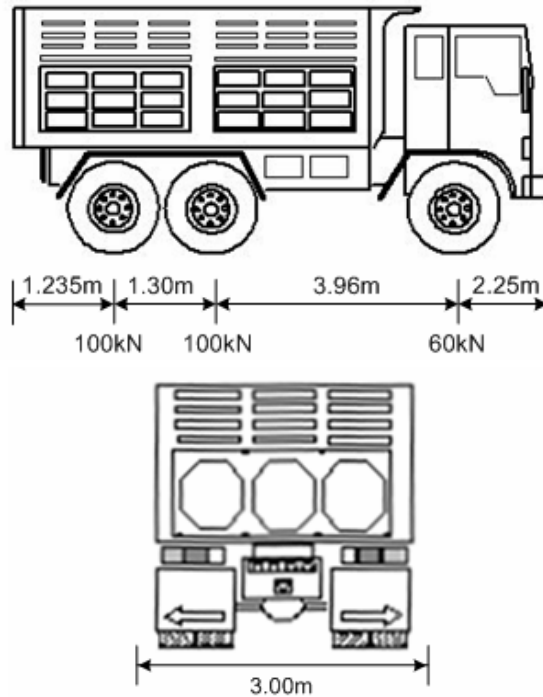
- 1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads – Bridge Self Weight)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads) คือ น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อสะพานอยู่ตลอดเวลาการใช้งาน เช่น น้ำหนักของโครงสร้างสะพาน ตลอดจนอุปกรณ์สาธารณูปการอื่น ๆ ทั้งหมด (All the Utilities)

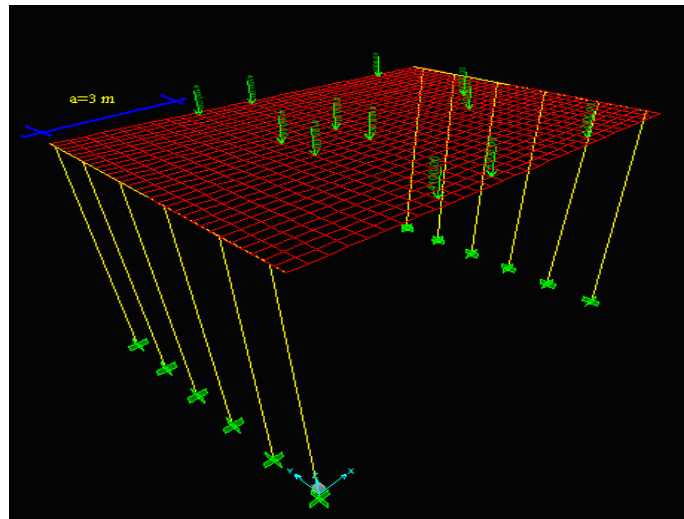
- 2) น้ำหนักบรรทุกจรจากยานพาหนะ (Live Loads – Vehicle Loading)



สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกจรถที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาค่าการตอบสนองต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้น จะใช้รถบรรทุกไทยหนัก 26 ตัน ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง (ดังแสดงในรูปที่ 9.11) ว่างบนแบบจำลองตลอดความยาวของโครงสร้างสะพาน คือ



รูปที่ 9-11 รูปแบบน้ำหนักบรรทุกจรถของรถบรรทุกสิบล้อไทยหนัก 26 ตันตามมาตรฐานของกรมทางหลวง



รูปที่ 9-12 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างสะพานรับน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO

5. ทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธี Static และ Dynamic เพื่อหาค่าตอบสนองของโครงสร้าง

ในการจำลองโครงสร้างสะพานเบื้องต้นนี้จะใช้คุณสมบัติของหน้าตัดในแต่ละชั้นส่วนของสะพานที่มีอยู่ตามแบบก่อสร้างและข้อมูลทางกายภาพของสะพานเท่าที่มีอยู่ แล้วใช้วิธี Static และ Dynamic คำนวณหาค่าการตอบสนองของโครงสร้าง ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดชิ้นส่วนและตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องวัดการแอ่นตัว (Displacement Transducer) ความเครียด (Strain Gage) และความเร่ง (Accelerometer) ต่อไป

ตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้

1. คอนกรีต (Concrete)

- Isotopic material		
- Weight per Unit Volume	=	2400 kg/m ³
- Modulus of Elasticity	=	2.80 E+09 kg/m ²
- Poisson's Ratio	=	0.2
- Shear Modulus	=	9.83 E+08 kg/m ²

2. เหล็ก (Steel)

- Isotopic material		
- Weight per Unit Volume	=	7850 kg/m ³
- Modulus of Elasticity	=	2.038 E+10 kg/m ²
- Poisson's Ratio	=	0.3
- Shear Modulus	=	8.08 E+09 kg/m ²

9.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เพื่อให้แบบจำลองโครงสร้างมีพฤติกรรมสอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างจริง จึงมีการเปรียบเทียบค่าของแบบจำลองโครงสร้างกับค่าได้จากการทดสอบ Load Test ดังต่อไปนี้

- 1) การเปรียบเทียบผลของโครงสร้างสะพานหลัก (Main Span)
- 2) การเปรียบเทียบผลของโครงสร้างสะพานหลัก (Approach Span)
- 3) โหลดการสั่นไหวของโครงสร้าง

9.7 การปรับแต่งแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

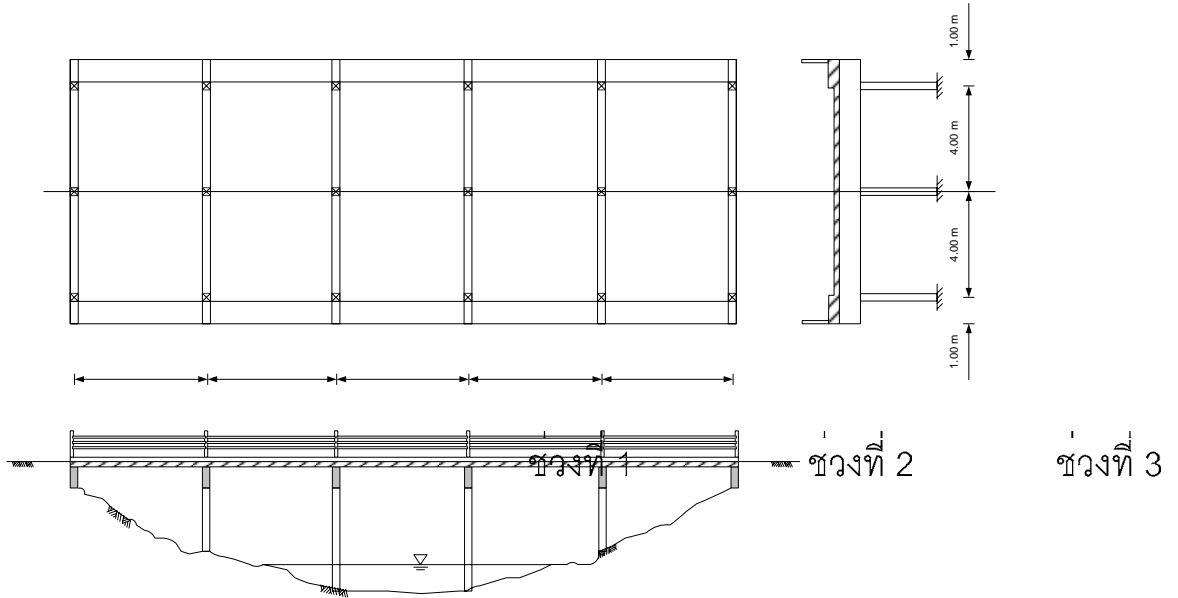
เพื่อให้แบบจำลองมีพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกสอดคล้องกับพฤติกรรมจริงของสะพาน จะต้องนำเอาข้อมูลผลการตรวจสอบสะพานมาปรับแต่งแบบจำลอง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ปริมาณการสูญเสียหน้าตัดเนื่องมาจากความชำรุดเสียหาย ค่าคุณสมบัติทางกลจริงของวัสดุ และการเปรียบเทียบค่าพฤติกรรมต่าง ๆ ภายใต้น้ำหนักบรรทุกจร ระหว่างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าที่วัดได้จากโครงสร้างจริงซึ่งได้จากการทดสอบการรับน้ำหนัก (Load Test) เพื่อให้โครงสร้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีการเสียรูปของสะพานใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริงให้มากที่สุด

9.8 ตัวอย่างการวิเคราะห์สะพานด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

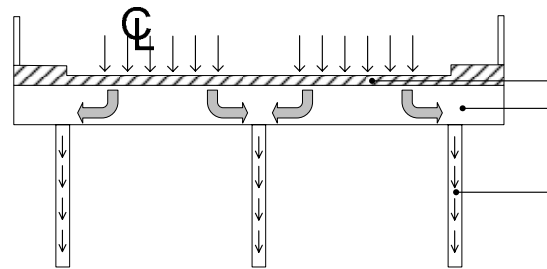
ลักษณะของโครงสร้างสะพานทางหลวงที่จะวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 9-13 เป็นโครงสร้างประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก ประกอบด้วยส่วนพื้นสะพานวางต่อเนื่องบนคานขวาง โดยพื้นสะพานจะมีลักษณะเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตเสริม



เหล็กหล่อในที่อยู่ต่อเนื่องกันตั้งแต่ช่วงที่ 1-4 และในส่วนที่ 5 จะมีลักษณะเป็นแผ่นพื้นไม่ต่อเนื่องวางบนคาน 2 ด้าน ซึ่งแผ่นพื้นทั้งหมดจะรับน้ำหนักการจราจรแล้วถ่ายลงสู่คานขวาง จากนั้นจึงถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาและฐานรากต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 9-14



รูปที่ 9-13 แบบแปลนทั่วไปของสะพานทางหลวง

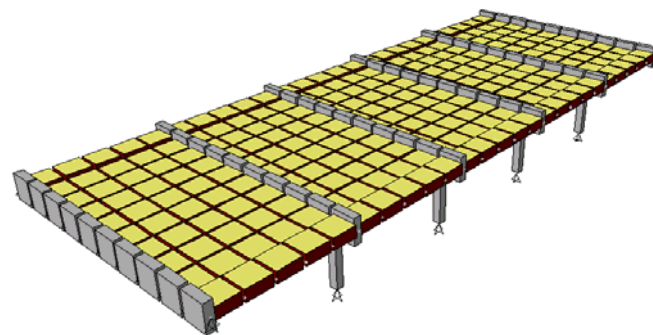


รูปที่ 9-14 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน

5.00 m

5.00 m

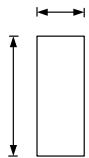
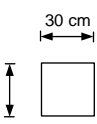
5.00 m



รูปที่ 9-15 ลักษณะการแบ่งชั้นส่วนโครงสร้างสะพาน

รูปที่ 9-15 แสดงลักษณะการแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยแบ่งเลือกใช้ประเภทของชิ้นส่วนเป็น Frame Element และ Shell Element ดังนี้

ตารางที่ 9-1 คุณสมบัติของชิ้นส่วนชนิด Frame Element

ชิ้นส่วน	ขนาดหน้าตัด (cm)	พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	Moment of Inertia (cm ⁴)	
			Major	Minor
คาน		2,100	857,500	157,500
เสา		900	67,500	67,500

- Frame Element

ใช้สำหรับจำลองโครงสร้างในส่วนคานและเสา โดยมีคุณสมบัติของหน้าตัด (Section properties) ดังแสดงในตารางที่ 9-1 แบบจำลองนี้สร้างขึ้นใช้วิเคราะห์หาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกโดยรวม (Overall Behavior) ของโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งหน้าตัดที่เกิด Bending Moment สูงสุด

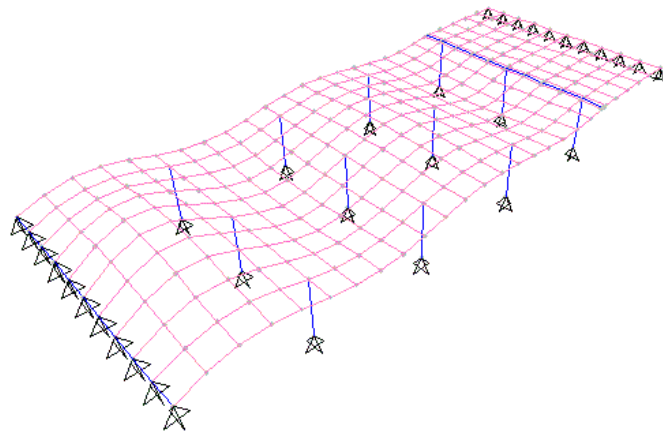
- Shell Element

เป็นแบบจำลองที่สร้างโดยใช้ Shell Element สำหรับโครงสร้างส่วนพื้นสะพาน ซึ่งทำขึ้นเพื่อรับน้ำหนักกระทำจากแบบจำลองรถบรรทุก และถ่ายแรงที่เกิดขึ้นลงสู่คาน (Frame Element) ในบริเวณจุดต่อ (Node) โดย Shell Element ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นพื้นสะพานจะมีความหนา 22 ซม. (ไม่รวมความหนาของผิวทางแอสฟัลต์ซึ่งไม่ใช่ส่วนโครงสร้างที่รับแรง) เท่ากันตลอด และจะหนาเท่ากับ 45 ซม. ในบริเวณที่เป็นทางเดินเท้าด้านข้าง

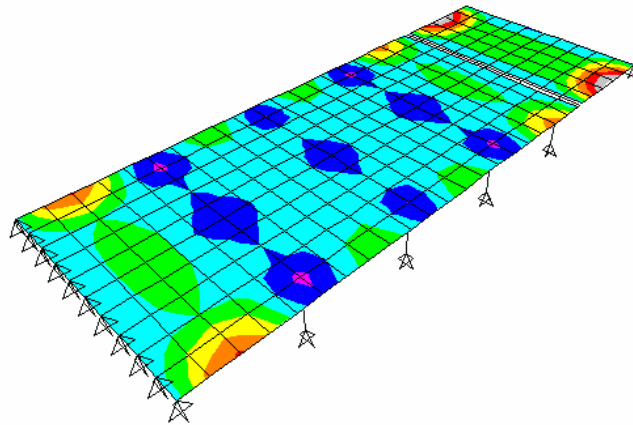
โดยข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง จะกำหนดให้เป็นวัสดุประเภทคอนกรีตทั้งหมด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- วัสดุประเภท Isotropic Material
- น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร = 2,400 kg/m³
- ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น = 2.40E+09 kg/m²
- อัตราส่วนปัวซอง = 0.2
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ = 9.9e-06 $\epsilon/^{\circ}C$
- Shear Modulus = 3.91E+09 kg/m²

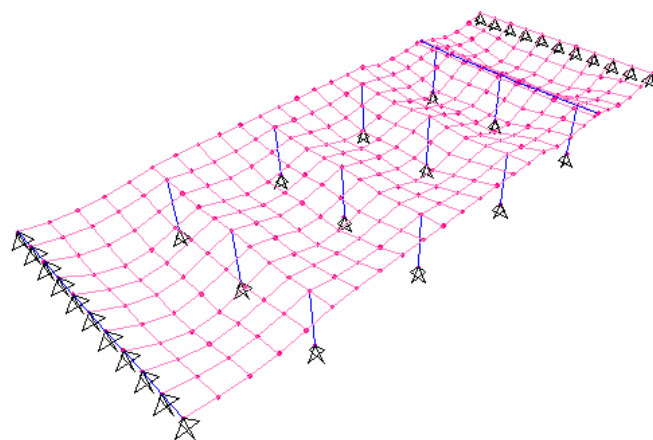
การตรวจสอบคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลองโครงสร้างเบื้องต้น สามารถแสดงได้ด้วยค่าความเค้น ความถี่และโหมดการสั่นไหวของแบบจำลองโครงสร้าง ดังต่อไปนี้



รูปที่ 9-16 ค่าความถี่ธรรมชาติรูปแบบการดัด (Bending Mode =23.3Hz) ของโครงสร้างสะพาน



รูปที่ 9-17 ค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพื้นสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่



รูปที่ 9-18 การเสียรูป ของโครงสร้างสะพานอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกจร Thai Truck 26 ton

การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง

10.1 หลักการของการประเมินความแข็งแรง

งานออกแบบสะพานเป็นงานที่ต้องการความเอาใจใส่ดูแลจากวิชาชีวะวิศวกรรมศาสตร์เป็นอย่างมาก โดยการออกแบบต่างๆ จะต้องอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ (Analytical Techniques) ใหม่ ๆ และข้อกำหนดความต้องการต่างๆ เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยของโครงสร้างเหล่านั้นตามแบบที่ได้รับการออกแบบมา ส่งผลให้กรมทางหลวงได้มีความรับผิดชอบและภารกิจใหม่ๆ ที่ท้าทายมากขึ้น อย่างไรก็ตาม กรมทางหลวงก็ยังคงมีความรับผิดชอบยิ่งกว่า ในการดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัยของโครงสร้างเหล่านี้ และยิ่งไปกว่านั้นก็คือ สะพานต่างๆ นั้น ต่างก็ได้ถูกใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลาหลายปี

มีสะพานต่างๆ ที่สร้างมาเป็นระยะเวลาอันยาวนานแล้ว อยู่ในที่ต่างๆ ทั่วประเทศ และมีความจำเป็นต้องได้รับการบำรุงรักษาที่ดีและเหมาะสม ถ้าจะมีการสร้างสะพานขึ้นมาทดแทน ก็จะมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ฉะนั้น การบำรุงรักษาที่เหมาะสมและการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพานเหล่านี้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

การประเมิน (Rating) ของสะพานต่างๆ ดังกล่าวนั้น จะเป็นการปฏิบัติงานผสมผสานกันระหว่างการตรวจสอบภาคสนาม (Field Inspection) และการศึกษาวิเคราะห์ (Analytical Study) โดยในประเทศสหรัฐอเมริกา นั้น จะใช้คู่มือจาก AASHTO ทั้งในเรื่องของการตรวจสอบสะพานและการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพาน โดยจะมีวิธีการประเมินสะพานโดยใช้ปัจจัยของน้ำหนักบรรทุกและแรงต้านทาน (Loading and Resistance Factors) วิธีการใหม่ๆ จะทำให้สามารถนำทฤษฎีความน่าจะเป็นและข้อมูลทางสถิติ รวมทั้งการพิจารณาเชิงวิศวกรรม เข้าไปใช้ประกอบการตัดสินใจอย่างสมเหตุสมผล คู่มือต่างๆ เหล่านี้จะให้แนวทางในการตรวจสอบสะพาน การจัดเก็บข้อมูลของสะพาน การประเมินสภาพความแข็งแรงทนทานของสะพาน และข้อกำหนดต่างๆ (Specification) สำหรับการตรวจสอบความสามารถรับน้ำหนัก (Capacities)

ในช่วงต่อไปจะเป็นการสาธิตการนำแนวทางต่างๆ มาใช้ในการประเมินสภาพสะพานหลายๆ แบบ โดยจะอ้างอิงจากการกำหนดต่างๆ จากคู่มือการตรวจสอบเพื่อการบำรุงรักษาสะพาน (Manual for Maintenance Inspection of Bridges) ของ AASHTO และใช้ข้อกำหนดนี้ ในการคำนวณหาค่าแรงต่างๆ ที่ยอมให้ เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพาน ซึ่งจะต้องพิจารณาอายุของสะพานด้วยเช่นกัน ในการประเมินสภาพสะพานใน



ระดับการใช้งานปลอดภัย (Inventory Level) มักจะใช้ค่าแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ที่ใช้ในการออกแบบ หรือค่าแรงที่ AASHTO แนะนำไว้ในขณะที่ทำการก่อสร้าง

การประเมินขณะที่ทำการก่อสร้างนี้จะมีอยู่ 2 ระดับ ที่ AASHTO ได้กำหนดไว้ในปัจจุบัน คือ

1. น้ำหนักบรรทุกทุกระดับบน (Upper Load Level Capacity Rating) หรือที่เรียกว่า Operating Rating ซึ่งจะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Permissible Load) ที่โครงสร้างสามารถรับได้
2. น้ำหนักบรรทุกทุกระดับล่าง (Lower Load Level Capacity Rating) หรือที่เรียกว่า Inventory Rating ซึ่งจะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (Safe Load) ที่โครงสร้างสามารถรับได้ตลอดอายุการใช้งาน

หรือกล่าวแบบง่ายๆ Inventory Rating คือ น้ำหนักที่ทำให้เกิดแรงในชิ้นส่วนวิกฤตของสะพาน (Critical Bridge Element) เท่ากับ 0.55 เท่าของค่าแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ที่ใช้ในการออกแบบที่ ส่วน Operating Rating นั้นคือค่าน้ำหนักสูงสุด (Maximum Load) ที่สะพานจะสามารถรับได้เป็นครั้งคราว ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ และแรงที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.75 เท่าของค่าดังกล่าว

ในการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพาน หรือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานนี้ วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ การใช้ Rating Factor โดยทั่วไปแล้ว Rating Factor ของคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีรายละเอียดดังนี้

1. Inventory Level

$$RF_{(inv)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(5/3)(M_{LL+I})} \quad (10.1)$$

2. Operating Level

$$RF_{(opr)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(M_{LL+I})} \quad (10.2)$$

โดยที่

RF = Rating Factor

M_u = Ultimate Moment Capacity

M_{DL} = Moment Created by Dead Load

M_{LL+I} = Moment Created by Rating Vehicle Load + Impact (เช่น รถบรรทุกแบบ HS20)

โดยปกติแล้วรถบรรทุกที่ใช้ประเมินความแข็งแรง (Rating Vehicle) จะเป็นรถบรรทุกแบบ HS20 ซึ่งเป็นไปตามที่ AASHTO กำหนดไว้ รถบรรทุกจะถูกกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งที่ได้ค่าโมเมนต์สูงสุดและมีค่าเพิ่มขึ้นโดยใช้ Impact Factor สำหรับสะพาน และสามารถคำนวณค่า M_{LL+I} ได้ มีข้อพึงสังเกตว่า คำว่า "HS" และ "H" เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ (Design Loading) และไม่ใช่ตัวแทนรถบรรทุกต่างๆ เสมอไป ค่า Design Loading ในแต่ละกรณีก็จะถูกเปลี่ยนให้เป็น Lane Loading ณ ความยาวช่วงต่างๆ ของสะพาน เช่นเดียวกับขั้นตอนในการออกแบบ

ในหนังสือคู่มือ “แนวทางและข้อกำหนดสำหรับการประเมินความแข็งแรงของสะพาน” ของ AASHTO ได้ใช้สมการต่อไปนี้ในการประเมินความแข็งแรง

$$\phi_L Rn = \mu_d D + \mu_L (RF)L(1+I) \quad (10.3)$$

หรือ

$$RF = \frac{\phi_L Rn - \mu_d D}{\mu_L L(1+I)} \quad (10.4)$$

โดยที่

- I = Impact Factor เพื่อเพิ่มขนาด น้ำหนักบรรทุกที่อยู่กับที่ โดยขึ้นอยู่กับความยาวของสะพาน (Dynamic Amplification)
- L = Nominal Live Load Effect
- D = Nominal Dead Load Effect
- RF = Rating Factor
- Rn = Nominal Strength หรือ Resistance
- μ_d = Dead Load Factor
- μ_L = Live Load Factor
- ϕ_L = Resistance Factor (Capacity Reduction)

แม้ว่าสมการนี้มีความคล้ายคลึงกับสมการสำหรับประเมินความแข็งแรงของสะพานคอนกรีตที่ให้มาก่อนหน้านี้ แต่ก็มีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ Impact Factor (I) เข้ามาในสมการ จะขึ้นอยู่กับสภาพของฝั่งการจราจรมากกว่าความยาวช่วงสะพาน ค่าของ Impact Factor ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 10-2

โดยทั่วไปแล้ว Dead Load Factor (μ_d) มีค่า เท่ากับ 1.2 เมื่อทราบค่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ และจะมีค่าเท่ากับ 1.4 ถ้าใช้ค่าความหนาของผิวการจราจรที่ปูทับหน้า (Overlay) ส่วนค่า Line Load Factor นั้น เป็นสมการของปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยของรถบรรทุกในแต่ละวัน (Average Daily Truck Traffic – ADTT) และจะมีค่าระหว่าง 1.3 (สำหรับ ADTT ที่มีค่าน้อย ADTT < 1000 โดยอยู่ในการควบคุมน้ำหนักได้) จนถึง ค่าเท่ากับ 1.8 สำหรับที่มีค่ามาก (ADTT > 1000 โดยที่มีการบรรทุกน้ำหนักมากและไม่มีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ)

ค่า Resistance Factor (ϕ_L) เป็นสมการของสภาพของโครงสร้างส่วนบน (Superstructure Redundancy) ประเภทของการตรวจสอบ (โดยคร่าวๆ หรือโดยละเอียด) การบำรุงรักษา (เป็นประจำหรือเป็นครั้งคราว) และประเภทของโครงสร้าง (เหล็ก คอนกรีตอัดแรง หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก)

ค่า Factor นี้ มีค่าตั้งแต่ 0.55 ถึง 0.95 โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 10-3 นอกจากนี้ยังมีตารางสำหรับการกำหนดค่าต่างๆ อีก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 10-4 10-5 และ 10-6



ตารางที่ 10-1 Live Load Moment Values on Longitudinal Stringers or Girders (Foot-Kips)

Span	Type of Loading				
	HS-20	H-15	3	3-S2	3-3
5	20.0	15.0	10.6	9.7	10.0
6	24.0	18.0	12.8	11.6	12.0
7	28.0	21.0	15.0	13.6	14.0
8	32.0	24.0	19.0	17.4	16.0
9	36.0	27.0	23.1	21.1	19.0
10	40.0	30.0	27.2	24.8	22.4
11	44.0	33.0	31.3	28.5	25.8
12	48.0	36.0	35.4	32.2	29.1
13	52.0	39.0	39.4	36.0	32.5
14	56.0	42.0	43.5	39.7	35.8
15	60.0	45.0	47.6	43.4	39.2
16	64.0	48.0	51.7	47.1	42.6
17	68.0	51.0	55.8	50.8	45.9
18	72.0	54.0	59.8	54.6	49.3
19	76.0	57.0	63.9	58.3	52.6
20	80.0	60.0	68.0	62.0	56.0
21	84.0	63.0	72.2	65.9	59.5
22	88.0	66.0	76.5	69.8	63.0
23	92.0	69.0	80.7	74.9	66.5
24	96.0	72.0	85.0	80.0	70.0
25	103.7	75.0	89.3	85.1	73.5
26	111.1	78.0	93.5	90.2	77.0
27	118.5	81.3	97.7	95.4	80.5
28	126.0	85.1	102.0	100.5	84.0
29	133.5	88.8	106.2	105.6	87.5
30	141.1	92.5	111.6	110.7	91.0
32	156.3	99.8	123.6	121.0	101.0
34	171.8	107.4	135.6	131.2	111.5
36	189.5	114.8	148.0	141.5	122.1
38	207.2	122.3	160.5	151.7	132.6
40	224.9	129.7	173.0	162.0	143.2
42	242.7	137.2	185.5	172.2	153.8
44	260.5	144.7	198.0	182.5	164.3
46	278.3	152.1	210.5	192.7	175.0
48	296.1	159.6	223.0	203.0	186.0
50	314.0	167.1	235.5	219.6	197.0
52	331.8	174.6	248.0	236.9	214.0
54	349.7	182.0	260.5	254.2	231.0
56	276.6	189.5*	273.0	271.4	248.0

ตารางที่ 10-2 Impact Allowances Based on Condition of Wearing Surface

Condition of Wearing Surface	Impact Effect
1- สภาพดี ไม่ต้องการการซ่อมแซมใดๆ	0.1
2- สภาพพอใช้ มีความเสียหายเล็กน้อย ยังใช้งานได้ตามปกติ	0.1
3- สภาพทรุดโทรม มีความเสียหายค่อนข้างมาก ต้องการการซ่อมแซม	0.2
4- สภาพวิกฤต ไม่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้	0.3

ตารางที่ 10-3 Resistance Factors (Capacity Reduction Factors)

Superstructure condition	Redundancy		Inspection		Maintenance		Steel P/S concrete	Reinforced Concrete
	Yes	No	Careful	Estimated	Vigorous	Intermittent		
Good or Fair	X		X		X		0.95	0.95
	X		X			X	0.90	0.85
	X			X	X		0.95	0.95
	X			X		X	0.90	0.85
		X	X		X		0.85	0.80
		X	X			X	0.75	0.70
		X		X	X		0.85	0.80
		X		X		X	0.75	0.70
		X		X		X	0.95	0.90
		X		X		X	0.85	0.80
Deteriorated	X			X	X		0.90	0.85
	X			X		X	0.80	0.75
		X	X		X		0.80	0.80
		X	X			X	0.70	0.70
		X		X	X		0.75	0.75
		X		X		X	0.65	0.65
		X		X		X	0.85	0.80
		X		X		X	0.75	0.70
		X		X	X		0.80	0.75
		X		X		X	0.70	0.65
Heavily Deteriorated		X	X		X		0.70	0.70
		X	X			X	0.60	0.60
		X		X	X		0.65	0.65
		X		X		X	0.55	0.55
		X		X		X	0.55	0.55

The determination of resistance factors (capacity reduction factors) depends on the judgment of the engineer supplemented by any additional information available. Verbal guidelines are in the reference publication. Adapted from AASHTO Guide Specification [2].

ตารางที่ 10-4 Correction Factors สำหรับการวิเคราะห์

Distribution of loads	Steel	Correction factor	
		P/concrete	R/concrete
1. AASHTO distribution	1.00	1.00	1.00
2. Tabulated analysis with simplifying assumptions	1.10	1.05	0.95
3. Sophisticated analysis—finite element, etc.	1.07	1.03	0.90
4. Field measurements	1.03	1.01	0.90

Actual girder distribution shall be multiplied by the appropriate correction factors to obtain the girder distribution for rating.

Correction factors are applied if average or expected values are used for the distribution factor from analysis or measurements. The correction factor shall be used to increase the load factor taken from Table 11.4.

Adapted from AASHTO Guide Specifications [2].



ตารางที่ 10-5 Load Factors

Loading	Load Factor
Dead Load	$\mu_D = 1.2$
Allow an additional allowance of 20 percent on overlay thickness if nominal thicknesses are used. No allowances needed when measurements are made for thickness.	
Live Load Category	
1. Low volume roadways (ADTT less than 1000) with reasonable enforcement and apparent control of overloads.	$\mu_L = 1.30$
2. Heavy volume roadways (ADTT greater than 1000) with reasonable enforcement and apparent control of overloads.	$\mu_L = 1.45$
3. Low volume roadways (ADTT less than 1000) with significant sources of overloads without effective enforcement.	$\mu_L = 1.65$
4. Heavy volume roadways (ADTT greater than 1000) with significant sources of overloads without effective enforcement.	$\mu_L = 1.80$

ตารางที่ 10-6 Reduction Factors สำหรับ Live Loads

ฉะนั้น แนวทางของใหม่เหล่านี้ได้มีความพยายามที่จะรวบรวม Factors ต่างๆ เช่น สภาพของสะพาน การบังคับใช้กฎหมาย การบำรุงรักษา ประเภทของการตรวจสอบ และการตัดสินใจในการใช้ Factor สำหรับการประเมินความแข็งแรงของสะพาน ในขณะที่การกำหนด Rating Factor ก่อนหน้านี้ จะเป็นการแปรผันกับสมการต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

แนวทางทั่วไปในการคำนวณค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (Load Capacity) ของสะพาน มีดังต่อไปนี้

1. Total Load Capacity สำหรับสะพานจะถูกคำนวณได้โดยการใช้ คุณสมบัติของหน้าตัด (Cross-Sectional Properties) และ ระดับ Stress-Rating ที่เหมาะสม
2. น้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้างจะถูกคำนวณได้
3. Line Load Capacity ที่มีอยู่นั้น จะถูกคำนวณมาได้โดยใช้ความแตกต่างระหว่าง Total Load Capacity และ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load)

4. Line Load Capacity ของโครงสร้างที่ต้องการจะถูกคำนวณไว้ โดยใช้รถบรรทุกประเภท HS 20
5. ค่าอัตราส่วนของ Line Load Capacity ที่มีอยู่และ Line Load Capacity ที่มีอยู่ของรถบรรทุกมาตรฐานที่ใช้ออกแบบ จะให้ค่าที่สอดคล้อง กับ Capacity Rating ของโครงสร้าง

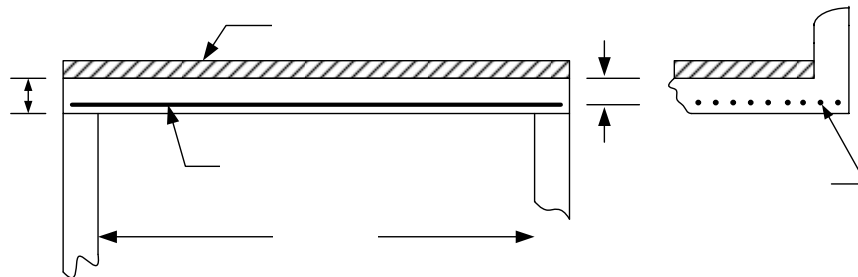
ข้อมูลอ้างอิงจากคู่มือสำหรับการตรวจสอบเพื่อการบำรุงรักษาสะพาน ของ AASHTO ได้กล่าวว่า ส่วนที่อ่อนแอมากกว่า ของสะพานส่วนใหญ่ ก็คือ Superstructure ไม่ใช่ Pier หรือ Abutment ด้วยเหตุนี้เอง Capacity ของสะพานจึงถูกคำนวณจากการวิเคราะห์ Superstructure เว้นแต่ว่าจะมีรายงานผลการตรวจสอบรูปแบบของโครงสร้างที่ผิดปกติ ซึ่งได้ยืนยันผลการวิเคราะห์ของ Substructure โดยปกติแล้ว Capacity Rating Analysis นี้ จะรวมถึงพื้นสะพาน (Deck) คานชอย (Stringer) คานพื้น (Floor Beams) โครง Truss หรือ Girder โดยจะขึ้นอยู่กับประเภทของสะพาน ตัวอย่างในข้อ 10.2 จะแสดงถึงการประเมินสภาพความแข็งแรงในชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน

10.2 ตัวอย่างการประเมินสภาพของชิ้นส่วนต่างๆ ของสะพาน

10.2.1 Concrete Slab Capacity Rating

พื้นสะพานที่เป็นคอนกรีต (Concrete Deck) หรือ (Concrete Slab) ซึ่งถูกรองรับแบบ Simple ที่ต้องการวิเคราะห์ เพื่อหา Capacity เช่นกัน วิธีการวิเคราะห์เพื่อหา Inventory และ Operating Capacity Ratings) แสดงไว้ในตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 แผ่นพื้นคอนกรีต (Concrete Slab)



รูปที่ 10-1 Concrete Slab Data

Clear Span = 4.7 m.

ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของ Bearing = 5.0 m.

Concrete Strength, $f'_c = 210 \text{ ksc (3000 lb/in}^2)$

เหล็ก Grade 40, $f_y = 2,800 \text{ ksc (40,000 lb/in}^2)$

Depth of Slab, $D = 30 \text{ cm.}$



ขั้นตอนที่ 1: Capacity ของ Slab ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง เป็นฟุต

เหล็กขนาด DB25 1 เส้น มีพื้นที่ 4.91 ตร.ซม (0.79 ตร.นิ้ว) และแผ่นคอนกรีต ซึ่งมีเหล็ก 7 เส้น ต่อความกว้าง 1.0 m. ดังนั้น พื้นที่ของเหล็กที่รับแรงดึง (A_s) ต่อความกว้าง 1.0 m. คือ

$$A_s = 7 (4.91) = 34.37 \text{ cm}^2/\text{m width}$$

ความสามารถในการรับแรงดึงทั้งหมด (Total tensile force capacity, T) คือ

$$T = A_s \times f_y = (34.37) (2,800) = 96,236 \text{ kg/m width}$$

$$a = \frac{T}{0.85 \times f'_c \times b}$$

โดยที่

$$b = \text{ความกว้าง } 1.0 \text{ m.}$$

$$f'_c = 210 \text{ ksc}$$

$$a = \frac{96,236}{0.85(210)(100)} = 5.39 \text{ cm.}$$

Nominal Moment (M_n) และ Ultimate Moment (M_u)

$$M_n = (A_s f_y)(d - a / 2)$$

$$M_u = \phi M_n$$

โดยที่

$$\phi = 0.9 \text{ for Flexure}$$

$$M_u = 0.9(A_s f_y)(d - a / 2)$$

$$M_u = 0.9(96,236)(27 - 5.39 / 2)$$

$$M_u = 2,105,114.38 \text{ kg-cm} = 21,051.14 \text{ kg-m}$$

ขั้นตอนที่ 2: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load Moment)

$$\text{น้ำหนักคอนกรีต} = 0.3 (2,400) = 720 \text{ kg/m/m width}$$

$$\text{น้ำหนัก Asphalt} = 0.075 (2,300) = 172.5 \text{ kg/m/m width}$$

$$\text{น้ำหนักรวม} = 892.5 \text{ kg/m/m width}$$

$$M_{DL} = \frac{WL^2}{8} = \frac{892.5(5)^2}{8} = 2,789.06 \text{ kg-m/m width}$$

ขั้นตอนที่ 3: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกจร (Line Load Moment)

คำนวณจากโมเมนต์จากตารางที่ 10-1 รถบรรทุกแบบ HS20 ความยาวช่วง 5.0 เมตร (16 ฟุต)

$$M_{LL} = 8,846.80 \text{ kg-m/ wheel Line (64 k-ft/ wheel Line)}$$

ปรับเปลี่ยนค่า สำหรับ Impact

$$I = \frac{50}{L+125} \leq 30\% = \frac{50}{(3.28 \times 5) + 125}$$

= 0.35 ดังนั้น ใช้ค่า 0.30

$$M_{LL+I} = M_{LL} \times 1.3$$

$$= 8,846.80 (1.3) = 11,500.84 \text{ kg - m / wheel Line}$$

ให้ปรับเปลี่ยนค่า ต่อ ระยะความกว้าง 1.0 เมตร สำหรับ Concrete Slab การกระจายน้ำหนักของเส้นแนวล้อ (Wheel Line Distribution) สำหรับแผ่นพื้นคานกรีตเสริมเหล็ก โดยอ้างอิงกับ ข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสะพานของ AASHTO มีค่าเท่ากับ $4+0.06(3 \times \text{Span}) \leq 2.10$ เมตร ส่วน Span ที่ยาว 5.0 เมตร จะบ่งบอกถึง 1.50 เมตร Distribution สำหรับ 1 เส้นแนวของล้อ (Wheel Line)

$$M_{LL+I} = 11,500.84 / 1.5 = 7,667.23 \text{ kg - m / wheel Line}$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณ Rating Factors

$$RF_{(inv)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(5/3)(M_{LL+I})} = \frac{21,051.14 - 1.3(2,789.06)}{1.3(5/3)(7,667.23)} = 1.05$$

$$RF_{(opr)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(M_{LL+I})} = \frac{20,765.32 - 1.3(2,789.06)}{1.3(7,667.23)} = 1.75$$

หมายเหตุ $RF_{(opr)} = 5/3 (RF_{(inv)})$

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณ Inventory และ Operating Rating

$$\text{Inventory Rating} = RF_{(inv)} \text{ (HS20)}$$

$$= (1.05) \text{ (HS20)}$$

$$= \text{HS21.0}$$

$$\text{Operating Rating} = RF_{(opr)} \text{ (HS20)}$$

$$= (1.75) \text{ (HS20)}$$

$$= \text{HS35.0}$$

ดังนั้น ค่าประเมินสภาพความแข็งแรงของ Concrete Slab ของสะพานมีค่าดังนี้

$$\text{Inventory Rating} = \text{HS21.0}$$

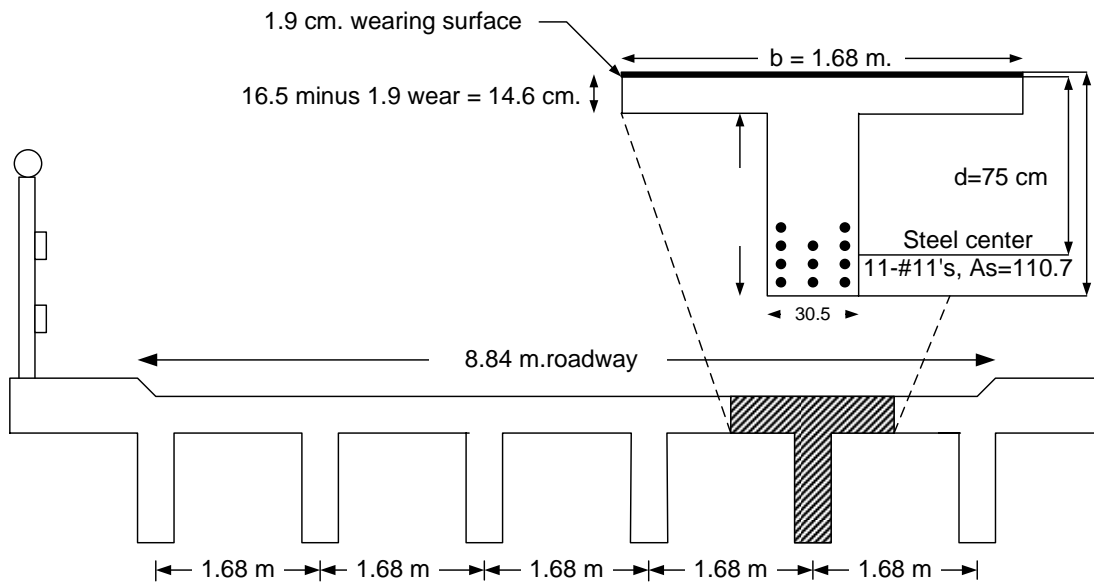
$$\text{Operating Rating} = \text{HS35.0}$$

ตัวอย่างที่ 2. คานคานกรีตขนาดใหญ่ (Concrete Girders)

คานคานกรีตขนาดใหญ่ของพื้นสะพาน (Concrete Deck Girders) รูป T-Beam มีความยาวช่วงของ Simple Span ทั้งหมด 15.25 เมตร โดยวัดจากจุดศูนย์กลางของ Bearing ระยะของเหล็กเสริมรับแนวตั้งจากฝั่งที่รับแรงอัด (d) มีค่า = 0.75 เมตร ความหนาของ Slab (ส่วนบนของ "T") เท่ากับ 16.5 เซนติเมตรโดยในนี้ 1.9 เซนติเมตร นั้นจะเป็นความ



หนาของพื้นผิวจราจร (Wearing Surface) ระยะห่างของ Girder = 1.68 เมตร โดยจากจุดศูนย์กลางของ Girder และมีความกว้างประสิทธิภาพ (Effective Width) ของ Slab เท่ากับ 1.68 เมตร ถนนกว้าง 88.4 เมตร กำลังของคอนกรีต เท่ากับ 210 กิโลกรัม ต่อ ตารางเซนติเมตร (3000 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว) และมีเหล็กเสริมเกรด 40 ขนาด # 11 จำนวน 11 เส้น รถที่ใช้ประเมินคือ รถบรรทุกขนาด HS20



รูปที่ 10-2 ข้อมูลของ Concrete Girder

Span c-c Bearings, $L = 15.25$ เมตร

Concrete Strength, $f'_c = 210$ ksc (3,000 lb/in²)

Grade 40 Steel, $f_y = 2,800$ ksc (40,000 lb/in²)

Steel: 11 Bars, $A_s : 11 \times 10.06 = 110.7$ cm² per beam

Girder Spacing = 1.68 m.

Total Depth = 90 cm.

Effective Depth, $d = 75$ cm.

Slab Thickness = 16.5 cm.

Stem Width = 30.5 cm.

Stem Depth = 75 cm.

Wearing Surface = 1.9 cm.

Effective Thickness of Slab: $16.5 - 1.9 = 14.6$ cm.

Unit Weight of R/C Concrete = 2,400 kg/m³ (150 lb/ft³)

Rating Vehicle = HS20

ขั้นตอนที่ 1: Total Moment Capacity ของ Girders (M_u)

ถ้าความลึกประสิทธิภาพของ ส่วนที่รับแรงอัด (Compressive Block) มีค่าน้อยกว่าความหนาประสิทธิภาพ (Effective Thickness) ของ Slab เราก็สามารถกำหนดให้ Slab นั้นมีสภาพคล้ายกับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้โดยมีความกว้าง (b) เท่ากับ 1.68 เมตร เพื่อให้เป็นไปตามจุดประสงค์ ของ Moment Capacity ซึ่งการกระทำเช่นนี้ เป็นเรื่องปกติสำหรับ ชั้นส่วน T-Beams

หาค่า a และเปรียบเทียบกับ Effective Thickness ของ Slab

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{(110.7)(2,800)}{0.85(210)(168)} = 10.34 \text{ cm.} \leq 14.6 \text{ cm.}$$

เนื่องจาก a มีค่าน้อยกว่า Effective Slab Deck เท่ากับ 14.6 cm. เราก็จะกำหนดหน้าตัดนี้ เป็นสี่เหลี่ยมรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีความกว้าง 168 cm.

การหาค่า Nominal Moment (M_n) และ Ultimate Moment (M_u)

$$M_n = (A_s f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = \phi M_n$$

โดย

$$\phi = 0.9 \text{ สำหรับแรงดัด (Flexure) ในคอนกรีตเสริมเหล็ก}$$

$$M_u = 0.9(A_s f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0.9 (110.7)(2,800)(75 - 10.34/2) = 19,480,056.12 \text{ kg-cm}$$

หรือ 194,800 kg-m

ขั้นตอนที่ 2: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (M_{DL})

น้ำหนัก Deck : $(0.165)(1.68)(2,400) = 665.28 \text{ kg-m per beam}$

น้ำหนัก Girder : $(0.3054)(0.75)(2,400) = 549.72 \text{ kg-m per beam}$

น้ำหนัก Curbs, Railings, และอื่นๆ = 267.94 kg-m per beam

น้ำหนักรวมทั้งหมด (w_d) = 1482.94 kg-m per beam

$$M_{DL} = \frac{w_d L^2}{8} = \frac{1482.94(15.25)^2}{8} = 43,110 \text{ kg-m}$$

ขั้นตอนที่ 3: โมเมนต์จากน้ำหนักบรรทุกจรที่ต้องการ (M_{LL+I})

คำนวณค่าโมเมนต์ (M_{HS}) จากตารางที่ 10-1 สำหรับรถบรรทุกแบบ HS20 และความยาวช่วงเท่ากับ 15.25 เมตร (50 ฟุต) การใช้ค่า Impact Adjustment (I) มีวิธีการเช่นเดียวกันกับ ตัวอย่างของ Concrete Slab ก่อนหน้านี้



และพบว่า I จะมีค่าเท่ากับ 0.286 โดย Impact Factor จะมีค่าเท่ากับ 1.286 Distribution Factor (DF) จะหาได้จากข้อกำหนดเกี่ยวกับสะพานของ AASHTO และพบว่ามีค่าเท่ากับ $s/6.0$ สำหรับพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่บนคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูป T Beams โดยที่มีช่องจราจรจำนวน 2 ช่อง

$$M_{HS} = 43,424.2 \text{ kg-m per wheel line}$$

$$I = \frac{50}{L+125} = \frac{50}{3.28 \times 15.25 + 125} = 0.286$$

$$DF = S / 6.0 = 0.92$$

$$M_{LL+I} = M_{HS} \times 1.286 \times DF = (43,424.2)(1.286)(5.5/6.0)$$

$$= 51,190 \text{ kg-m per beam}$$

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณค่า Rating Factor

$$RF_{(inv)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(5 / 3M_{LL+I})} = \frac{194,800 - 1.3(43,110)}{1.3(5/3)(51,190)} = 1.25$$

$$RF_{(opr)} = \frac{M_u - 1.3M_{DL}}{1.3(M_{LL+I})} = \frac{194,800 - 1.3(43,110)}{1.3(51,190)} = 2.08$$

ข้อสังเกต $RF_{(opr)} = 5 / 3(RF_{(inv)})$

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณ Inventory และ Operating Rating

$$\text{Inventory Rating} = RF_{(inv)} (HS20) = (1.25) (HS20) = HS25$$

$$\text{Operating Rating} = RF_{(opr)} (HS20) = (1.72) (HS20) = HS41.6$$

ค่าการประเมินสภาพความแข็งแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัว T มีดังนี้

$$\text{Inventory Rating} = HS25 \quad \text{Gross weight } 45.0 \text{ ตัน}$$

$$\text{Operating Rating} = HS41.6 \quad \text{Gross weight } 45.0 \text{ ตัน}$$

โปรดสังเกตว่า น้ำหนักรวมทั้งหมด (Gross weight) ของรถบรรทุก HS เท่ากับ 1.8 เท่าของค่าที่กำหนดให้มาในรูปหน่วยน้ำหนักเป็นตัน ฉะนั้น น้ำหนักรวมทั้งหมดของรถบรรทุกแบบ HS41.6 จะมีค่าเท่ากับ 74.9 ตัน

10.2.2 น้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ได้ (Permit Loads)

มีบ่อยครั้งที่สะพานจำเป็นต้องได้รับการประเมินค่าความแข็งแรงสำหรับการรองรับรถบรรทุกขนาดหนักซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน ในขณะที่โดยทั่วไปแล้ว สะพานจะได้รับการประเมินโดยการใช้น้ำหนักบรรทุกแบบ HS ดังนั้นแทนที่จะต้องทำการวิเคราะห์สะพานทั้งหมดใหม่อีกครั้งสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ได้อยู่ในมาตรฐาน เราสามารถใช้ Rating Capacity ได้โดยตรงเพื่อคำนวณ Capacity ซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน

โดยปกติมักสมมุติฐานไว้ก่อนว่า เงื่อนไขของการวิบัติของสะพานอาจจะเกิดขึ้นได้เช่นกัน เมื่อเราได้ประเมินความแข็งแรงของสะพานที่ไม่ได้ใช้งานตามมาตรฐาน ในตัวอย่างต่างๆ ที่พบมานั้น การวิบัติส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัด (Bending Moment) ส่วนในกรณีของโครงข้อหมุน (Truss) เราต้องพิจารณาให้ลึกซึ้งเข้าไปอีกว่า ชิ้นส่วน (Member) ไหน เป็นตัวแปรในการควบคุมการเกิดวิบัติ

AASHTO ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าเราสามารถที่จะอนุญาตให้มีการบรรทุกน้ำหนักเกินระดับของ Inventory Capacity ได้ แต่ต้องไม่เกินระดับของ Operating Capacity ซึ่งโดยปกติแล้วจะแสดงไว้ในรูปแบบของ HS Loading โดย Capacity ของสะพานจะใช้ตามรูปแบบของน้ำหนักที่ยอมให้ (Permit Configuration) เนื่องจากว่าการคำนวณนี้ จะเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Computations) เราจึงสามารถหาอัตราส่วนของสมการของแรง (Force) และ โมเมนต์ (Moment) ที่เกิดขึ้นจาก Rating Vehicle สมการของแรงที่เกิดจาก Permit Vehicle และรักษาผลการคำนวณในขณะนั้นไว้ได้ ทั้งนี้ เราสามารถทำให้เสร็จสิ้นได้อย่างง่ายดายโดยดูที่ Rating Factors

Operating Factor (RF_o) ที่ใช้การวิเคราะห์ Load Factor จะหาได้ดังนี้

$$RF_o = \frac{M_u - 1.3 \times D}{1.3 \times M_{HS} \times DF \times (1 + I)} \quad (10.5)$$

โปรดสังเกตว่า Factor ที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ และลักษณะทาง Geometry ของสะพาน ก็คือ โมเมนต์ที่เกิดจาก Wheel Line ของน้ำหนักบรรทุกแบบ HS 20 คือ M_{HS} เพราะฉะนั้น เราก็สามารถหาค่า Rating Factor สำหรับ Permit Vehicle (RF_p) ได้โดยการคูณ RF_o ด้วยค่าอัตราส่วนของโมเมนต์ซึ่งเกิดจาก Wheel Line ของ HS20 Loading สำหรับความยาวช่วงสะพานต่อค่าโมเมนต์ที่เกิดจาก Wheel Line ของ Permit vehicle (M_{per}) ถ้าเราคูณค่า Rating Factor กับค่า Gross weight ของ Permit Vehicle เราจะได้ค่า Rating ในรูปแบบของ Wheel Configuration ของ Permit Vehicle หรือพูดง่ายๆ ก็คือ ถ้า Rating Factor (RF_p) มีค่ามากกว่า 1 แล้ว Permit Vehicle จะไม่ทำให้เกิดค่าที่เกินขีดจำกัดของ Operating Capacity ของสะพาน ดังที่ได้กำหนดไว้ในรูปแบบของ HS Loading

$$RF_o = \frac{(M_u - 1.3 \times D) \times (M_{HS} / M_{per})}{1.3 \times M_{HS} \times DF \times (1 + I)} \quad (10.6)$$

$$RF_p = RF_o \times (M_{HS} / M_{per}) \quad (10.7)$$

ถ้ารถบรรทุกหนัก (Heavy Vehicle) ไม่ได้มีน้ำหนักเกิน Operating Capacity ของสะพาน ก็สามารถอนุญาตให้รถข้ามสะพานได้ ถ้ารถบรรทุกที่ไม่ได้มาตรฐานเหล่านั้นมีน้ำหนักเกินกว่า Operating Capacity เราก็ไม่ควรอนุญาตให้รถวิ่งผ่านสะพาน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการทางวิศวกรรมซึ่งเป็นหน้าที่ของเราเพื่อหา Operating Capacity มาได้นั้น ก็อาจทำให้ Operating Capacity มีค่าเพิ่มขึ้นได้ สิ่งนี้จะปรับเปลี่ยนได้นั้นรวมถึง Impact Factor Lateral Distribution Factor และ คุณสมบัติของวัสดุที่มีอยู่ เป็นต้น

ยกตัวอย่างเช่น Impact Effect อาจลดลงให้โดยการลดขีดจำกัดความเร็วของ Permit Vehicle ส่วน Actual Distribution Factor ก็จะสามารถหาได้โดยวิธี Load Test สำหรับค่า Yield Strengths ของวัสดุต่างๆ สามารถหามาได้โดยการทดสอบต่างๆ การปรับเปลี่ยนต่างๆ เหล่านี้ ได้รับการอธิบายไว้แล้วใน AASHTO Guide Lines และสามารถทำได้โดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น



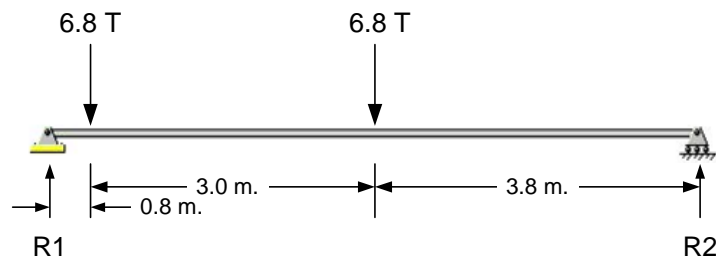
ตัวอย่างที่ 3. Permit Load

ให้พิจารณาต้านหนึ่งซึ่งจะถือว่าเป็น Permit Vehicle มีเพลลา 2 แกน ห่างกัน 3 เมตร Gross Weight 30 ตัน โดยมีน้ำหนักบรรทุกทุกเท่ากันทั้งล้อหน้าและล้อหลัง สะพานที่มีอยู่เป็นสะพานเหล็กแบบ Simple Supported Steel Beam โดยมีพื้นสะพานเป็นแบบ Non-Composite Reinforced Concrete สะพานมีความยาวช่วงระหว่างจุดศูนย์กลางของ Bearing เท่ากับ 7.6 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่าสะพานนี้มี Operating Capacity เท่ากับ HS26.8 ซึ่งคำนวณมาได้โดยใช้ Rating Factor (RF_o) เท่ากัน 1.34 ถามว่า รถคันดังกล่าวจะสามารถวิ่งผ่านสะพานนี้ไปได้อย่างปลอดภัยหรือไม่

ขั้นตอนที่ 1: คำนวณโมเมนต์ดัด (Bending Moment)

ซึ่งเกิดจาก Wheel Line ของ Permit Vehicle (M_{per})

สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วง 7.6 เมตร โดยปกติแล้วมักจะไม่มีตารางที่แสดงค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดจาก Permit Vehicle แต่จะแบบ เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการใช้ Influence Line เพื่อที่จะหาค่า Bending Moment ที่จุดกึ่งกลางของ Simple Span เพื่อที่จะคำนวณค่า Bending Moment สำหรับ Permit Vehicle



$$\Sigma M = 0 \text{ ที่ Hinge support (R1)}$$

$$R2 \times 7.6 = (6.8 \times 3.8) + (6.8 \times 0.8)$$

$$R2 = 4.12 \text{ Tons-m}$$

$$M_{per} = 4.12 \times 3.8 = 15.64 \text{ Tons-m per Wheel Line}$$

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่าอัตราส่วน $\frac{M_{HS}}{M_{per}}$

$$M_{HS} = 14.34 \text{ Tons-m (103.7 kip-ft, จากตารางที่ 10-1)}$$

$$\frac{M_{HS}}{M_{per}} = (14.34 / 15.64) = 0.92$$

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณค่า Permit Rating Factor: RF_p

$$RF_p = R_{fo} \times \frac{M_{HS}}{M_{per}} = 1.34(0.92) = 1.23$$

เนื่องจากว่า RF_p มีค่ามากกว่า 1.0 จึงสามารถอนุญาตให้น้ำหนักบรรทุกขนาดนี้ผ่านสะพานได้ เพราะค่าของมันไม่ได้มากกว่าค่า Operating Capacity ของ HS26.8 loading

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณค่า Operating Capacity

ค่า Operating Capacity ในรูปแบบของน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ ก็คือค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Maximum Loads) ที่มี Wheel Line Configuration เหมือนกันกับค่าที่สามารถใช้กับสะพานนี้ได้

$$\begin{aligned} \text{Operating Capacity} &= Rf_p \times \text{Permit Gross Weight} \\ &= 1.23(30) = 36.9 \text{ ตัน} \end{aligned}$$

ค่า 36.9 ตันนี้ เป็นค่า Maximum Gross Weight ของรถบรรทุกที่มี Wheel Configuration และ Load Distribution เหมือนกัน กับค่าที่ Permit vehicle สามารถมีได้โดยไม่มากกว่าค่า HS Operating Capacity ข้อสมมุติฐานต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ Operating Capacity สำหรับ HS Loading นั้น ก็สามารถนำต่อมาใช้ ณ ที่นี้ ได้อย่างเท่าเทียมกัน

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง

11.1 กำลังของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

สมมติฐานการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดประลัย

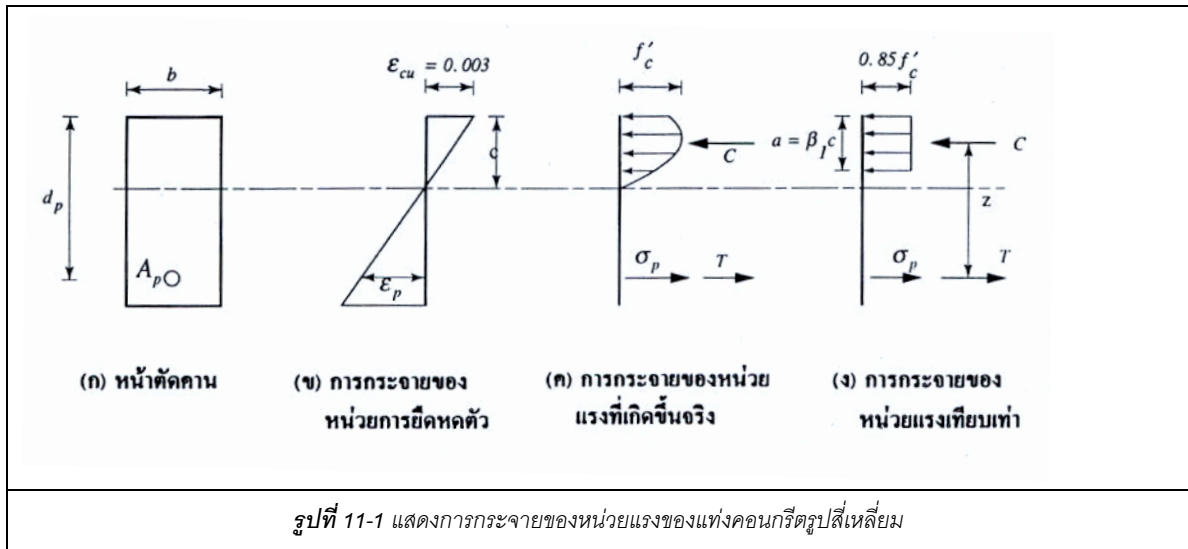
- การกระจายของหน่วยการยึดหดในคอนกรีตและเหล็กเสริม เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแนวแกนสะเทิน
- คอนกรีตไม่รับแรงดึงหรือกำลังในการรับแรงดึงของคอนกรีตไม่ถูกนำมาพิจารณาในการคำนวณที่สถานะประลัย หน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่ผิวด้านรับแรงอัดมีค่าเท่ากับ 0.003

สัญลักษณ์

A_g	เนื้อที่ทั้งหมดของหน้าตัดโครงสร้าง หน่วยเป็น ตร.ซม.
A_{ps}	เนื้อที่หน้าตัดของปริมาณของเหล็กเสริมอัดแรงในบริเวณที่เกิดแรงดึง หน่วยเป็น ตร.ซม.
A_s'	เนื้อที่หน้าตัดของปริมาณเหล็กเสริมธรรมดาที่รับแรงอัด หน่วยเป็น ตร.ซม.
a	ความลึกของการกระจายของหน่วยแรงอัดของคอนกรีตเทียบเท่าเป็นรูปสี่เหลี่ยม หน่วยเป็น ตร.ซม.
c	ระยะตั้งฉากจากแกนสะเทินถึงจุดที่เกิดความเครียดอัดสูงสุด หน่วยเป็น ซม.
d	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมธรรมดาที่รับแรงดึง หน่วยเป็น ซม.
d'	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมธรรมดาที่รับแรงอัด หน่วยเป็น ซม.
d_p	ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น ซม.
f_c'	กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเมื่ออายุ 28 วัน โดยทดสอบจากแท่งทรงกระบอกมาตรฐาน หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
f_{pc}	หน่วยแรงอัดเฉลี่ยในคอนกรีตเนื่องจากการอัดแรงเท่านั้น (ภายหลังการเสื่อมลดของแรงอัด) หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
f_{ps}	หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมอัดแรงที่สภาวะวิบัติ หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.



- f_{pu} หน่วยแรงดึงประลัยในเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
- f_{py} กำลังคดากของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
- f_{se} หน่วยแรงดึงประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรง หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
- f_y กำลังคดากของเหล็กเสริมธรรมดา หน่วยเป็น กก./ตร.ซม.
- β_1 ตัวคูณที่แปรเปลี่ยนตามกำลังของคอนกรีต
- r_p ตัวคูณที่คำนึงถึงกำลังครากของเหล็กเสริมอัดแรง มีค่าดังนี้
 0.40 เมื่อ f_{py} / f_{pu} มีค่าไม่น้อยกว่า 0.85
 0.28 เมื่อ f_{py} / f_{pu} มีค่าไม่น้อยกว่า 0.90
- ρ อัตราส่วนของเหล็กเสริมธรรมดาที่รับแรงดึง = A_s / bd
- ρ' อัตราส่วนของเหล็กเสริมธรรมดาที่รับแรงอัด = A'_s / bd
- ρ_p อัตราส่วนของเหล็กเสริมอัดแรง = A_{ps} / bd_p
- $\omega = \rho f_y / f'_c$
- $\omega' = \rho' f_y / f'_c$
- $\omega_p = \rho_p f_{ps} / f'_c$



รูปที่ 11-1 แสดงการกระจายของหน่วยแรงของแท่งคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยม

สมการคำนวณค่ากำลังโมเมนต์ดัดประลัย สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (11.1)$$

โดยที่

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{r_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \quad (11.2)$$

โดยที่ r_p คือ ตัวคูณที่คำนึงถึงระดับกำลังครากของเหล็กเสริมอัดแรง มีค่าดังนี้

$$0.40 \text{ เมื่อ } 0.85 \leq f_{py}/f_{pu} < 0.90$$

$$0.28 \text{ เมื่อ } f_{py}/f_{pu} \geq 0.90$$

f_{pu} คือ หน่วยแรงดึงประลัยในเหล็กเสริมอัดแรง

$$\beta_1 \text{ คือ } 0.85 \text{ เมื่อ } f'_c \leq 300 \text{ ksc}$$

$$\text{และ } 0.85 - 0.0008(f'_c - 300) \geq 0.65 \text{ เมื่อ } f'_c > 300 \text{ ksc}$$

$$a \text{ คือ } A_{sp} f_{ps} / 0.85 f'_c b$$

เหล็กเสริมไม่อัดแรงไม่ช่วยรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด ดังนั้น $\omega = \omega' = 0$

ตารางที่ 11-1 หน่วยแรงที่ยอมให้ของลวดอัดแรงภายหลังการถ่ายแรง

	Tendon Type		
	Stress Relieved Strand and Plain High-Strength Bars	Low Relaxation Strand	Deformed High-Strength Bars
At jacking: (f_{pj})			
- Pretensioning	0.72 f_{pu}	0.78 f_{pu}	-
- Post-tensioning	0.76 f_{pu}	0.80 f_{pu}	0.75 f_{pu}
At jacking: (f_{pj})			
- Pretensioning	0.70 f_{pu}	0.74 f_{pu}	-
- Post-tensioning-At anchorages and couplers immediately after anchor set	0.70 f_{pu}	0.70 f_{pu}	0.66 f_{pu}
- Post-tensioning - General	0.70 f_{pu}	0.74 f_{pu}	0.66 f_{pu}
At Service Limit State: (f_{pe})			
After Losses	0.80 f_{pu}	0.80 f_{pu}	0.80 f_{pu}



11.2 กำลังของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

- กำลังดัดของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานคอนกรีต

สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หากำลังดัดโดยวิธีตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกใช้งาน มีดังนี้

1. หารูปตัดยังคงเป็นระนาบก่อนและหลังการดัด
2. การยืดหยุ่นระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์
3. หน่วยแรงสูงสุดและความเครียดสูงสุดไม่เป็นสัดส่วนกันทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม
4. ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตภายหลังการแตกร้าว
5. การกระจายหน่วยแรงอัดของคอนกรีตที่สภาวะวิบัติเป็นตามแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดที่ใช้ในการวิเคราะห์ และความเครียดสูงสุดของคอนกรีตต้องไม่เกิน 0.003
6. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของเหล็กเสริมเป็นแบบฮิสเทติก-พลาสติก โดยสมบูรณ์ (Neglect Strain Hardening) ซึ่งหน่วยแรงดึงหรือแรงอัดสูงสุดมีค่าเท่ากับกำลังที่จุดคราก

- กำลังดัดของหน้าตัดคาน/พื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก

ก. การวิเคราะห์หน้าตัดเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว

พิจารณารูปที่ 11-2 พบว่า แรงดัดลัพธ์ในเหล็กเสริมเป็นดังสมการ

$$T = A_s f_s \quad (11.3)$$

แรงอัดลัพธ์ในคอนกรีต ดังสมการ

$$C = 0.85 f_c' ab \quad (11.4)$$

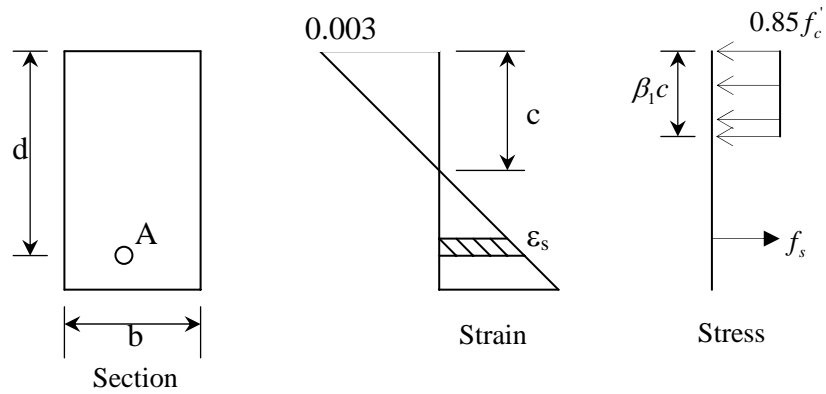
ระยะห่างระหว่างแรงดัดลัพธ์และแรงอัดลัพธ์หรือเรียกว่าแกนโมเมนต์ ดังสมการ

$$jd = d - 0.5a \quad (11.5)$$

กำลังโมเมนต์ระบุ (Nominal Flexural Strength) หรือเรียกว่ากำลังตามสมมติฐาน (Ideal Flexural Strength) ดังสมการ

$$M_n = Tjd = Cjd \quad (11.6)$$

รูปแบบของการวิบัติ อาจจะเป็นแบบแรงดึงเป็นหลัก แรงอัดเป็นหลักหรือแบบสภาวะเหล็กเสริมสมดุลง ซึ่งการวิบัติทั้งสามแบบดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงเป็นหลัก



รูปที่ 11-2 การกระจายความเครียดและหน่วยแรงที่สภาวะประลัยของหน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงดึง

การวิบัติแบบแรงดึงเป็นหลัก (Tension Failure)

ถ้าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงมีปริมาณน้อยกว่าสภาวะเหล็กเสริมสมดุล จะทำให้เหล็กเสริมครากก่อนที่คอนกรีตจะแตก นั่นหมายความว่า $f_s = f_y$ และที่สภาวะแรงสมดุลของหน้าตัด, $C = T$, หรือเรียกว่าแรงคู่ควบจากสมการที่ (11.3) และ (11.4) จะได้

$$0.85 f'_c a b = A_s f_y \tag{11.7}$$

ดังนั้นได้
$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \tag{11.8}$$

จากสมการที่ (11.5) และ (11.6) จะได้

$$M_n = A_s f_y (d - 0.5a) \tag{11.9}$$

แทนค่า a จากสมการ (11.8) จะได้

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{0.59 A_s f_y}{f'_c b} \right) \tag{11.10}$$

$$= \rho b d^2 f_y \left(1 - \frac{0.59 \rho f_y}{f'_c} \right) \tag{11.11}$$

$$= b d^2 f'_c \omega (1 - 0.59 \omega) \tag{11.12}$$

โดยที่ $\rho = \frac{A_s}{bd}$, $\omega = \frac{\rho f_y}{f'_c}$



การวิบัติแบบแรงอัดเป็นหลัก (Compression Failure)

ถ้าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงมากกว่าสถานะเหล็กเสริมสมดุล จะทำให้ $f_s < f_y$ นั้นหมายความว่า ขณะที่คอนกรีตแตก ($\epsilon_c = 0.003$) เหล็กเสริมจะยังอยู่ในช่วงอีลาสติกเชิงเส้นและการหาหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมจะหาในเทอมของความลึกของแนวแกนสะเทิน, c , พิจารณารูปที่ 11-2 จาก Strain Diagram โดยใช้สามเหลี่ยมคล้ายจะได้

$$\frac{\epsilon_s}{0.003} = \frac{d-c}{c}$$

ดังนั้น ได้
$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d-c}{c} \quad (11.13)$$

จาก
$$f_s = \epsilon_s E_s = 0.003 \frac{d-c}{c} E_s \quad (11.14)$$

จาก $a = \beta_1 c$ ดังนั้น
$$f_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad (11.15)$$

จากสถานะแรงสมดุลของหน้าตัด, $C = T$, และจากสมการ (11.3) และ (11.4) จะได้

$$0.85 f_c' ab = A_s f_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s A_s$$

จัดเทอมใหม่ได้
$$\left(\frac{0.85 f_c'}{0.003 E_s \rho} \right) a^2 + ad - \beta_1 d^2 = 0 \quad (11.16)$$

จากสมการที่ (11.16) หาค่า a และจากสมการที่ (11.5) และ (11.6) จะได้

$$M_n = 0.85 f_c' ab (d - 0.5a) \quad (11.18)$$

การวิบัติแบบสภาวะสมดุลของหน้าตัดหรือเรียกว่าสภาวะเหล็กเสริมสมดุล (Balanced Failure)

ถ้าเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากพร้อมกับคอนกรีตแตก แล้วเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า การวิบัติแบบสภาวะสมดุล นั่นคือ $\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$ และจากสามเหลี่ยมคล้ายของ Strain Diagram ดังแสดงในรูปที่ 11-2 จะได้

$$\frac{f_y / E_s}{0.003} = \frac{d - c_b}{c_b}$$

โดยที่ c_b = ความลึกของแกนสะเทินที่สภาวะเหล็กเสริมสมดุล

จัดเทอมใหม่ได้
$$c_b = \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} d \quad (11.18)$$

หรือ
$$a_b = \frac{0.003E_s}{0.003E_s + f_y} \beta_1 d \tag{11.19}$$

โดยที่ a_b = ความลึกของหน่วยแรงเทียบเท่าสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สภาวะเหล็กเสริมสมมูล

จากสภาวะสมดุลของแรงในหน้าตัด, $C=T$, ดังนั้นได้

$$0.85 f'_c a_b b = A_s f_y = \rho_b b d f_y$$

โดยที่ $\rho_b = \frac{A_s}{bd}$

สำหรับการวิบัติแบบสภาวะหน้าตัดสมดุล ได้

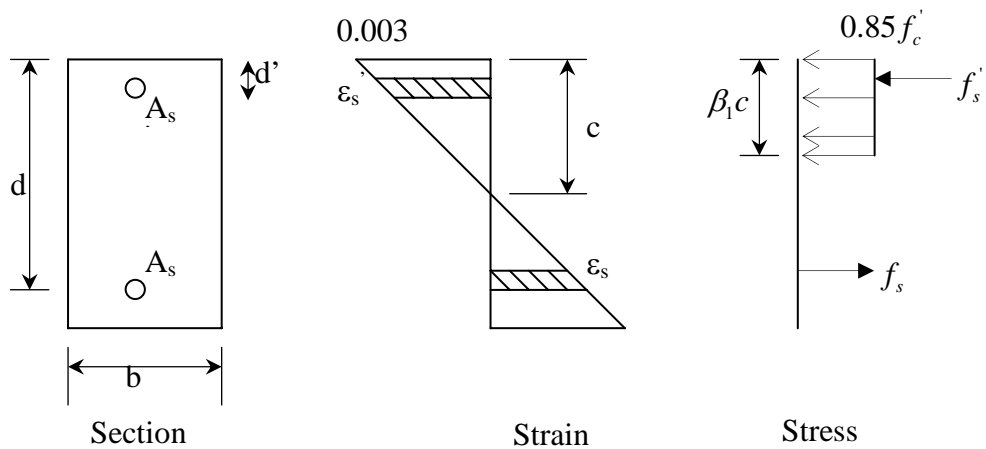
$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c a_b}{f_y d} \tag{11.20}$$

แทนค่าสมการที่ (11.19) ลงในสมการที่ (11.20) ได้

$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \tag{11.21}$$

ข. การวิเคราะห์หน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

พิจารณารูปที่ 11-3 แสดงหน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงดึงในสภาวะที่รับแรงดัดจนกระทั่งถึงจุดวิบัติ ซึ่งสภาวะดังกล่าวเหล็กเสริมรับแรงดึงหรือแรงอัดอาจถึงจุดครากหรือไม่ก็ได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์จะสมมติว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงและแรงอัดเกิดการครากไว้ก่อน แล้วจึงมาคำนวณย้อนกลับดูว่าเหล็กเสริมเกิดการครากหรือไม่



รูปที่ 11-3 การกระจายความเครียดและหน่วยแรงที่สภาวะประลัยของหน้าตัดที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด



ถ้าเหล็กเสริมทั้งหมดเกิดการคราก , $f_s = f'_s = f_y$, โดยที่ f_s คือ หน่วยแรงของเหล็กเสริมรับแรงดึง , f'_s คือ หน่วยแรงของเหล็กเสริมรับแรงอัด และ f_y คือ หน่วยแรงครากของเหล็กเสริม นั่นคือ หน่วยแรงลัพท์ (แรง) ภายใน เป็นดังนี้

หน่วยแรงลัพท์เนื่องจากคอนกรีต

$$C_c = 0.85 f'_c ab \quad (11.22)$$

หน่วยแรงลัพท์เนื่องจากเหล็กเสริมรับแรงอัด

$$C_s = A'_s f_y \quad (11.23)$$

โดยที่ A'_s = ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด

หน่วยแรงลัพท์เนื่องจากเหล็กเสริมรับแรงดึง

$$T = A_s f_y \quad (11.24)$$

จากสมภาวะแรงสมดุลของหน้าตัด จะได้

$$C = C_c + C_s = T$$

$$0.85 f'_c ab + A'_s f_y = A_s f_y$$

$$\text{ดังนั้น ได้} \quad a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} \quad (11.25)$$

โดยใช้สามเหลี่ยมคล้ายของ Strain Diagram เพื่อตรวจสอบว่าเหล็กเสริมเกิดการครากหรือไม่ ถ้าความเครียดในเหล็กเสริมมากกว่า $\frac{f_y}{E_s}$ หมายความว่าเหล็กเสริมเกิดการคราก จากสามเหลี่ยมคล้ายได้

$$\epsilon'_s = 0.003 \frac{c-d'}{c} = 0.003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} \quad (11.26)$$

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d-c}{c} = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \quad (11.27)$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad f'_s = f_y \quad \text{ถ้า} \quad 0.003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (11.28)$$

$$\text{และ} \quad f_s = f_y \quad \text{ถ้า} \quad 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (11.29)$$

โดยการหาโมเมนต์รอบเหล็กเสริมรับแรงดึง ดังนั้นกำลังโมเมนต์ระบุ ดังสมการ

$$M_n = 0.85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \quad (11.30)$$

โดยที่ a คือค่าที่ให้ไว้ในสมการที่ (11.25)

ภายหลังการตรวจสอบพบว่าเหล็กเสริมในสมการที่ (11.28) และ (11.29) ไม่เกิดการคราก ดังนั้นค่าของ a ที่คำนวณได้จากสมการที่ (11.25) จะใช้ไม่ได้ การคำนวณค่าของ a ต้องใช้สมการของแรงสมดุลของหน้าตัดและ Strain Diagram ดังนั้น จากสมการสมดุล ได้

$$a = \frac{A_s f_s - A'_s f'_s}{0.85 f'_c b} \quad (11.31)$$

จากสามเหลี่ยมคล้ายของ Strain Diagram ได้

$$f'_s = \epsilon'_s E_s = 0.003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} E_s \quad \text{หรือ} \quad f_y \quad (11.32)$$

$$f_s = \epsilon_s E_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad \text{หรือ} \quad f_y \quad (11.33)$$

ดังนั้นได้

$$M_n = 0.85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \quad (11.34)$$

กำลังต้านทานแรงเฉือนของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานคอนกรีต

รอยแตกร้าวในแนวทแยง (Diagonal Tension Crack) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีต มี 2 ชนิด คือ

1. รอยร้าวจากแรงเฉือน (Web-Shear Crack)
2. รอยร้าวจากแรงเฉือนร่วมกับโมเมนต์ (Flexural-Shear Crack)

รอยแตกร้าวจากแรงเฉือนมักเกิดขึ้นที่แนวแกนสะเทินหรือปลายคาน/พื้น ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะมีค่าแรงเฉือนมากแต่ค่าโมเมนต์เกือบเป็นศูนย์ ซึ่งคานตัวที่หรือตัวใดที่มีความหนาของเอวน้อยมักจะเกิดการแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือน

กำลังต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดคาน/พื้น คอนกรีตเสริมเหล็ก

ก. กำลังต้านทานแรงเฉือนในส่วนของคอนกรีต

จากผลการทดลอง พบว่า บริเวณที่มีแรงเฉือนมากแต่โมเมนต์มีค่าน้อย กำลังต้านทานแรงเฉือน ดังสมการ

$$V_c = 0.93 \sqrt{f'_c} b d \quad (11.35)$$



รอยแตกร้าวเนื่องจากแรงเฉือนร่วมกับโมเมนต์จะเกิดขึ้นบริเวณที่มีแรงทั้ง 2 กระทำ เช่น บริเวณช่วงกลางคานฐานรองรับแรงภายในของคานต่อเนื่อง เป็นต้น พฤติกรรมของการแตกร้าวจะเริ่มจากบริเวณผิวด้านรับแรงดึงเนื่องจากโมเมนต์ (Flexural Crack) หลังจากนั้นรอยแตกร้าวจะขยับสูงขึ้นจนกระทั่งเลยตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึง หลังจากนั้นการแตกร้าวจะเริ่มเฉียงเข้าหาแนวแกนสะเทิน เนื่องจากมีแรงเฉือนกระทำร่วมด้วย รอยร้าวแบบนี้พบมากกว่ารอยร้าวแบบแรก จากผลการทดลองพบว่า บริเวณที่มีโมเมนต์กระทำจะส่งผลให้กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีตดังสมการ

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}bd \quad (11.36)$$

สมการที่ (11.36) พบว่าจะมีค่าน้อยกว่าสมการที่ (11.35) อยู่ประมาณครึ่งหนึ่ง เนื่องจากโมเมนต์ทำให้เหลือส่วนของคอนกรีตที่จะต้านทานแรงเฉือนน้อยลง ประกอบกับการกระทำร่วมกันของโมเมนต์ร่วมกับแรงเฉือน ทำให้แรงดึงทแยงมีค่ามาก

ข. กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวาง

เมื่อคาน/พื้น ต้องรับแรงเฉือนประลัยมากกว่าหน้าตัดที่คอนกรีตเองสามารถต้านทานได้ ก็จำเป็นต้องเสริมเหล็กทางขวางเพื่อช่วยต้านทานแรงเฉือนประลัยส่วนที่เหลือ ดังสมการ

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (11.37)$$

โดยที่ V_s = แรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวางที่ต้องรับ (กก.)

V_c = กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต (กก.)

V_u = แรงเฉือนประลัยบนหน้าตัด (กก.)

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง มีค่าเท่ากับ 0.85

ตำแหน่งของรอยร้าวในแนวทแยงรอยแรกจะเป็นหน้าตัดวิกฤติ ที่ใช้สำหรับหาแรงเฉือนประลัย V_u ที่กระทำมาตรฐานทั่วไปกำหนดให้พิจารณาหน้าตัดวิกฤติที่ระยะ d จากขอบของที่รองรับ แต่ให้เสริมเหล็กรับแรงเฉือนระหว่างขอบของที่รองรับกับระยะที่ห่างออกมาเป็นระยะ d ด้วย โดยการเสริมเหล็กเท่ากับปริมาณที่หาได้ที่หน้าตัดวิกฤติ หนึ่งในการช่วงสั้นหรือคานลึกหรือคานที่มีน้ำหนักแบบจุดกระทำใกล้กับขอบของที่รองรับ ให้คำนวณหาแรงเฉือนประลัย โดยพิจารณาว่าหน้าตัดวิกฤติอยู่ที่ขอบที่รองรับ

เหล็กเสริมทางขวาง เช่น เหล็กเสริมอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างร่วมกัน ดังนี้

1. เหล็กผูกตั้ง (Vertical Stirrups) เป็นเหล็กที่วางตั้งฉากกับเหล็กเสริมตามยาว
2. เหล็กผูกตั้งเอียง (Inclined Stirrups) เป็นเหล็กที่วางทำมุมมากกว่า 45 องศา กับเหล็กเสริมตามยาว
3. เหล็กค่อม (Bent Up Bar) เป็นเหล็กที่ตัดจากเหล็กเสริมตามยาวและทำมุมมากกว่า 30 องศา กับเหล็กเสริมตามยาว

กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวาง V_s , สามารถหาได้ดังสมการ

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (11.38)$$

โดยที่ V_s = แรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวางที่ต้องแบกรับ (กก.)

A_v = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมทางขวาง (เหล็ก 1 ปลูกคิดพื้นที่หน้าตัด 2 ขา)

f_{yh} = กำลังครากของเหล็กเสริมทางขวาง (กก./ซม²)

d = ความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัด (ซม.)

s = ระยะห่างของเหล็กเสริมทางขวาง (ซม.)

α = มุมที่เหล็กเสริมทางขวางทำกับแนวเหล็กเสริมตามยาว (องศา)

ในกรณีที่เหล็กเสริมทางขวางเป็นเหล็กดัดตั้ง (นั่นคือ มุม $\alpha = 90$ องศา) จากสมการที่ (1.38) จะได้

$$V_s = \frac{A_v f_{yh} d}{s} \quad (11.39)$$

มาตรฐานทั่วไปกำหนด กำลังต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมทางขวาง, V_s , ต้องมีค่าไม่เกินกว่า $2.1\sqrt{f_c'}bd$ ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้คาน/พื้น คสล. มีพฤติกรรมแบบเปราะ (เมื่อเปรียบเทียบกับกรับแรงเฉือน) ฉะนั้นเมื่อ V_s มีค่ามากกว่าค่าดังกล่าว ต้องเปลี่ยนหน้าตัดให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม หรือพิจารณาเพิ่มค่ากำลังอัดของคอนกรีตหรือเพิ่มทั้งสองอย่าง

หลักการคำนวณผลจากน้ำหนักบรรทุกจร

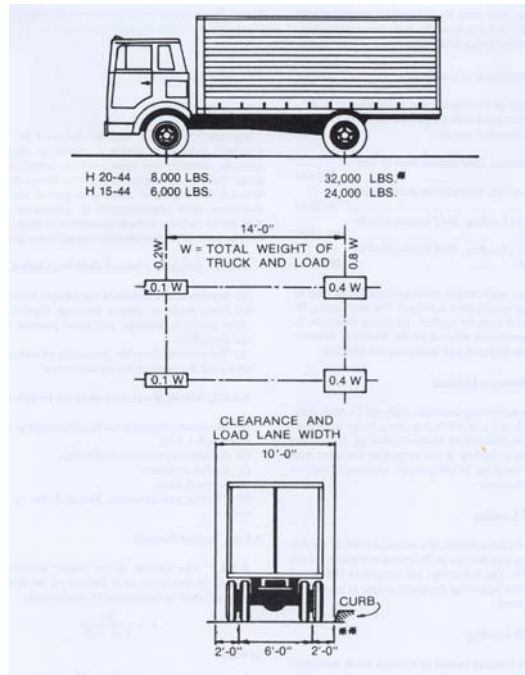
12.1 น้ำหนักบรรทุกจร

น้ำหนักบรรทุกจรหลักๆ บนสะพานทางหลวง จะขึ้นอยู่กับการจราจรที่เคลื่อนที่ไปตามแนวของช่วงสะพาน (ตามแนวช่องจราจร) ในกรณีที่ต้องการสร้างพื้นฐานสำหรับวิเคราะห์ การออกแบบและการประเมินสภาพความแข็งแรงของสะพานนั้น AASHTO ได้พัฒนาข้อกำหนดของชุดน้ำหนักบรรทุกมาตรฐาน (Set of Standard Loading Conditions) ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างสะพานทั่ว ๆ ไป โดยมีการกำหนดให้มีการใช้ยานพาหนะหลาย ๆ ประเภท และก็ได้รับการพิจารณาแล้วว่า ชุดมาตรฐานน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากรถบรรทุก (Truck Traffic) เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

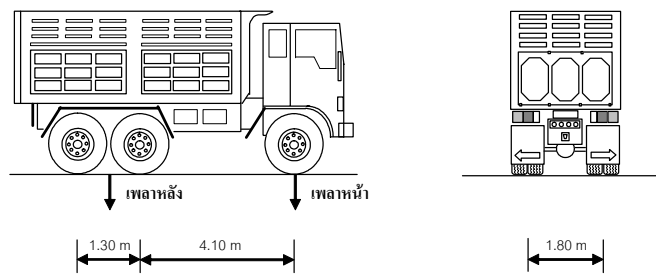
ในปี ค.ศ. 1944 AASHTO ได้พัฒนาชุดของรถบรรทุกขึ้นมาโดยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภท H และ ประเภท HS รถบรรทุกเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นโดยให้มีเพลลาจำนวน 2 เเพลลาและ 3 เเพลลา (2,3 axle) ตามลำดับ ทั้งนี้ ถูกจัดให้มีระยะห่างที่กำหนดไว้ รถบรรทุกประเภท H และ HS ยังคงเป็นเงื่อนไขและข้อกำหนดในการออกแบบ ของ AASHTO จนถึงปัจจุบัน

ชุดของน้ำหนักบรรทุกอีกชนิดหนึ่งคือ น้ำหนักบรรทุกในช่องจราจร (Lane Load) จะประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกแบบต่อเนื่องคงที่ (Uniform Load) ต่อระยะความยาว 1 ฟุต ของช่องจราจร และรวมกับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำในจุด จำนวน 1 จุด (Single Concentrated Load) แต่ถ้าเป็นกรณีของสะพานที่มีความยาวช่วงแบบต่อเนื่องก็ให้ใช้ Concentrated Load 2 จำนวน 2 จุด โดยน้ำหนักทั้งสองแบบที่รวมกันนี้จะถูกพิจารณาว่าเป็นน้ำหนักแบบแผ่กระจายอย่างทั่วถึงเหนือบริเวณที่มีความกว้างภายใน 10 ฟุต บนเส้นที่ตั้งฉาก Normal Line กับเส้นศูนย์กลางของช่องจราจรนั้น

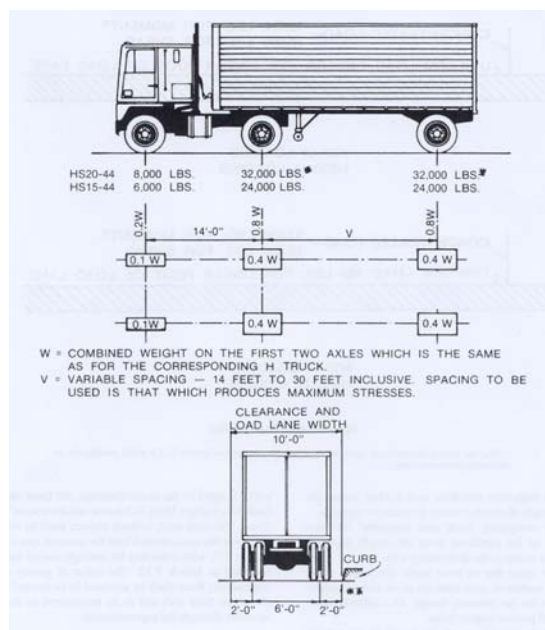
สำหรับการประเมินความแข็งแรงของสะพานนี้ นิยมจำลองสถานการณ์จริงและรถที่ใช้จริงในการพิจารณา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่าการใช้รถชนิด H20 ของ AASHTO มีค่าใกล้เคียงกับรถบรรทุกสิบล้อของไทย เพียงแต่รถสิบล้อของไทยจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกที่มากกว่า กล่าวคือ น้ำหนักบรรทุกของรถ H20 มีค่ารวมเท่ากับ 18.2 ตัน ในขณะที่น้ำหนักบรรทุกสิบล้อของไทยมีค่ารวมเท่ากับ 21 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 12-2 สำหรับการวางตำแหน่งล้อรถและการกระจายน้ำหนักของรถบรรทุก จากการทดสอบพบว่ามีการกระจายน้ำหนักและตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับรถ H20 มาก ดังแสดงในรูปที่ 12-1 ในขณะที่รถบรรทุกชนิด HS20 จะมีน้ำหนักบรรทุกโดยรวมที่สูงกว่าคือ 32.7 ตันและมีลักษณะรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 12-3 นอกจากนี้ในการศึกษา ยังพิจารณา Lane Load ดังแสดงดังรูปที่ 12-4



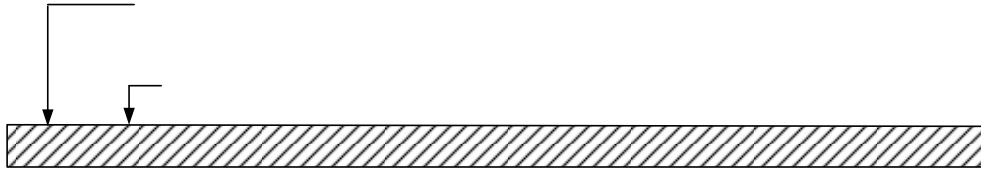
รูปที่ 12-1 ขนาดมิติและลักษณะการกระจายน้ำหนักรถบรรทุกมาตรฐาน H20



รูปที่ 12-2 ขนาดมิติและลักษณะการกระจายน้ำหนักรถบรรทุก 10 ล้อของไทย



รูปที่ 12-3 ขนาดมิติและลักษณะการกระจายน้ำหนักรถบรรทุกมาตรฐาน HS20



CONCENTRATED LOAD

รูปที่ 12-4 Lane Loading ตามมาตรฐานของ AASHTO

UNIFORM LOAD 640 L

12.2 หลักการทั่วไปของ Influence Lines

สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่มีการเคลื่อนที่ได้ วิศวกรกำหนดให้น้ำหนักบรรทุกเหล่านั้นอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด โดยทั่วไปแล้ว น้ำหนักบรรทุกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Moving Loads) เหล่านี้ จะเป็นน้ำหนักบรรทุกที่กระทำเป็นจุด (Concentrated Load) และน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจาย (Distributed Load) น้ำหนักบรรทุกแบบกระทำเป็นจุดที่เคลื่อนที่ได้นี้ ประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากล้อและน้ำหนักบรรทุกจากเพลาน้ำหนักบรรทุกจากแต่ละช่องจราจร (Lane Loading) ส่วนน้ำหนักบรรทุกแบบแผ่กระจายนั้น จะประกอบไปด้วย น้ำหนักบรรทุกจากช่องจราจร (Lane Loading)

จุดวิกฤตสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ได้ จะแตกต่างกันไปสำหรับแต่ละองค์อาคาร (Member) และจุดเชื่อมต่อ (Connections) ในบางครั้ง ก็เป็นไปได้ที่จะตรวจสอบว่า ควรจะวางน้ำหนักบรรทุกนั้นที่จุดใดเพื่อให้เกิดภาวะที่วิกฤตมากที่สุด แต่ส่วนใหญ่แล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องสร้าง Influence Line ขึ้นมา เพื่อคำนวณดูว่าควรจะวางน้ำหนักบรรทุกไว้ที่จุดใด

หลักการของ Influence Line นี้ใช้ได้กับทุกโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Plane Structures) ซึ่งรับน้ำหนักในระนาบ เช่น คาน (Beams) โครงสร้างแข็ง (Frames) และโครงข้อหมุน (Trusses) สำหรับโครงสร้างสามมิติ เช่น แผ่นเหล็ก (Plates) แผ่นโค้ง (Shells) และตะแกรงข่าย (Grids) ก็จะต้องสร้าง Influence Surfaces ขึ้นมาเพื่อค้นหาจุดวิกฤตในการรับน้ำหนัก

แม้ว่าจริงๆ แล้ว สะพานจะเป็นโครงสร้างสามมิติ (Three Dimensional Space Structures) แต่สะพานก็ถูกจำลองให้มีความง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ (Design and Analysis) จึงทำให้สามารถทำการวิเคราะห์องค์อาคารหลัก (เช่น คานขนาดใหญ่ คานชอย และคานพื้น ฯลฯ) เช่นเดียวกับโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ เราควรระลึกไว้ว่า เมื่อสะพานซึ่งเป็นรูปแบบสามมิติ (Three-Dimensional) ถูกจำลองให้เป็นรูปแบบง่ายๆ สำหรับการออกแบบ และการให้คะแนนในการประเมินในรูปแบบของโครงสร้างที่อยู่ในระนาบ (Plane Structures) นั้น องค์อาคารรองลงไปอย่างเช่น โครงยึดด้านข้าง (Lateral Bracing) จะถูกวิเคราะห์ เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ไม่ได้

การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่าย (Simplification) นี้ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งพบได้เมื่อทำการคำนวณ Stresses ในองค์อาคารและข้อต่อต่างๆ ของสะพาน การปรับปรุงรูปแบบของโครงสร้างให้เป็นรูปอย่างง่ายนี้ จะเป็นที่ยอมรับในการออกแบบสะพานสำหรับน้ำหนักบรรทุกสถิต (Static Loading) โดยปฏิบัติตามข้อกำหนดของ AASHTO ในเรื่องของ Allowable Stress หรือวิธีการใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor Design Method) แต่อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงรูปแบบโครงสร้างนี้ อาจไม่เป็นที่ยอมรับในการออกแบบและการให้คะแนนประเมินสภาพสะพานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับรอยแตกที่เกิดจากการล้า (Fatigue Cracking) ในองค์อาคารรองต่างๆ



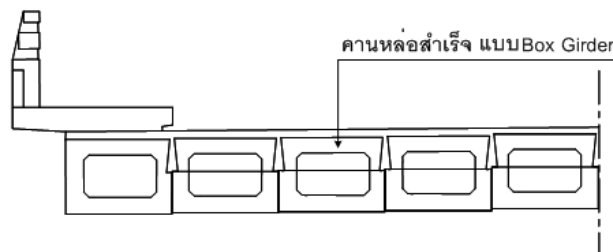
(Secondary Members) อย่างเช่น โครงค้ำยันตามขวาง (Cross Bracing) โครงค้ำยันด้านข้าง (Lateral Bracing Members) และข้อต่อ (Connections) และมักจะไม่ได้ค่าคะแนนการประเมินที่แท้จริงของสะพาน

เนื่องจากการออกแบบสะพานนั้น ได้มีทิศทางเข้าสู่การวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis) ของโครงสร้างแบบ 3 มิติของสะพานโดยการใช้คอมพิวเตอร์ วิศวกรสะพานจึงต้องมีความเข้าใจในการ Influence Line ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจใน Influence Surface เมื่อทำการวางน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักกระทบ (Impact Load) เพื่อหาผลกระทบสูงสุดต่อ Member และข้อต่อต่างๆ

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง

13.1 การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของ Box Girder

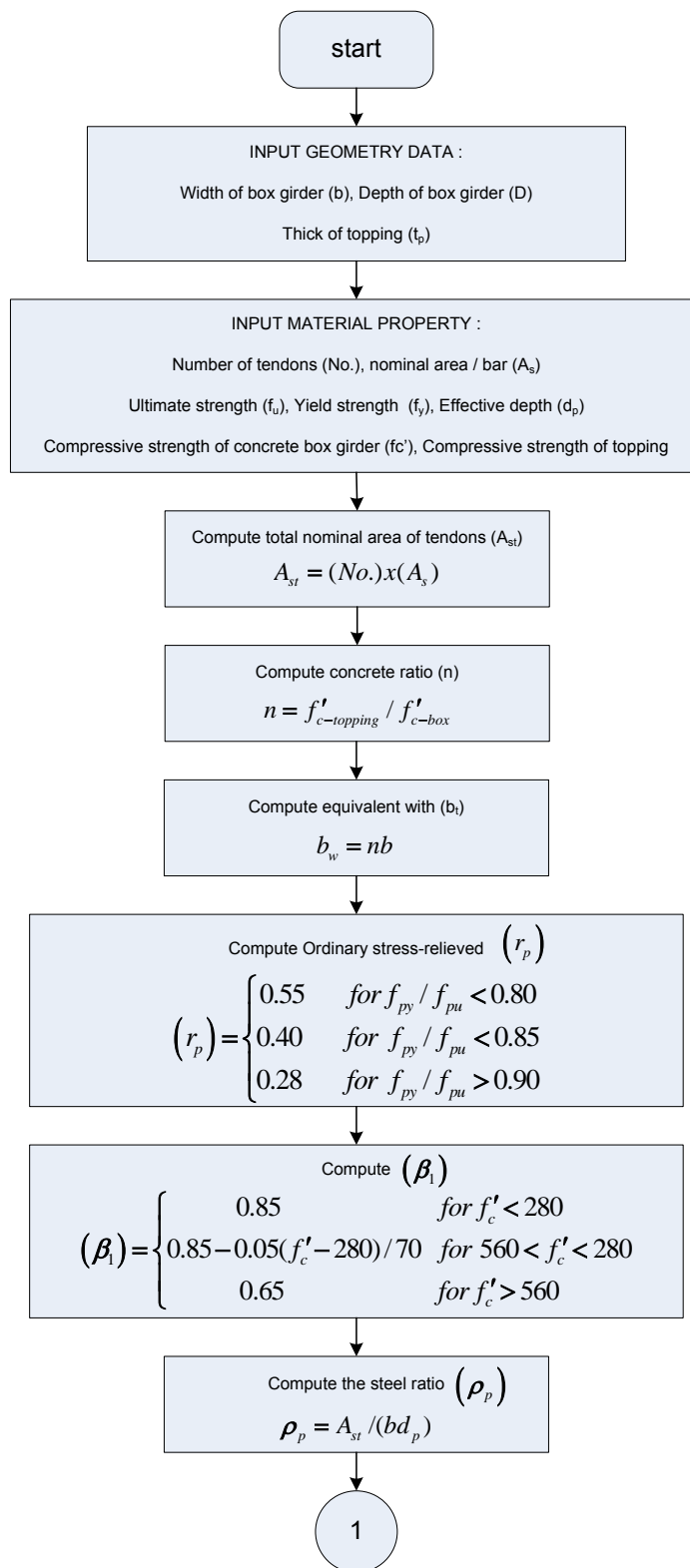
สะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องวางประชิด (PC Box Girder Bridge) จะมีลักษณะเป็นคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องวางเรียงกันบนตอม่อ และมีการเทคอนกรีตทับหน้าเพื่อสร้างความต่อเนื่อง สามารถออกแบบให้มีความยาวช่วงมากกว่าแบบแผ่นพื้นได้ โดยทั่วไปจะมีความยาวช่วงระหว่าง 10 – 20 เมตร รูปที่ 13-1 แสดงหน้าตัดของสะพาน

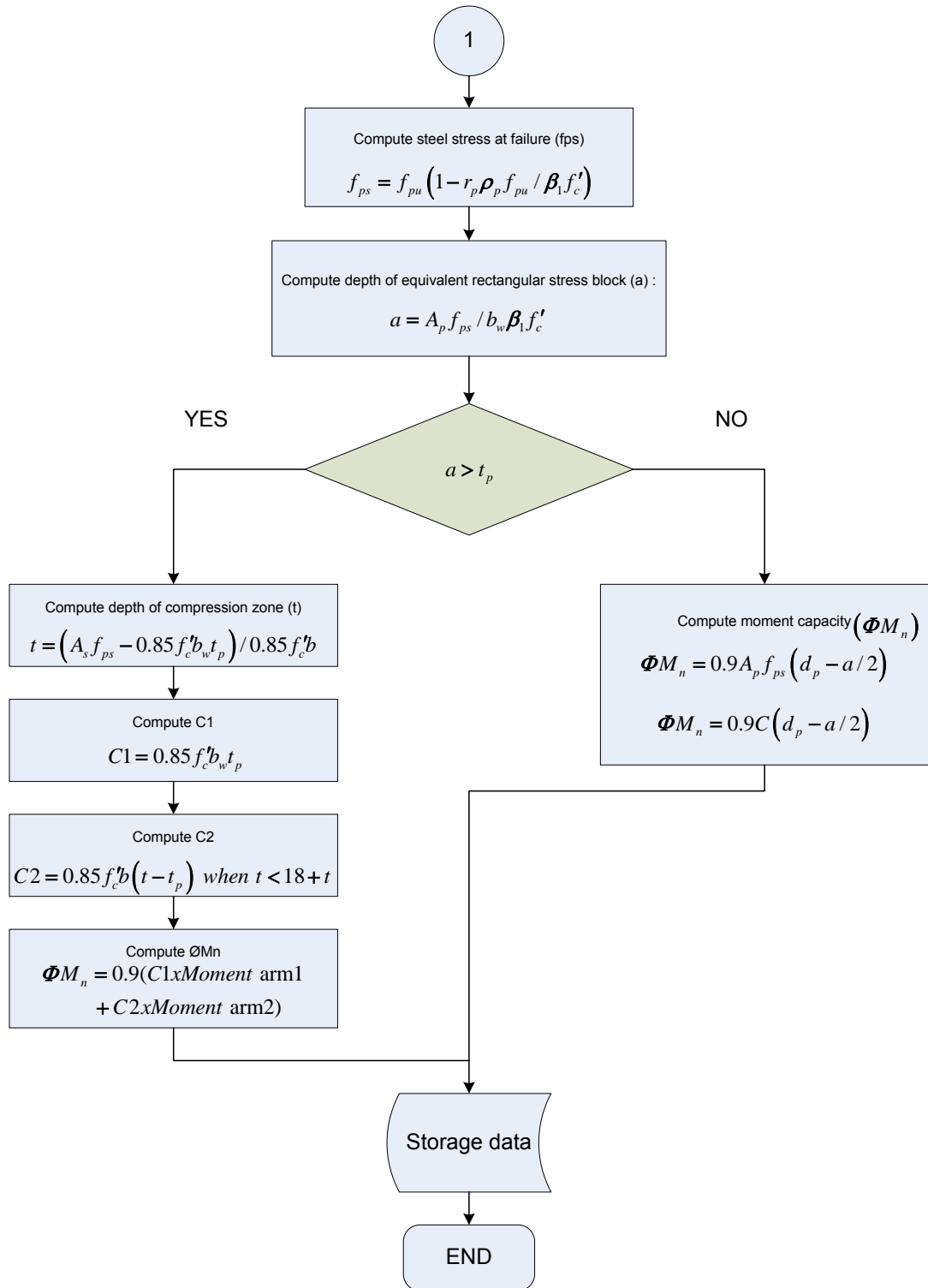


รูปที่ 13-1 รูปแสดงหน้าตัดของสะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องวางประชิด

13.1.1. การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด

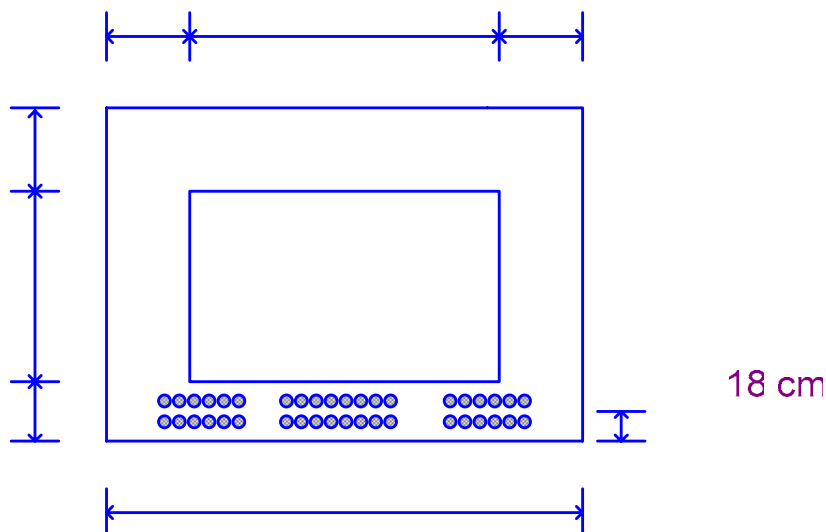
การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ต่อไปนี้







ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดของสะพานซึ่งมีโครงสร้างแบบ Box Girder (ในที่นี้พิจารณาเฉพาะ Box Girder) คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของวัสดุ

ลวดเป็นลวดเกลียวอัดแรงชนิด 7 เส้น ตาม มอก.420-2534 (Grade 1725) ขนาด \varnothing 3/8 นิ้ว ซึ่งมี

ค่ากำลังดึงประลัย (f_{pu}) = 17600 ksc.

กำลังดึงที่จุดคราก (f_{py}) = 15800 ksc.

กำลังดึงเริ่มต้น (f_{pi}) = 12300 ksc.

พื้นที่หน้าตัด (Nominal Area) ของลวด = $0.5161 \text{ cm}^2 / \text{bar}$

จำนวนของลวดอัดแรง = 40 เส้น

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Box Girder) = 360 ksc.

และความลึกประสิทธิผลของหน้าตัด = 64 cm.

12 cm

ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง (A_{st})

$$A_{st} = 40(0.5161) = 20.644 \text{ cm}^2$$

เนื่องจากเป็นคอนกรีตอัดแรงมีการยึดเหนี่ยว ดังนั้น (f_{ps})

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \right\}$$

คำนวณค่า (γ_p)

$$f_{py} / f_{pu} = 15800 / 17600 = 0.898 \text{ ดังนั้น ใช้ } \gamma_p = 0.4$$

คำนวณค่า (β_1)

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05(360 - 280) / 70 = 0.792857$$

คำนวณค่า (ρ_p)

$$\rho_p = 20.644 / (99 \times 64) = 0.003258$$

$w = w' = 0$ เพราะไม่มีเหล็กเสริมแบบธรรมดา

แทนค่าจะได้

$$f_{ps} = 17600 \left\{ 1 - \frac{0.4}{0.792857} \left[\frac{0.003258(17600)}{360} + 0 \right] \right\} = 16185.34 \text{ ksc.}$$

คำนวณค่าความลึกของบล็อกรับแรงอัด (a)

$$a = \frac{A_s f_{ps}}{0.85 b f'_c} = \frac{20.644(16185.34)}{0.85(99)(360)} = 11.02956 \text{ cm.}$$

คำนวณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด

$$M_n = c(d - a/2) \text{ หรือ } M_n = f_{ps} (d - a/2)$$

$$M_n = 20.644(16185.34)(64 - 11.02956/2) = 19541675.86 \text{ kg.-cm}$$

$$M_n = 0.85(360)(99)(11.02956)(64 - 11.02956/2) = 19541636.7 \text{ kg.-cm}$$

เพราะฉะนั้น $M_n = 195416 \text{ kg.-m.}$

ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้

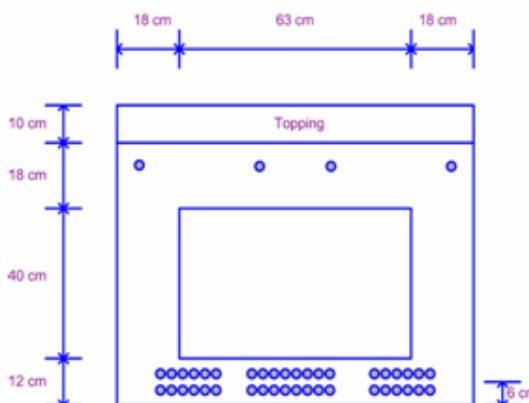


JOB #
BY #
DATE #
SHEET #

Moment Capacity of Box Girder

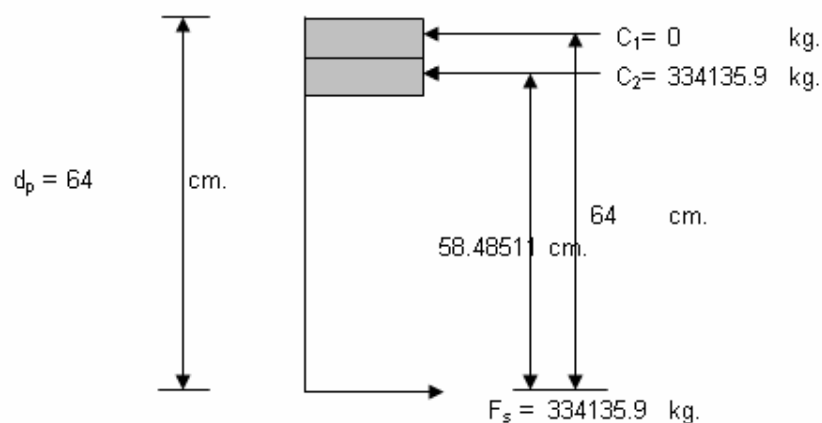
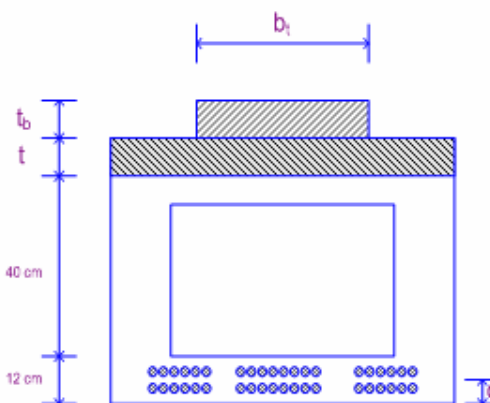
Input Data

width of box girder (b)	99 cm.
depth of box girder (D)	70 cm.
thick of topping (t_p)	0 cm.
number of tendon (N_o)	40 bar
nomial area / bar (A_s)	0.5161 cm ²
ultimate strength (f_u)	17600 ksc.
yield stress (f_y)	15800 ksc.
fc' (box girder)	360 ksc.
fc' (topping)	210 ksc.
Effective depth (d_p)	64 cm.



Computation

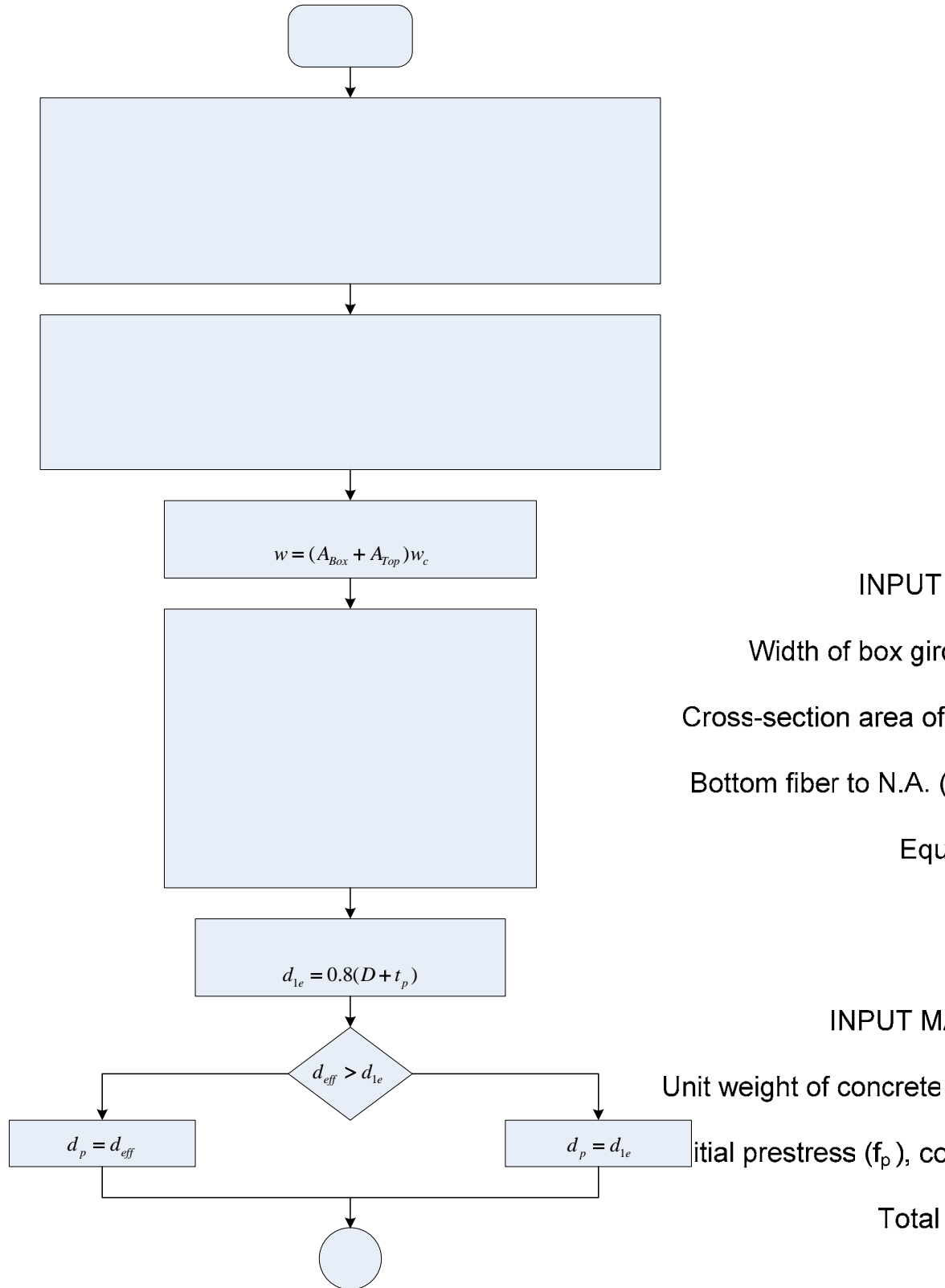
total area (A_{st})	20.644 cm ²
concrete ratio (n)	0.583333
equivalent width (b_t)	99 cm.
f_{py}/f_{pu}	0.4
β_1	0.792857
steel ratio (ρ_p)	0.003258
steel at failure (f_{ps})	16185.62 ksc.
stress block (a)	11.02977 cm.
compression zone (t)	11.02977 cm.
compression force (C_1)	0 kg.
compression force (C_2)	334135.9 kg.

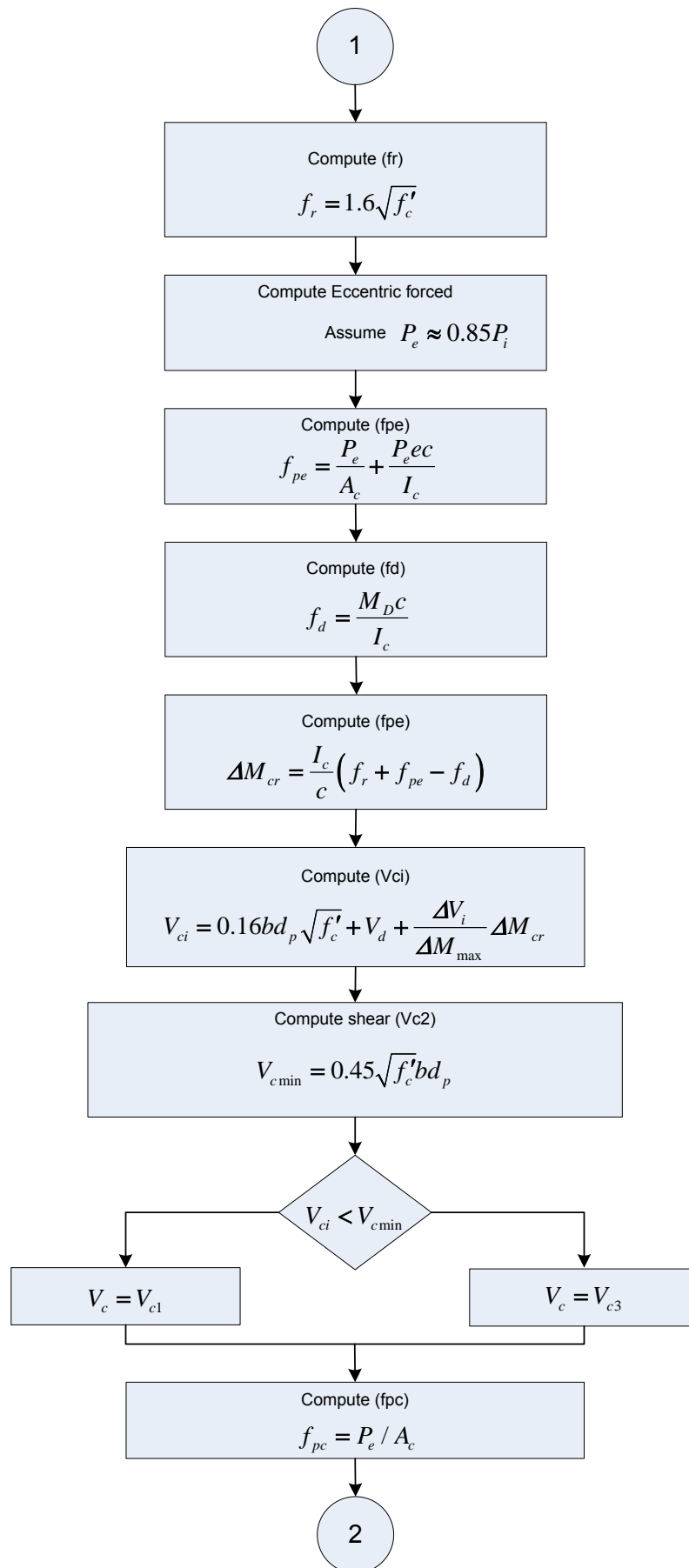


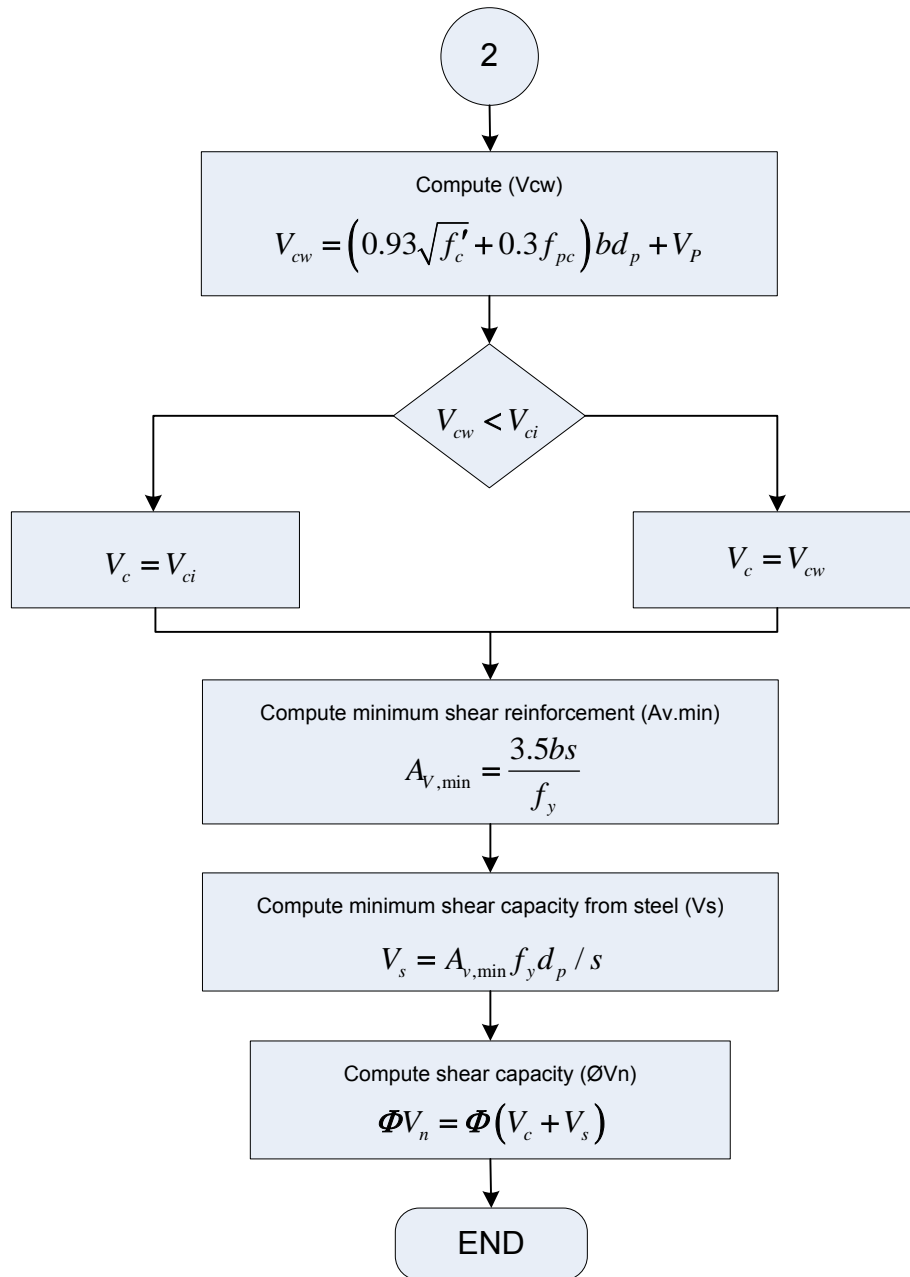
Moment Capacity is 195419.7672 kg.-m.

13.1.2. การคำนวณหาความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด

มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ดังนี้

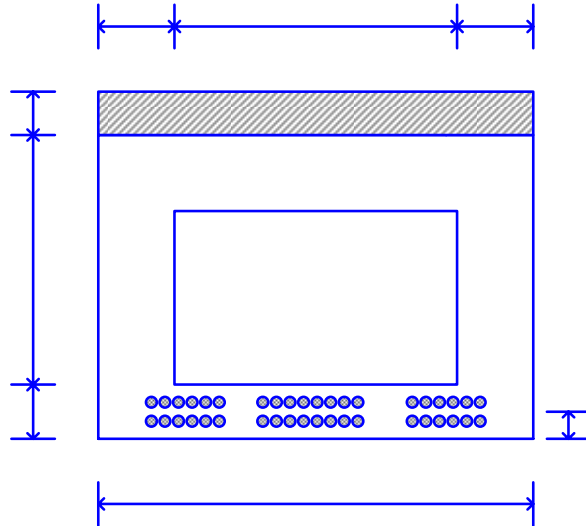








ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดสะพานซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ Box Girder คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



18

คุณสมบัติของ Box Girder	10
พื้นที่หน้าตัด (A_c)	= 4410 cm ²
ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบนอกสุดของพื้นที่รับแรงดึง	= 36.71 cm.
ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบนอกสุดของพื้นที่รับแรงอัด	= 33.29 cm.
โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด	= 2.458x10 ⁶ cm ⁴
ลวดอัดแรงชนิดลวดเกลียว 7 เส้น มอก 420-2534 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว	40 cm
กำลังดึงเริ่มต้น (f_{pi})	= 12300 ksc.
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Box Girder)	= 360 ksc.
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)	= 210 ksc.
และค่ามอดูลประสิทธิภาพของหน้าตัด	= 64 cm.
พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง	= 20.644 cm ²
ระยะเยื้องศูนย์กลางของลวดอัดแรง	= 35.14 cm.

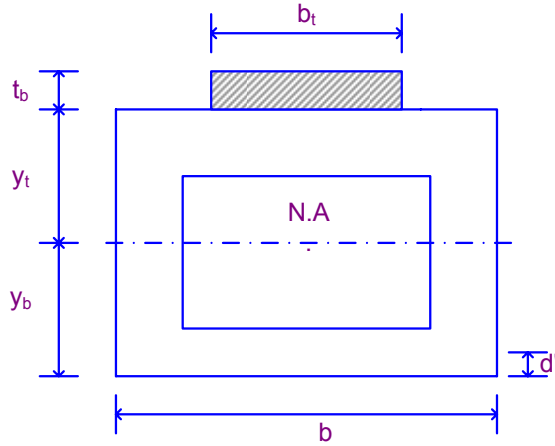
ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณอัตราส่วนของคอนกรีต Box Girder ต่อ Topping (n)

$$n = \frac{f'_{Topping}}{f'_{Box}} = \frac{210}{360} = 0.5833$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_w)

$$b_w = nb = 0.583(99) = 57.75 \text{ cm.}$$



คำนวณจุดศูนย์กลางของหน้าตัดแปลง (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{4410(36.71) + 57.75(10)(75)}{4410 + 57.75(10)}$$

$$\bar{y} = 41.14 \text{ cm.}$$

คำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแปลง (I_{new})

$$I_{new} = 2.458 \times 10^6 + 4410(41.14 - 36.71)^2 + \frac{57.75(10)^3}{12} + 57.75(10)(75 - 41.14)^2$$

$$I_{new} \cong 3211462 \text{ cm}^4$$

คำนวณน้ำหนักของ Box Girder

$$w_G = 0.441(2400) = 1058 \text{ kg/m.}$$

คำนวณน้ำหนักของ Topping

$$w_t = 0.099(2400) = 238 \text{ kg/m.}$$

ในที่นี้ แสดงการคำนวณแรงเฉือนเฉพาะที่ระยะ $x = 0.68 \text{ m}$. ห่างจาก Support

$$\text{Shear from DL } (V_d) = w_d \left(\frac{L}{2} - x \right) = 1296 \left(\frac{20}{2} - 0.68 \right) = 12079 \text{ kg.}$$

$$\text{Shear from LL } (\Delta V_i) = 9027 \text{ kg}$$

$$\text{Moment from DL } (M_d) = \frac{w_d x}{2} (L - x) = \frac{1296(0.68)}{2} (20 - 0.68) = 8513 \text{ kg.-m.}$$

$$\text{Moment from LL } (\Delta M_{\max}) = 13727 \text{ kg.-m.}$$

$$f_r = 1.6\sqrt{f'_c} = 1.6\sqrt{360} = 30.358 \text{ ksc.}$$

$$\text{Assume } P_e = 0.85P_i: \quad P_e = 0.85(20.644)(12300) = 215833 \text{ kg.}$$

$$f_{pe} = \frac{P_e}{A} + \frac{My}{I_c} = \frac{215833}{4410} + \frac{215833(41.14 - 6)(41.14)}{3211462} = 146.10 \text{ ksc.}$$



$$f_d = \frac{M_G c}{I_{new}} = \frac{8513(100)(41.14)}{3211462} = 10.906 \text{ ksc.}$$

$$\Delta M_{cr} = \frac{I_{new}}{\bar{y}} (f_r + f_{pe} - f_d) = \frac{3211462}{41.14} (30.358 + 146.1 - 10.906)$$

$$\Delta M_{cr} = 12923285 \text{ kg.-cm.}$$

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c} b_w d + V_d + \frac{\Delta V_i}{\Delta M_{max}} \Delta M_{cr} = 0.16\sqrt{360} (36)(64) + 12079 + \frac{9027(129232)}{13727}$$

$$V_{ci} = 104057.6 \text{ kg.}$$

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A} = \frac{215833}{4410} = 48.94 \text{ ksc.}$$

$$V_p = P_e y' = 0 \text{ เพราะ Slope ของ tendon มีค่าเป็น 0}$$

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f'_c} + 0.3f_{pc}) b_w d + V_p = (0.93\sqrt{360} + 0.3(48.942))(36)(74)$$

$$V_{cw} = 86121.86 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้นความสามารถในการรับแรงเฉือนที่ระยะ $x = 0.68 \text{ m.}$ คือ $V_c = 86122 \text{ kg.}$

ปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุดที่ต้องการ

$$A_{vmin} = 3.5b(spacing) / f_y = 3.5(36)(12.5) / 3000 = 0.525$$

ความสามารถในการรับแรงเฉือนจากเหล็กเสริม (V_s)

$$V_s = A_v f_y d / spacing = 0.525(3000)(74) / 12.5 = 9324 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้น $V = 86122 + 9324 = 95446 \text{ kg.}$

ซึ่งสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้



JOB #
BY #
DATE #
SHEET #

Shear Capacity of Box Girder

Input Data

width of box girder (b)	99	cm.
depth of box girder (D)	70	cm.
Cross-Section area (A_c)	4410	cm ²
top fiber to N.A. (y_t)	33.29	cm.
bottom fiber to N.A. (y_b)	36.71	cm.
moment inertia (I_b)	2.46E+06	cm ⁴
Equivalent width (b_t)	57.75	cm.
thick of topping (t_p)	10	cm.
unit weigth of con. (w_c)	2400	kg./m ³
Effective depth (d_p)	74	cm.
yield stress of reinf. (f_y)	3000	ksc.
initial prestress (f_{pi})	12300	ksc.
fc'	360	ksc.
tatal area of tendon	20.644	cm ²
span	2000	cm

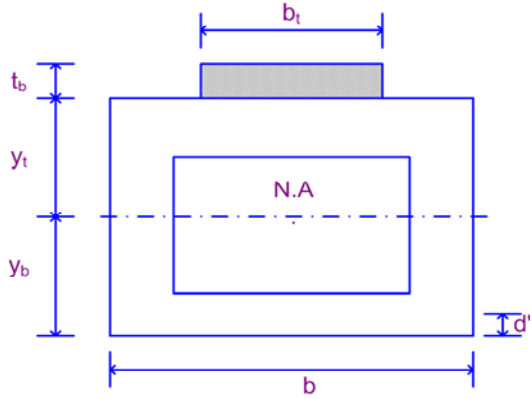
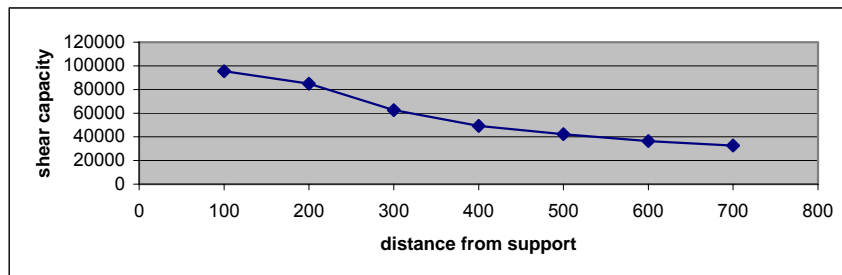


Table for computation

	100	200	300	400	500	600	700
distance	100	200	300	400	500	600	700
eccentricity	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14	35.14
shear from LL (V_L)	11532	10723	10116	9308	8701	7893	7286
moment from DL (M_L)	1072388	2144776	2934123	3723469	4229774	4736079	5026443
shear reinf. Spacing	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
ΔM_{cr}	12542902	11441302	10469302	9626901.53	8914102	8330902	7877302
V_{ci}	154632.31	75657.15	53254.43	39928.8505	32904.39	27155.35	23393.75
V_{cw}	86121.866	86121.87	86121.87	86121.8658	86121.87	86121.87	86121.87
V_s	9324	9324	9324	9324	9324	9324	9324
Shear Capacity	95445.866	84981.15	62578.43	49252.8505	42228.39	36479.35	32717.75





13.1.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม SAP2000 ซึ่งคุณสมบัติของโครงสร้างและวัสดุดังนี้

คุณสมบัติของวัสดุ

คอนกรีต (Concrete)

-	Isotropic Material		
-	Mass Per Unit Volume	=	$2.450 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$
-	Weight Per Unit Volume	=	$2.450 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
-	Modulus of Elasticity	=	$2.53 \times 10^5 \text{ kg/cm}^3$
-	Poisson's Ratio	=	0.20
-	Coefficient of thermal Expansion	=	$9.9 \times 10^{-6} \text{ } \epsilon/\text{celsius}$
-	Shear Modulus	=	105460 kg/cm^2
-	Specified concrete compression strength	=	360 kg/cm^2
-	Bending Reinforcement, Yield stress	=	4000 kg/cm^2
-	Shear Reinforcement, Yield Stress	=	2800 kg/cm^2

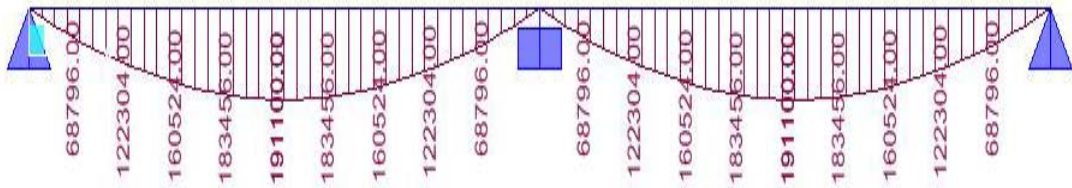
คุณสมบัติทางกายภาพของโครงสร้าง

-	ความกว้าง (width)	=	15 m.
-	ความยาวช่วงพาด (Span)	=	20 m.
-	เงื่อนไขจุดรองรับแบบยึดหมุนยึดหมุน		

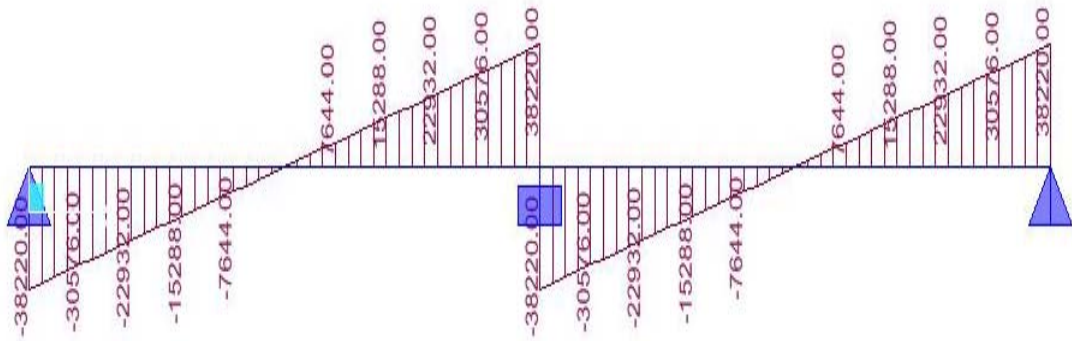
คุณสมบัติของ Box Girder

-	ความสูง	=	70 cm.
-	ความกว้างต่อ Box	=	99 cm.

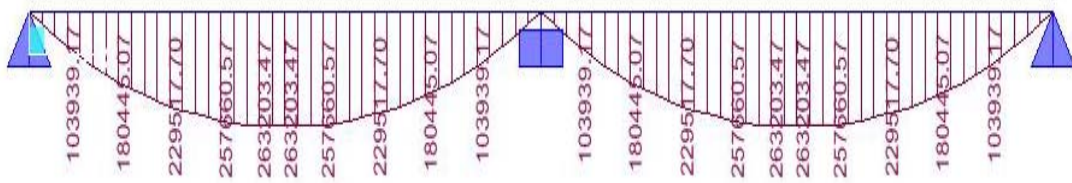
ผลการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ดัดและค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้าง แสดงได้ดังรูป (ผลการวิเคราะห์ต่อความกว้าง 3 เมตรสำหรับแบบจำลอง)



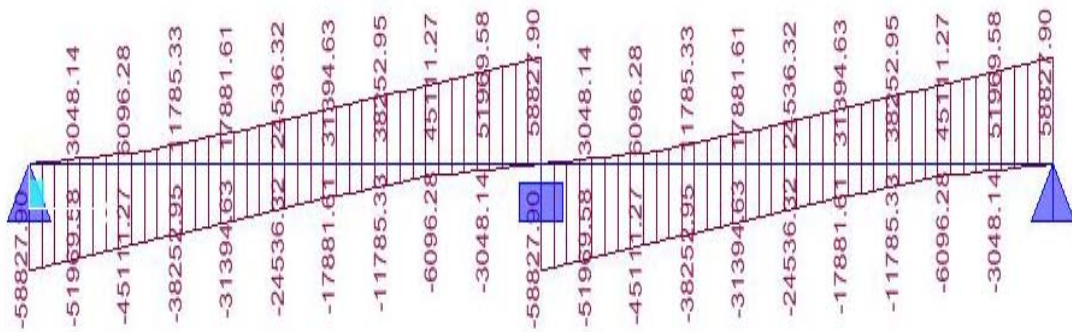
รูปที่ 13-2 แผนภาพของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (M_{DL}) kg.-m.



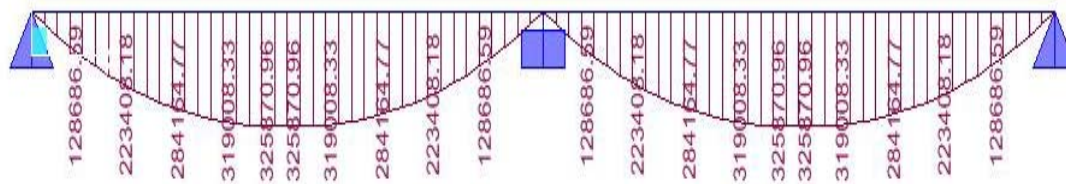
รูปที่ 13-3 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (V_{DL}) kg.



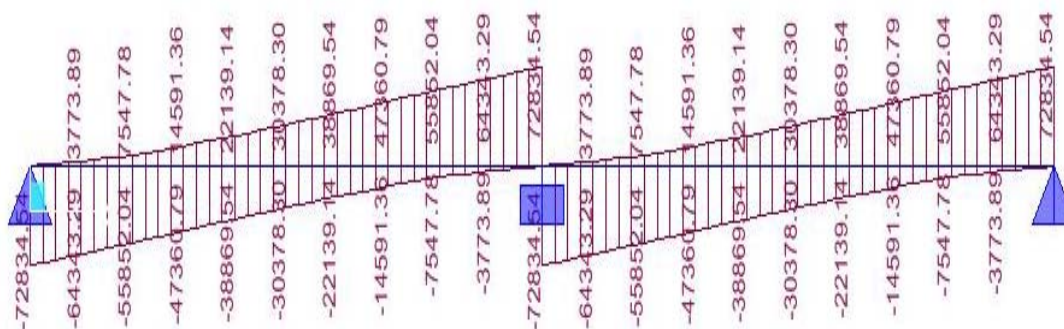
รูปที่ 13-4 แผนภาพโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (M_{LL21}) kg.-m.



รูปที่ 13-5 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (V_{LL21}) kg.



รูปที่ 13-6 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (M_{LL26}) kg.-m.



รูปที่ 13-7 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (V_{LL26}) kg.

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้นเราสามารถนำไปใช้หาค่า Theoretical Moment Rating Factor ของสะพานแบบ Box Girder ที่มีความยาวช่วงพาด 20 เมตร และความกว้าง 15 เมตร โดยสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 13-1 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

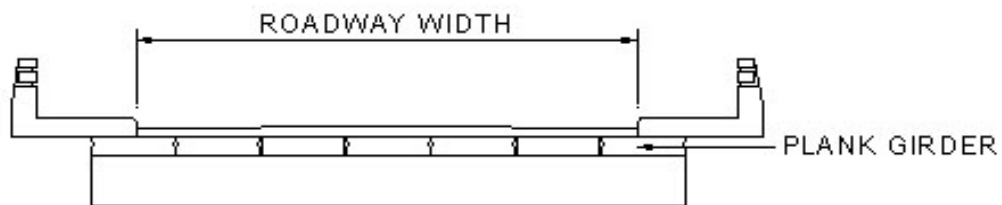
	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	1.18	0.96
Operating	1.54	1.24

ตารางที่ 13-2 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor (At critical section)

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	3.69	2.98
Operating	4.79	3.88

13.2 การคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของ Plank

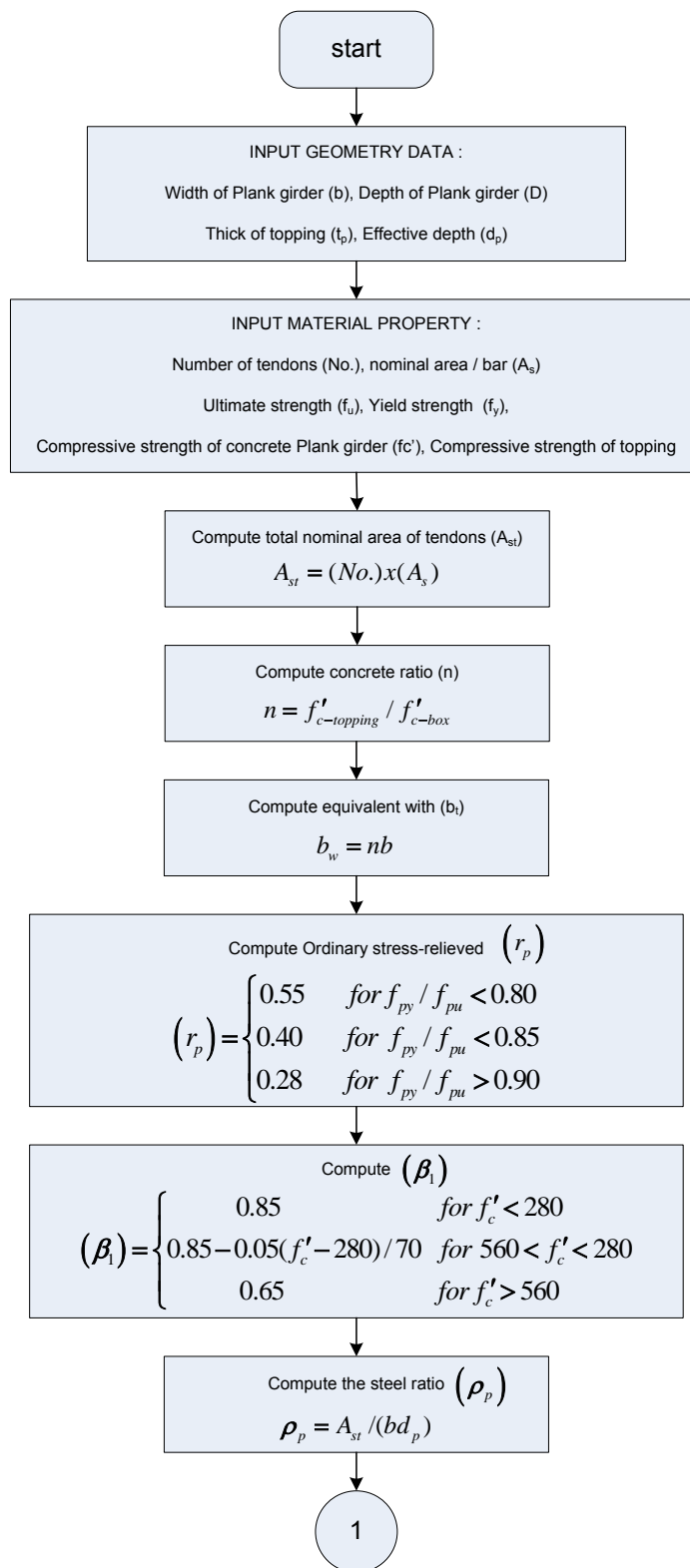
PC Plank Girder Bridge เป็นสะพานที่มีการวางแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงระหว่างตอม่อ และมีการเทคอนกรีตทับหน้าเพื่อทำให้หน้าตัดมีความต่อเนื่อง มีความยาวช่วงสั้น และใช้ข้ามคลองขนาดเล็กคล้ายสะพานแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ ความยาวช่วงระหว่าง 5-10 เมตร สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วและไม่เปลืองไม้แบบ รูปที่ 13-8 แสดงหน้าตัดของสะพานประเภทนี้

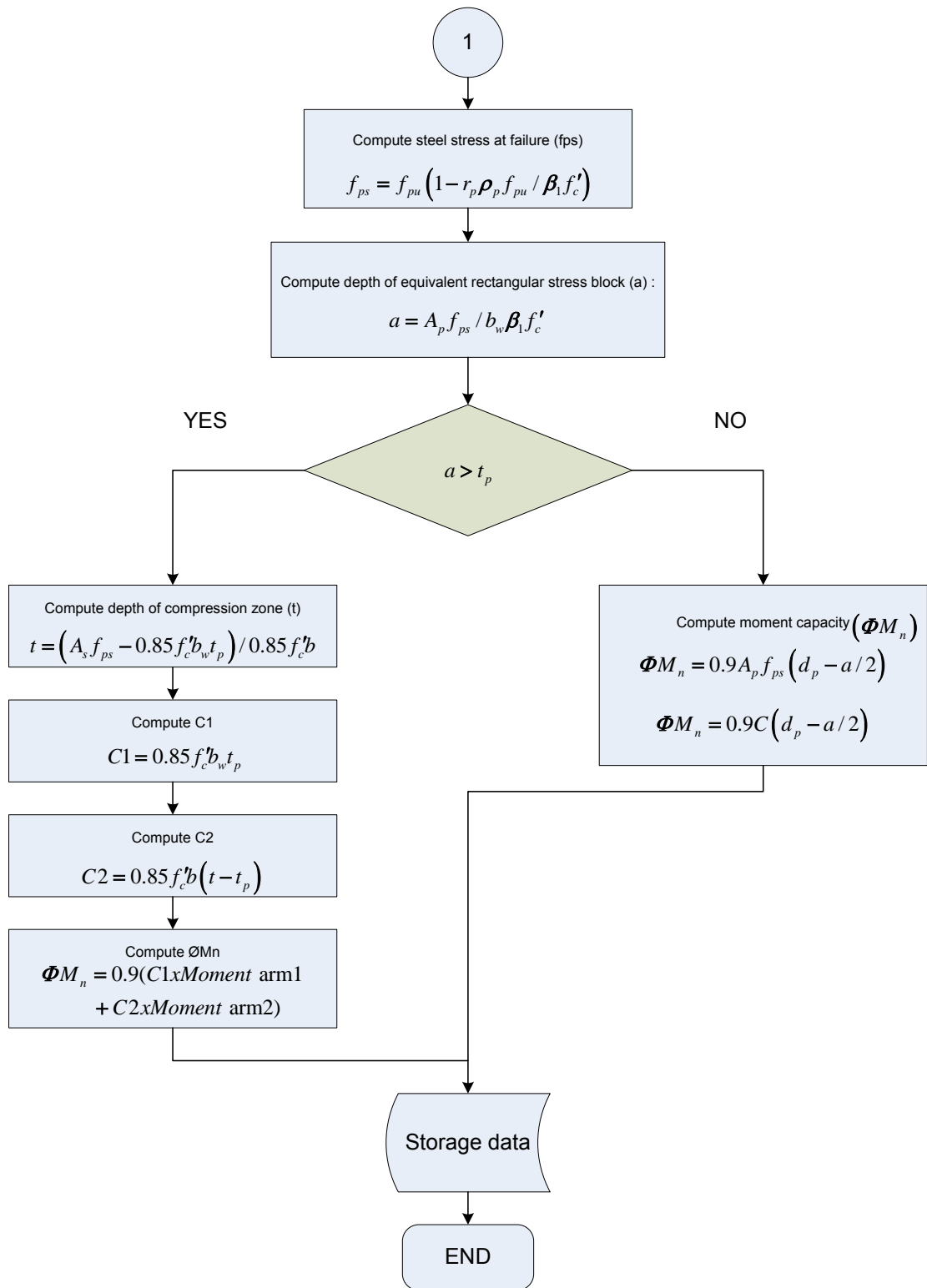


รูปที่ 13-8 รูปแสดงหน้าตัดของสะพานแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

13.2.1. การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด

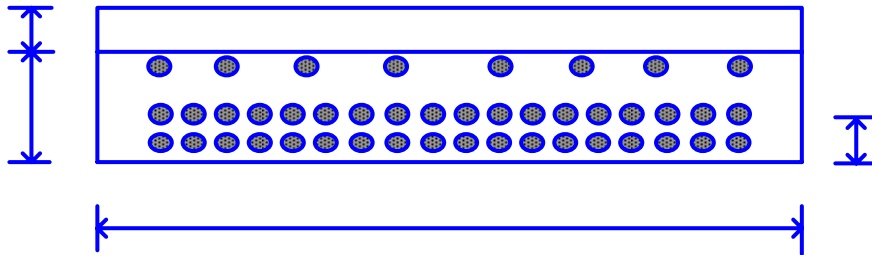
การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ต่อไปนี้







ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดของสะพานซึ่งมีโครงสร้างแบบ Plank Girder ที่ใช้สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วงพาด 10 เมตร คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของวัสดุ

ลวดเป็นลวดเกลียวอัดแรงชนิด 7 เส้น **10** ตาม มอก.420-2534 (Grade 1725) ขนาด $\varnothing 3/8$ นิ้ว ซึ่งมี

ค่ากำลังดึงประลัย (f_{pu}) = 17574 ksc.

กำลังดึงที่จุดคราก (f_{py}) **35** = 15816 ksc.

กำลังดึงเริ่มต้น (f_{pi}) = 12300 ksc.

พื้นที่หน้าตัด (Nominal Area) ของลวด = $0.5161 \text{ cm}^2 / \text{bar}$

จำนวนของลวดอัดแรง = 40 เส้น

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Box Girder) = 420 ksc.

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping) = 300 ksc

และความลึกประสิทธิผลของหน้าตัด = 36 cm.

ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง (A_{st})

$$A_{st} = 42(0.5161) = 21.6762 \text{ cm}^2$$

คำนวณอัตราส่วนของกำลังอัดคอนกรีต (n)

$$n = 300 / 420 = 0.714286$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_t)

$$b_t = nb = 0.714286(99) = 70.71429 \text{ cm.}$$

เนื่องจากเป็นคอนกรีตอัดแรงมีการยึดเหนี่ยว ดังนั้น (f_{ps})

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \right\}$$

คำนวณค่า (γ_p)

$$f_{py} / f_{pu} = 15816 / 17574 = 0.899 \text{ ดังนั้น ใช้ } \gamma_p = 0.4$$

คำนวณค่า (β_1)

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05(420 - 280) / 70 = 0.75$$

คำนวณค่า (ρ_p)

$$\rho_p = 21.6762 / (99 \times 36) = 0.006082$$

$w = w' = 0$ เพราะไม่มีเหล็กเสริมแบบธรรมดา

แทนค่าจะได้

$$f_{ps} = 17574 \left\{ 1 - \frac{0.4}{0.75} \left[\frac{0.006082(17574)}{420} + 0 \right] \right\} = 15188.73 \text{ ksc.}$$

คำนวณค่าความลึกของปลีกรับแรงอัด (a)

$$a = \frac{A_{st} f_{ps}}{0.85 b f'_c} = \frac{21.6762(15188.73)}{0.85(70.714)(420)} = 13.04161 \text{ cm.} > t_p$$

คำนวณ (t) ใหม่

$$t = (A_{st} f_{ps} - 0.85 f'_c b t_p) / 0.85 f'_c b$$

$$= [21.6762(15188.732) - 0.85(420)(70.714)(10)] / 0.85(420)(99) = 2.17256 \text{ cm.}$$

คำนวณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด

$$M_n = C_1 d_1 + C_2 d_2$$

$$M_n = 0.85 f'_c b t_p (d - t_p / 2) + 0.85 f'_c b t (d - 10 - t / 2)$$

$$= 0.85(420)(70.714)(10)(36 - 10 / 2) + 0.85(420)(99)(2.17256)(36 - 10 - 2.17256 / 2)$$

$$= 9738913 \text{ kg.-cm}$$

เพราะฉะนั้น $M_n = 97389.13 \text{ kg.-m.}$

ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้

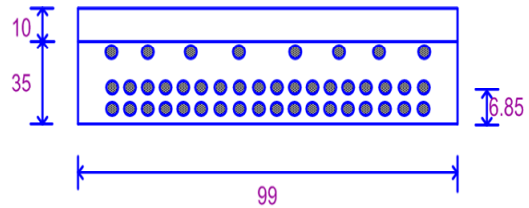


JOB #
BY #
DATE #
SHEET #

Moment Capacity of Plank Girder

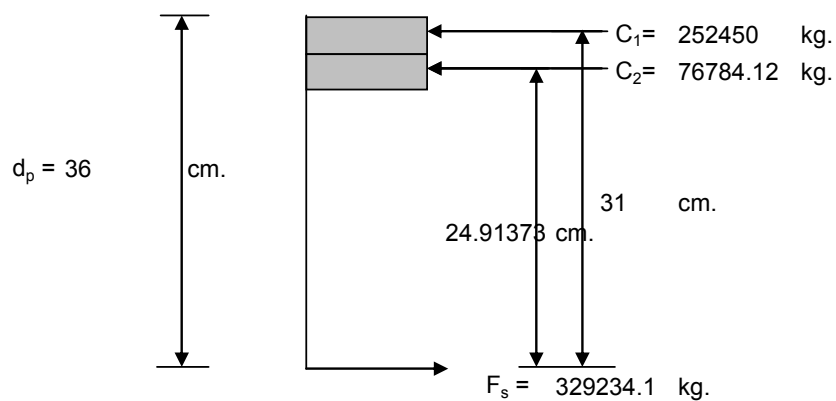
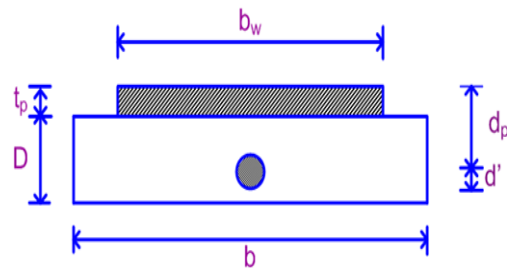
Input Data

width of Plank girder (b)	99	cm.
depth of Plank girder (D)	35	cm.
thick of topping (t_p)	10	cm.
number of tendon (No)	42	bar
nomial area / bar (A_s)	0.5161	cm ²
ultimate strength (f_u)	17574	ksc.
yield stress (f_y)	15816	ksc.
fc' (box girder)	420	ksc.
fc' (topping)	300	ksc.
Effective depth (d_p)	36	cm.



Computation

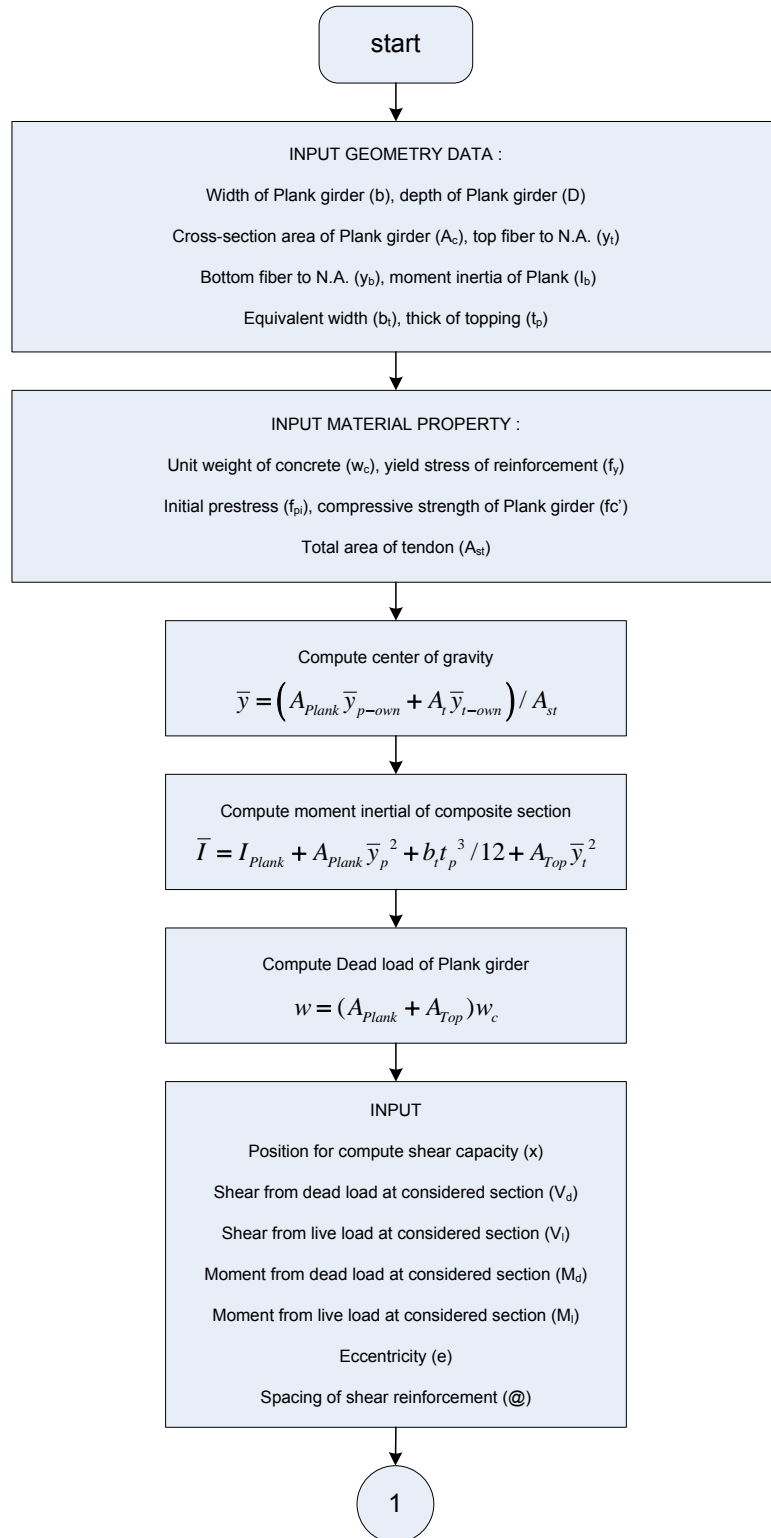
total area (A_{st})	21.6762	cm ²
concrete ratio (n)	0.714286	
equivalent with (b_t)	70.71429	cm.
f_{py}/f_{pu}	0.4	
β_1	0.75	
steel ratio (ρ_p)	0.006082	
steel at failure (f_{ps})	15188.74	ksc.
stress block (a)	13.04156	cm.
compression zone (t)	2.172541	cm.
compression force (C_1)	252450	kg.
compression force (C_2)	76784.12	kg.

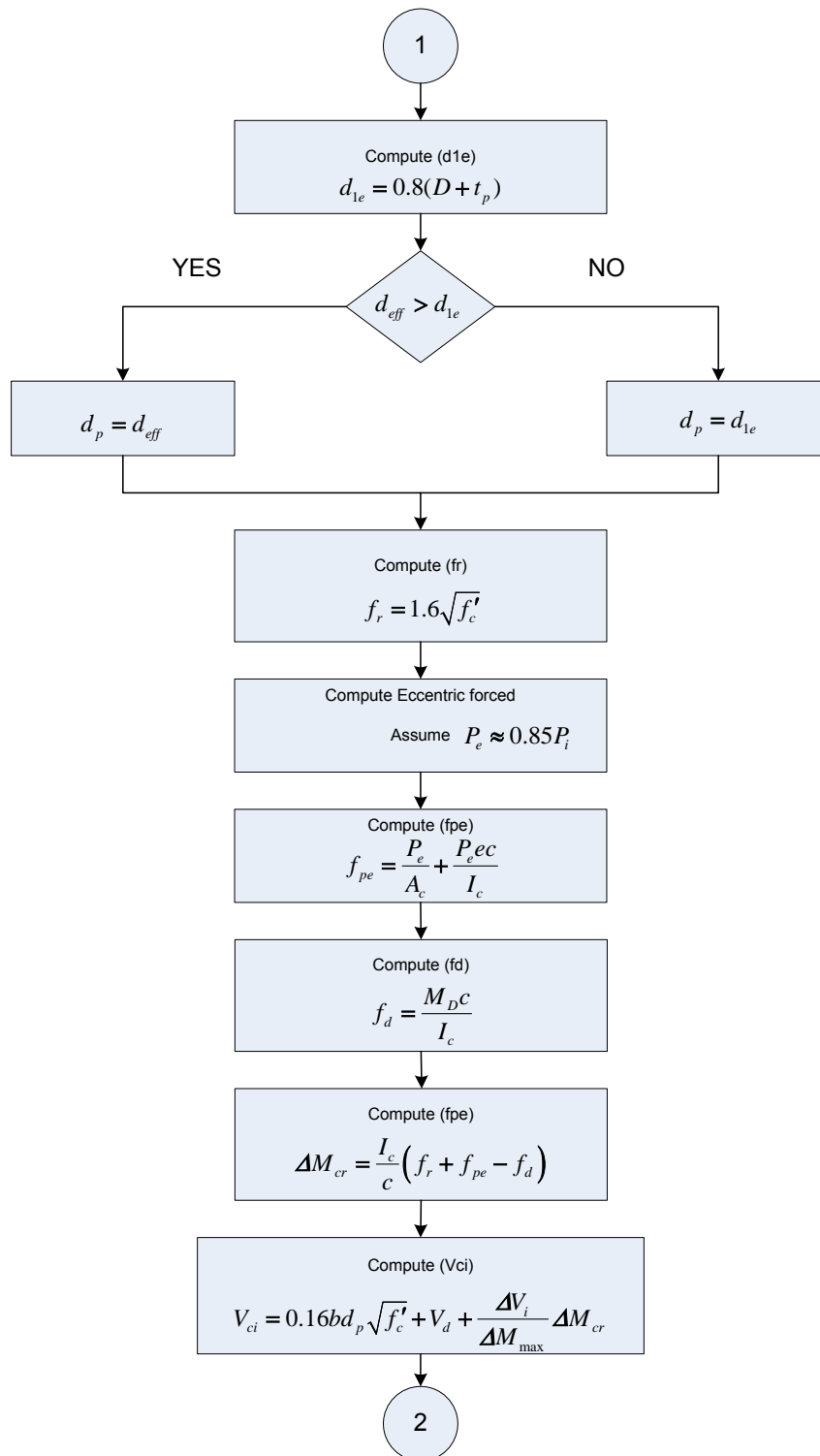


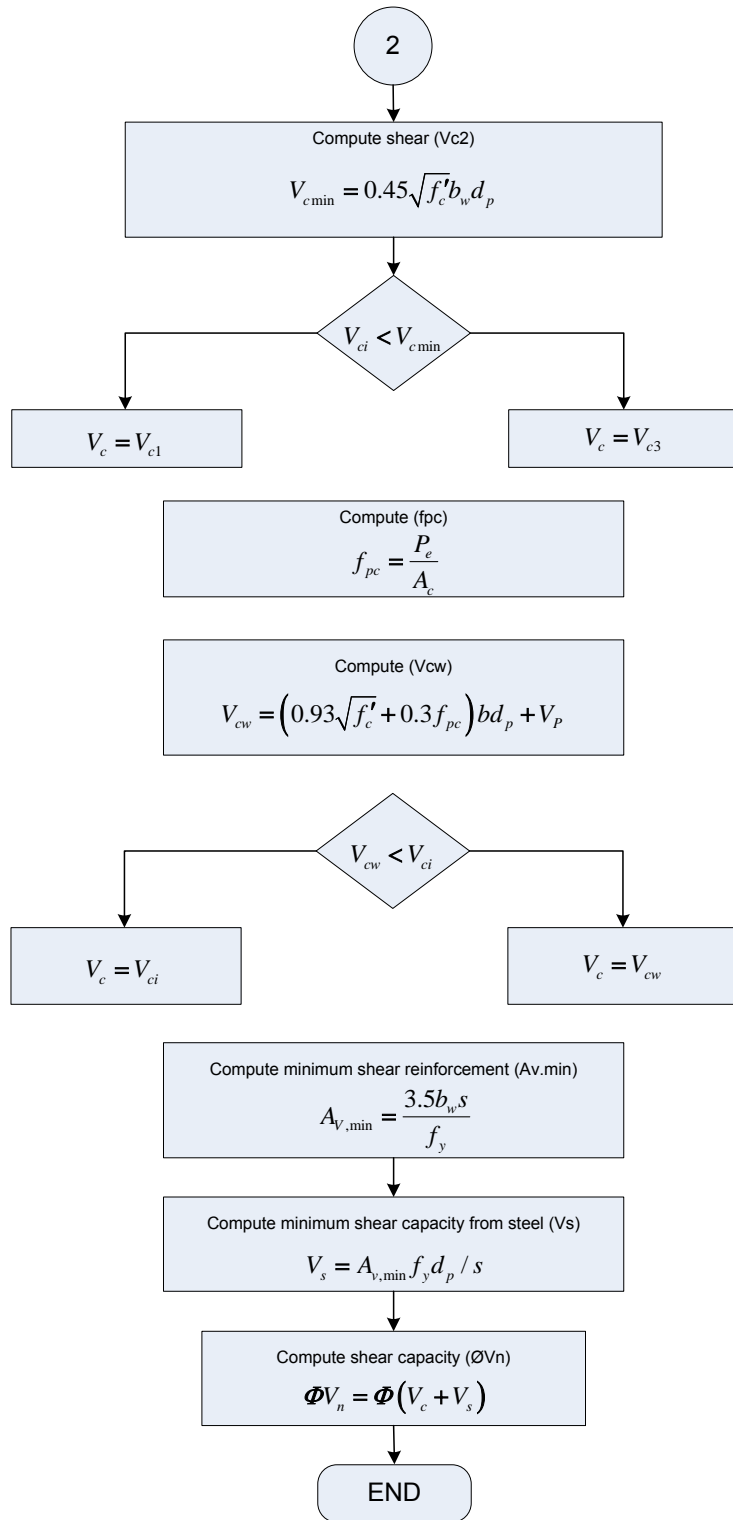
Moment Capacity is 97389.28723 kg.-m.

13.2.2 การคำนวณหาความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด

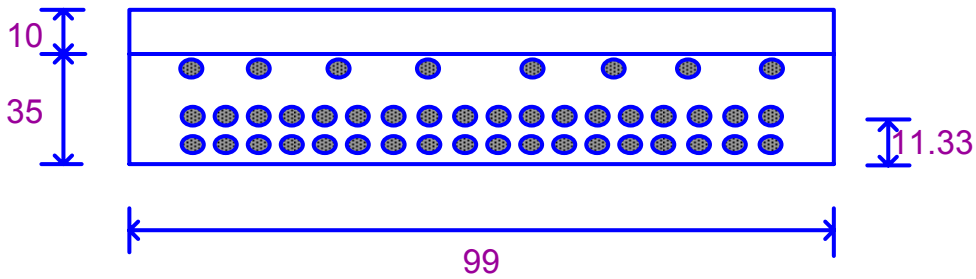
มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ดังนี้







ตัวอย่างที่ 4 การคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดสะพานซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ Plank Girder คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของ Plank Girder

พื้นที่หน้าตัด (A_c) = 3465 cm²

ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบนอกสุดของพื้นที่รับแรงดึง = 17.5 cm.

ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบนอกสุดของพื้นที่รับแรงอัด = 17.5 cm.

โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด = 3.53718x10⁵ cm⁴

ลวดอัดแรงชนิดลวดเกลียว 7 เส้น มอก 420-2534 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว

กำลังดึงเริ่มต้น (f_{pi}) = 12265 ksc.

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Plank Girder) = 420 ksc.

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping) = 300 ksc.

และความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัด = 36.00 cm.

พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง = 21.6762 cm²

ระยะเยื้องศูนย์กลางของลวดอัดแรง = 10 cm.

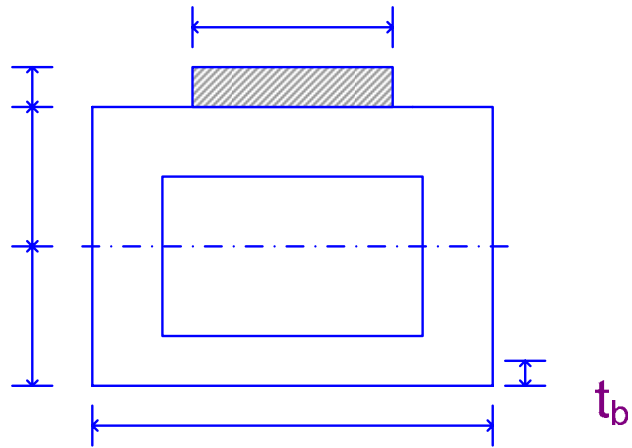
ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณอัตราส่วนของคอนกรีต Plank Girder ต่อ Topping (n)

$$n = \frac{f'_{Topping}}{f'_{Plank}} = \frac{300}{420} = 0.714286$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_w)

$$b_w = nb = 0.714286(99) = 70.7143 \text{ cm.}$$



คำนวณจุดศูนย์กลางของหน้าตัดแปลง (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{3465(17.5) + 70.714(10)(35+5)}{3465 + 70.714(10)} = 21.31355 \text{ cm.}$$

y_t

คำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแปลง (I_{new})

$$I_{new} = 3.53178 \times 10^5 + 3465(21.313 - 17.5)^2 + \frac{70.714(10)^3}{12} + 70.714(10)(35 + 5 - 21.313)^2$$

$$I_{new} \cong 656384 \text{ cm}^4$$

y_b

คำนวณน้ำหนักของ Plank Girder

$$w_G = 0.3465(2400) = 831.6 \text{ kg/m.}$$

คำนวณน้ำหนักของ Topping

$$w_t = 0.099(2400) = 237.6 \text{ kg/m.}$$

$$w_d = 831.6 + 237.6 = 1069.2 \text{ kg/m.}$$

ในที่นี้ แสดงการคำนวณแรงเฉือนเฉพาะที่ระยะ $x = 0.36 \text{ m}$. ห่างจาก Support

$$\text{Shear from DL } (V_d) = w_d \left(\frac{L}{2} - x \right) = 1069.2 \left(\frac{10}{2} - 0.36 \right) = 4961.9 \text{ kg.}$$

$$\text{Shear from LL } (\Delta V_i) = 7812 \text{ kg}$$

$$\text{Moment from DL } (M_d) = \frac{w_d x}{2} (L - x) = \frac{1069.2(0.36)}{2} (10 - 0.36) = 1855.28 \text{ kg.-m.}$$

$$\text{Moment from LL } (\Delta M_{max}) = 7035 \text{ kg.-m.}$$

คำนวณ

$$f_r = 1.6\sqrt{f'_c} = 1.6\sqrt{420} = 32.7902 \text{ ksc.}$$

$$\text{Assume } P_e = 0.85P_i$$

$$P_e = 0.85(21.6762)(12265) = 225979.8 \text{ kg.}$$



$$f_{pe} = \frac{P_e}{A} + \frac{My}{I_c} = \frac{225979}{3465} + \frac{225979(10)(21.313)}{656384}$$

$$f_{pe} = 138.59 \text{ ksc.}$$

$$f_d = \frac{M_d c}{I_{new}} = \frac{1855.28(100)(21.313)}{656384} = 6.024 \text{ ksc.}$$

$$\Delta M_{cr} = \frac{I_{new}}{\bar{y}} (f_r + f_{pe} - f_d) = \frac{656384}{21.313} (32.7902 + 138.59 - 6.024)$$

$$\Delta M_{cr} = 5092533 \text{ kg.-cm.}$$

$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c} b_w d + V_d + \frac{\Delta V_i}{\Delta M_{max}} \Delta M_{cr} = 0.16\sqrt{420} (70.714)(36) + 4961.9 + \frac{7812(50925)}{7035}$$

$$V_{ci} = 69860 \text{ kg.}$$

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A} = \frac{225979}{3465} = 65.217 \text{ ksc.}$$

$$V_p = P_e y' = 0 \text{ เพราะ Slope ของ tendon มีค่าเป็น 0}$$

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f'_c + 0.3f_{pc}}) b_w d + V_p = (0.93\sqrt{420} + 0.3(65.217))(70.714)(36)$$

$$V_{cw} = 98326 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้นความสามารถในการรับแรงเฉือนที่ระยะ $x = 0.36 \text{ m.}$ คือ $V_c = 69860 \text{ kg.}$

ปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$A_{vmin} = 3.5b(spacing) / f_y = 3.5(70.714)(20) / 3000 = 1.65$$

ความสามารถในการรับแรงเฉือนจากเหล็กเสริม (V_s)

$$V_s = A_v f_y d / spacing = 1.65(3000)(36) / 20 = 8910 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้น $V = 69860 + 8910 = 78770 \text{ kg.}$

ซึ่งสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้



BY # Somchai
 DATE # 9/1/2549
 SHEET # 1

Shear Capacity of Plank Girder

Input Data

width of box girder (b)	99	cm.
depth of box girder (D)	35	cm.
Cross-Section area (A_c)	3465	cm ²
top fiber to N.A. (y_t)	17.5	cm.
bottom fiber to N.A. (y_b)	17.5	cm.
moment inertia (I_b)	3.53E+05	cm ⁴
Equivalent width (b_t)	70.714	cm.
thick of topping (t_p)	10	cm.
unit weigth of con. (w_c)	2400	kg./m ³
Effective depth (d_p)	36	cm.
yield stress of reinf. (f_y)	3000	ksc.
initial prestress (f_{pi})	12265	ksc.
fc'	420	ksc.
total area of tendon	21.6762	cm ²
span	1000	cm.

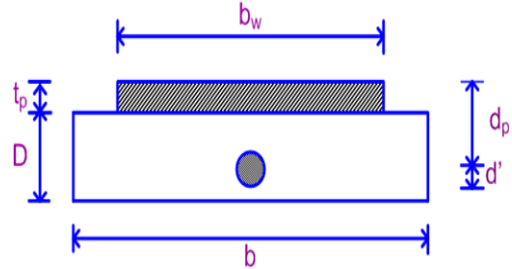
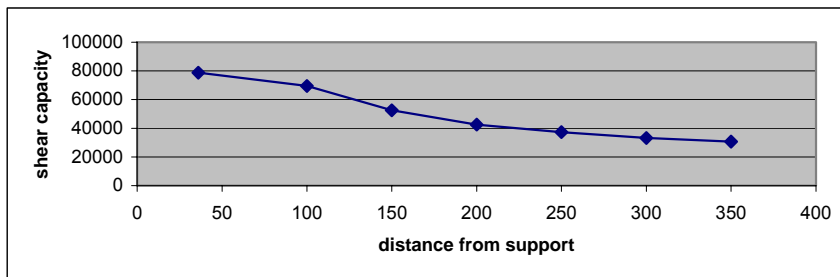


Table for computation

distance (m.)	36	100	150	200	250	300	350
eccentricity	10	10	10	10	10	10	10
shear from LL (V_L)	7812	8710	8045	7380	6751	6121	5493
moment from DL (M_L)	703500	871000	1173400	1475900	1656200	1836500	1891000
shear reinf. Spacing	20	20	20	20	20	20	20
ΔM_{cr}	5092584.6	4796972	4596497	4422752.21	4275737	4155452	4061897
V_{ci}	69859.005	60593.95	43603.87	33670.2845	28449.18	24335.82	21750.27
V_{cw}	137658.36	137658.4	137658.4	137658.357	137658.4	137658.4	137658.4
V_s	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964	8909.964
Shear Capacity	78768.969	69503.91	52513.84	42580.2485	37359.14	33245.79	30660.24





13.2.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยการใช้โปรแกรม SAP2000 ซึ่งคุณสมบัติของโครงสร้างและวัสดุดังนี้

คุณสมบัติของวัสดุ

คอนกรีต (Concrete)

-	Isotropic Material		
-	Mass Per Unit Volume	=	$2.450 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$
-	Weight Per Unit Volume	=	$2.450 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
-	Modulus of Elasticity	=	$2.53 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
-	Poisson's Ratio	=	0.20
-	Coefficient of thermal Expansion	=	$9.9 \times 10^{-6} \text{ } \epsilon/\text{celsius}$
-	Shear Modulus	=	105460 kg/cm^2
-	Specified concrete compression strength	=	420 kg/cm^2
-	Bending Reinforcement, Yield stress	=	4200 kg/cm^2
-	Shear Reinforcement, Yield Stress	=	2800 kg/cm^2

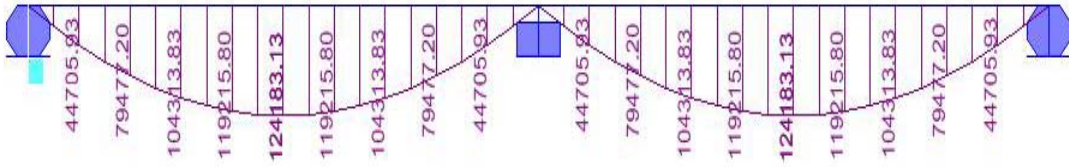
คุณสมบัติทางกายภาพของโครงสร้าง

-	ความกว้าง (width)	=	9 m.
-	ความยาวช่วงพาด (Span)	=	10 m.
-	เงื่อนไขจุดรองรับแบบยึดหมุน-แบบยึดหมุน		

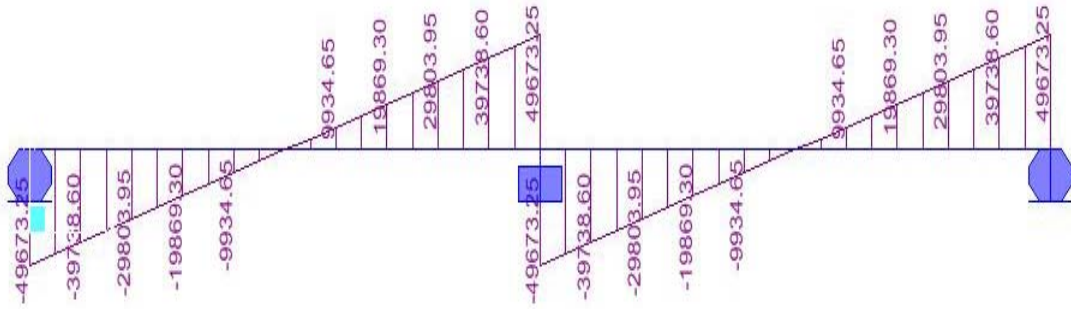
คุณสมบัติของ Plank Girder

-	ความสูง	=	45 cm.
-	ความกว้างต่อ Plank Girder	=	99 cm.

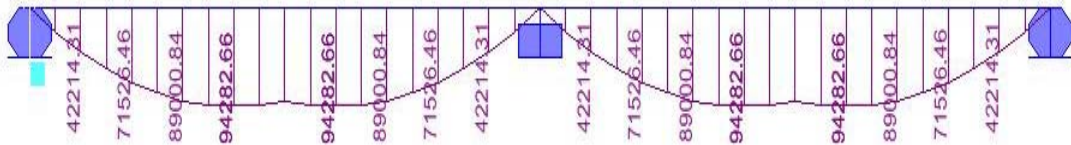
ผลการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ตัดและค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้าง แสดงได้ดังรูป (ผลการวิเคราะห์ต่อความกว้าง 9 เมตรของแบบจำลอง)



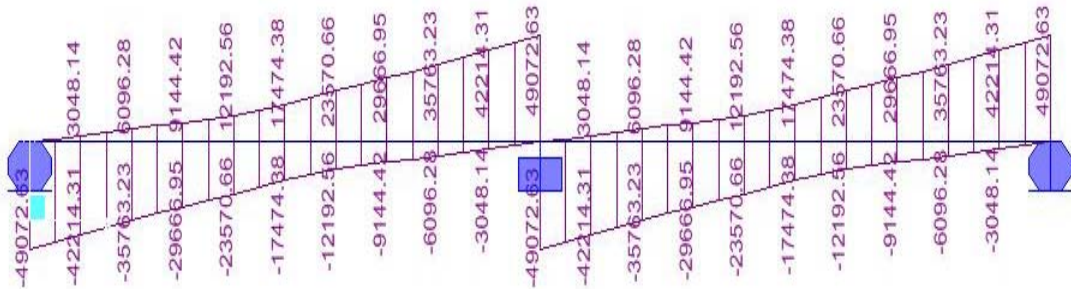
รูปที่ 13-9 แผนภาพของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (M_{DL}) kg.-m.



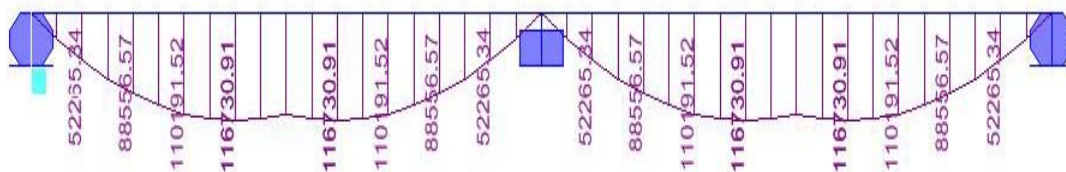
รูปที่ 13-10 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (V_{DL}) kg.



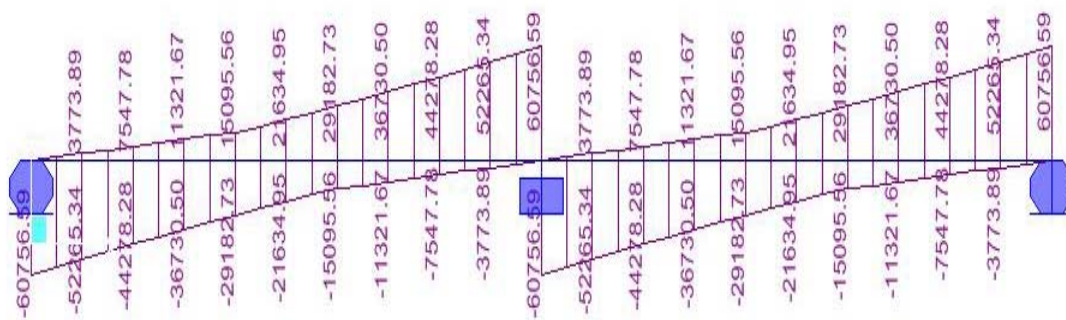
รูปที่ 13-11 แผนภาพโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (M_{LL21}) kg.-m.



รูปที่ 13-12 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (V_{LL21}) kg.



รูปที่ 13-13 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (M_{LL26}) kg.-m.



รูปที่ 13-14 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (V_{LL26}) kg.

จากการวิเคราะห์ข้างต้นเราสามารถนำไปใช้หาค่า Theoretical Moment Rating Factor ของสะพานแบบ Plank Girder ที่มีความยาวช่วงพาด 10 เมตร และความกว้าง 9 เมตร โดยสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 13-3 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

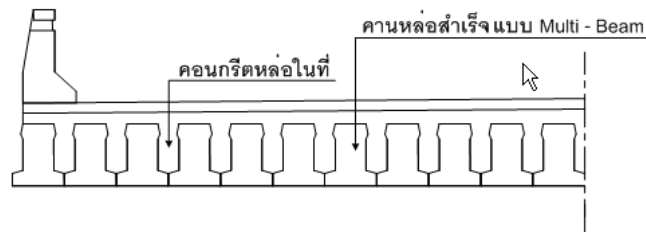
	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	2.33	1.88
Operating	3.03	2.45

ตารางที่ 13-4 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor (At critical section)

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	4.05	3.27
Operating	5.27	4.26

13.3 การคำนวณหาลำกำลังรับน้ำหนักของ Multi-Beam

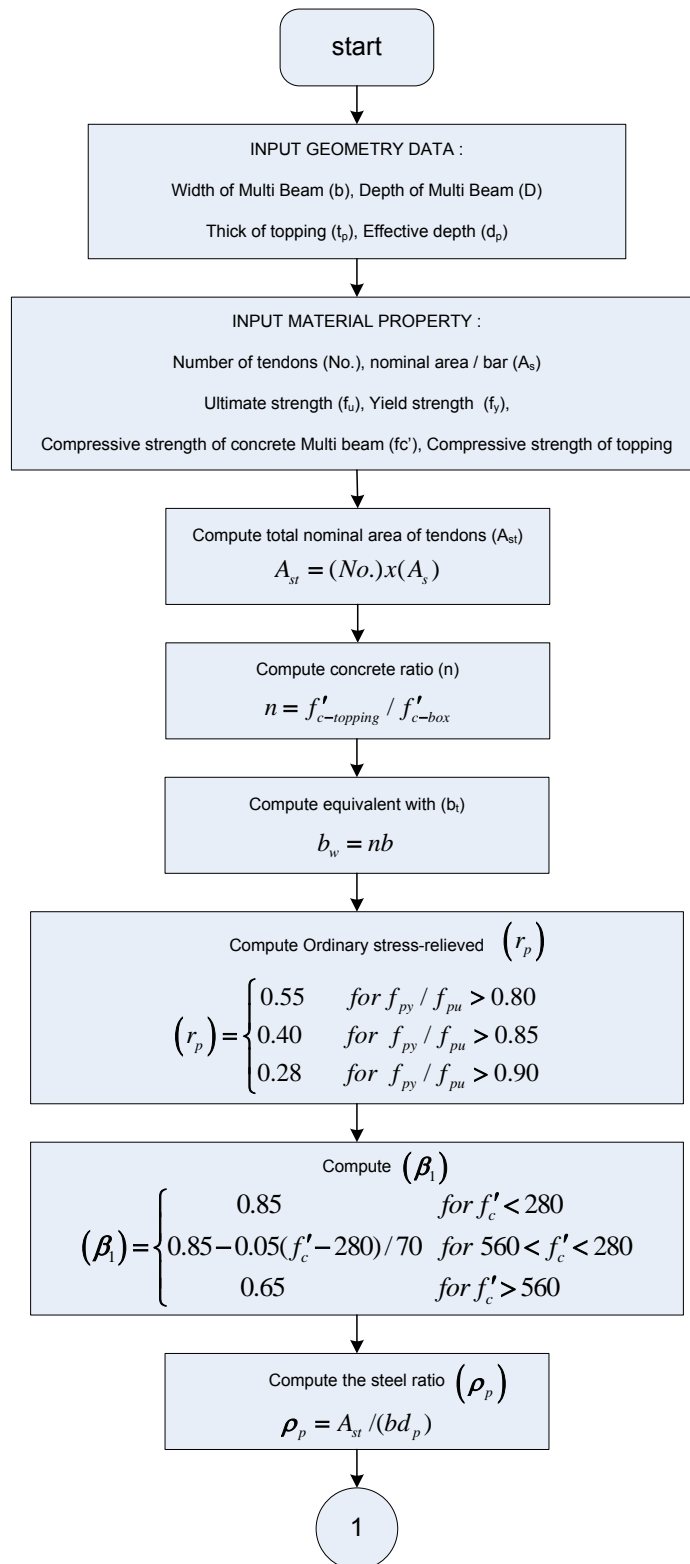
สะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงวางประชิดกัน (PC Multi-Beam Bridge) ซึ่งความยาวช่วงที่กรมทางหลวงชนบทใช้โดยส่วนใหญ่มีค่าระหว่าง 5.00 – 15.00 เมตร

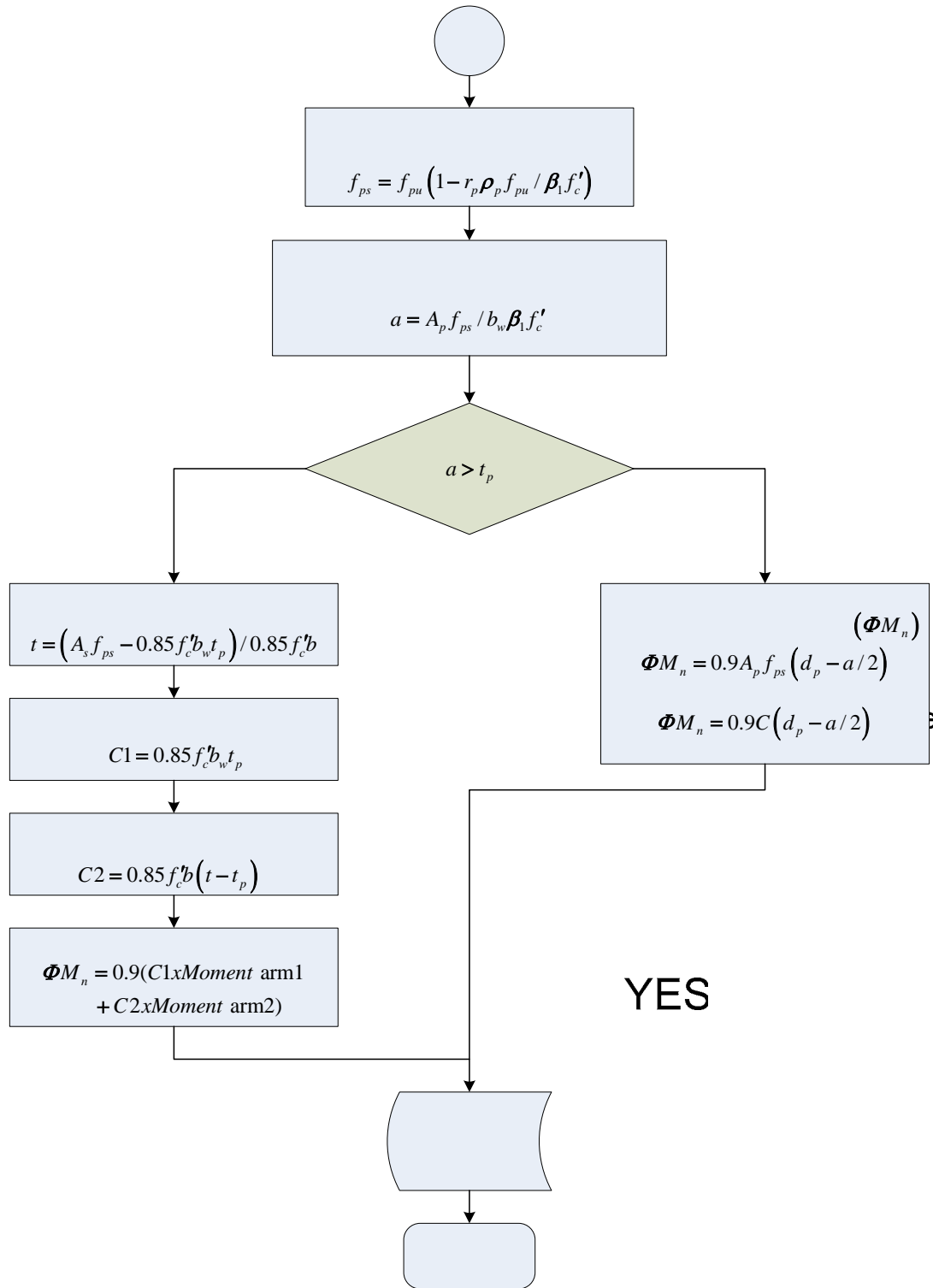


รูปที่ 13-15 สะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงวางประชิดกัน

13.3.1 การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด

การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ต่อไปนี้





Compute s

depth of equ

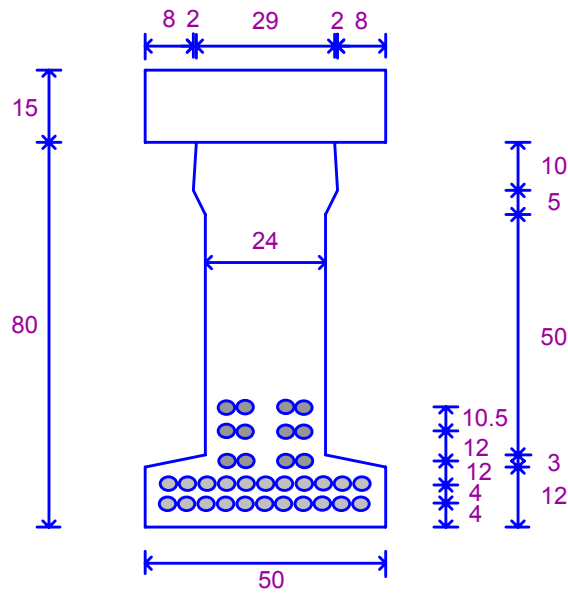
YES

Compute depth of compression zone (t)

Compute C1



ตัวอย่างที่ 5 การคำนวณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัดของสะพานซึ่งมีโครงสร้างแบบ Multi Beam ที่ใช้สำหรับสะพานที่มีความยาวช่วงพาด 24 เมตร คุณสมบัติของหน้าตัด แสดงได้ดังรูป



คุณสมบัติของวัสดุ

ลวดเป็นลวดเกลียวอัดแรงชนิด 7 เส้น ตาม มอก.420-2534 (Grade 1725) ขนาด $\varnothing 3/8$ นิ้ว ซึ่งมี

$$\text{ค่ากำลังดึงประลัย } (f_{pu}) = 17574 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงที่จุดคราก } (f_{py}) = 15816 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังดึงเริ่มต้น } (f_{pi}) = 12300 \text{ ksc.}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัด (Nominal Area) ของลวด} = 0.5161 \text{ cm}^2 / \text{bar}$$

$$\text{จำนวนของลวดอัดแรง} = 34 \text{ เส้น}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Multi Beam)} = 400 \text{ ksc.}$$

$$\text{กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)} = 200 \text{ ksc}$$

$$\text{และความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัด} = 80 \text{ cm.}$$

ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง (A_{st})

$$A_{st} = 34(0.5161) = 17.5474 \text{ cm}^2$$

คำนวณอัตราส่วนของกำลังอัดคอนกรีต (n)

$$n = 200 / 400 = 0.5$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_t)

$$b_t = nb = 0.5(49) = 24.5 \text{ cm.}$$

เนื่องจากเป็นคอนกรีตอัดแรงมีการยึดเหนี่ยว ดังนั้น (f_{ps})

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\frac{\rho_p f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \right\}$$

คำนวณค่า (γ_p)

$$f_{py} / f_{pu} = 15816 / 17574 = 0.899 \text{ ดังนั้น ใช้ } \gamma_p = 0.4$$

คำนวณค่า (β_1)

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05(400 - 280) / 70 = 0.764286$$

คำนวณค่า (ρ_p)

$$\rho_p = 17.5474 / (24.5 \times 80) = 0.008953$$

$w = w' = 0$ เพราะไม่มีเหล็กเสริมแบบธรรมดา

แทนค่าจะได้

$$f_{ps} = 17574 \left\{ 1 - \frac{0.4}{0.764286} \left[\frac{0.008953(17574)}{400} + 0 \right] \right\} = 13956 \text{ ksc.}$$

คำนวณค่าความลึกของปลีกรับแรงอัด (a)

$$a = \frac{A_{st} f_{ps}}{0.85 b f'_c} = \frac{17.5474(13956)}{0.85(24.5)(400)} = 29.40 \text{ cm.} > t_p$$

คำนวณ (t) ใหม่

$$t = (A_{st} f_{ps} - 0.85 f'_c b_t t_p) / 0.85 f'_c b$$

$$= [17.5474(13956) - 0.85(400)(24.5)(15)] / 0.85(400)(24) = 14.7 \text{ cm.}$$

คำนวณค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดของหน้าตัด

$$M_n = C_1 d_1 + C_2 d_2$$

$$M_n = 0.85 f'_c b_t t_p (d - t_p / 2) + 0.85 f'_c b t (d - t_p - t / 2)$$

$$= 0.85(400)(24.5)(15)(80 - 15 / 2) + 0.85(400)(24)(14.7)(80 - 15 - 14.7 / 2)$$

$$= 15974180 \text{ kg.-cm}$$

เพราะฉะนั้น $M_n = 159742 \text{ kg.-m.}$

ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้

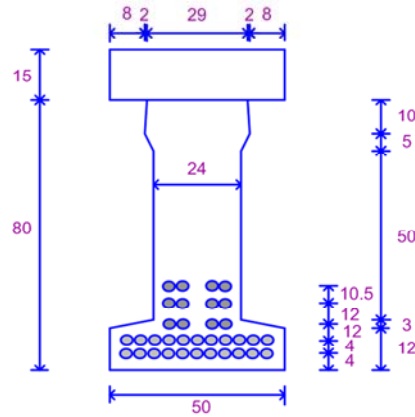


JOB #
BY #
DATE #
SHEET #

Moment Capacity of Multi Beam

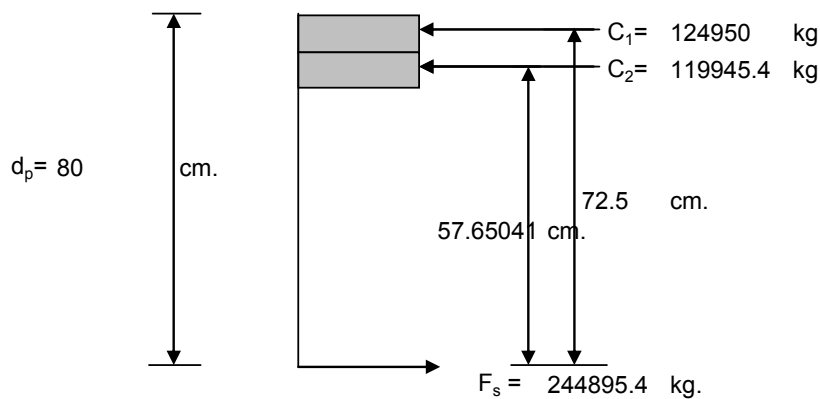
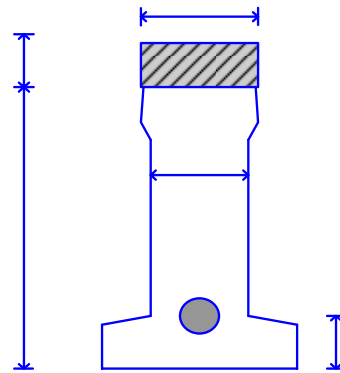
Input Data

width of Multi girder (b)	49	cm.
depth of Multi girder (D)	80	cm.
thick of topping (t _p)	15	cm.
number of tendon (No)	34	bar
nomial area / bar (A _s)	0.5161	cm ²
ultimate strength (f _u)	17574	ksc.
yield stress (f _y)	15816	ksc.
fc' (girder)	400	ksc.
fc' (topping)	200	ksc.
Effective depth (d _p)	80	cm.



Computation

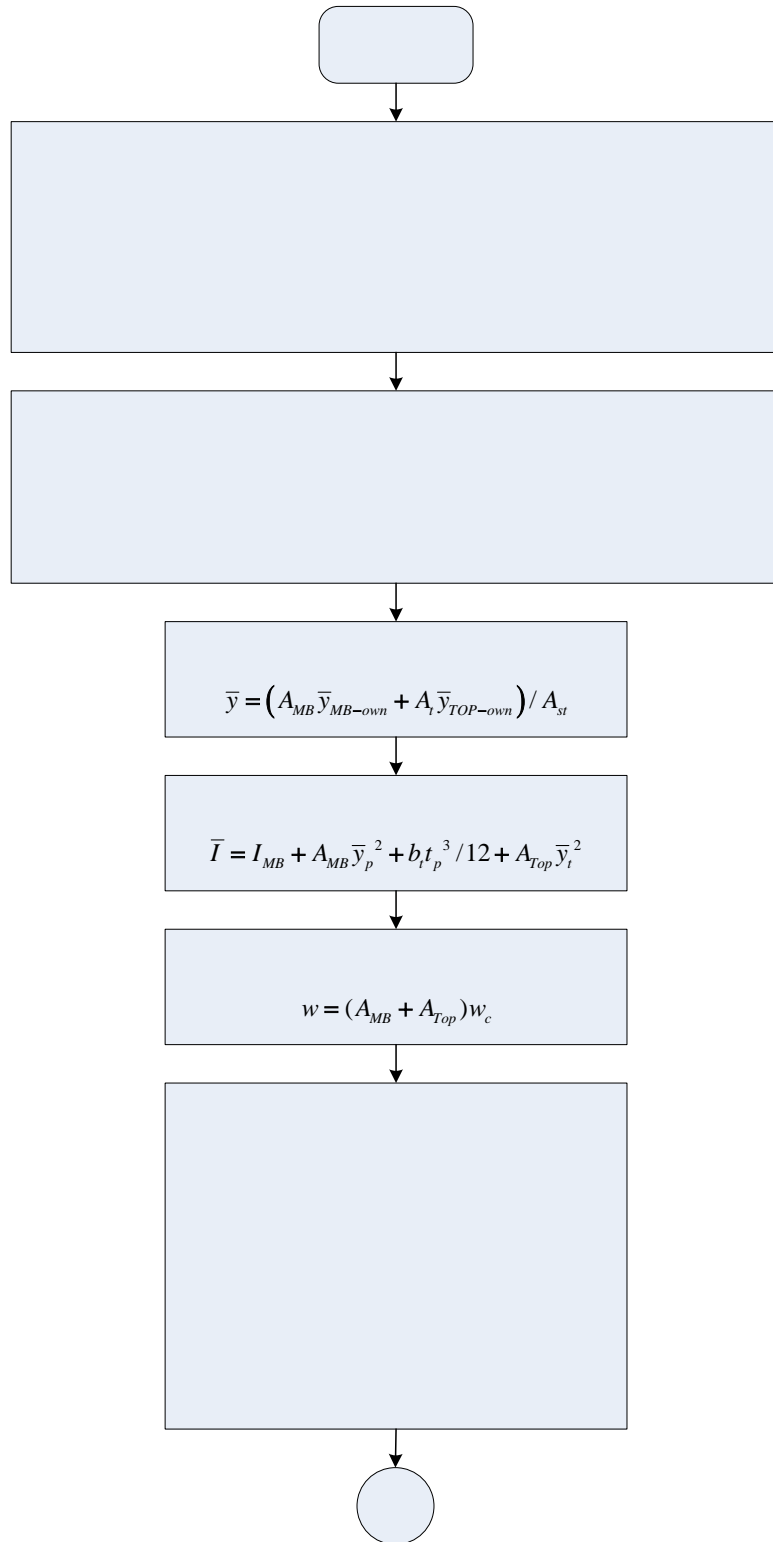
total area (A _{st})	17.5474	cm ²
concrete ratio (n)	0.5	
equivalent with (b _t)	24.5	cm.
f _{py} /f _{pu}	0.4	
β ₁	0.764286	
steel ratio (ρ _p)	0.008953	
steel at failure (f _{ps})	13956.22	ksc.
stress block (a)	29.3992	cm.
compression zone (t)	14.69919	cm.
compression force (C ₁)	124950	kg.
compression force (C ₂)	119945.4	kg.



Moment Capacity is 159737.7416 kg.-m.

13.3.2. การคำนวณหาความสามารถในการรับแรงเฉือนของหน้าตัด

มีขั้นตอนในการคำนวณดังแสดงใน Flowchart ดังนี้



INPUT

Width of Multi beam

Cross-section area of

Bottom fiber to N.A. (

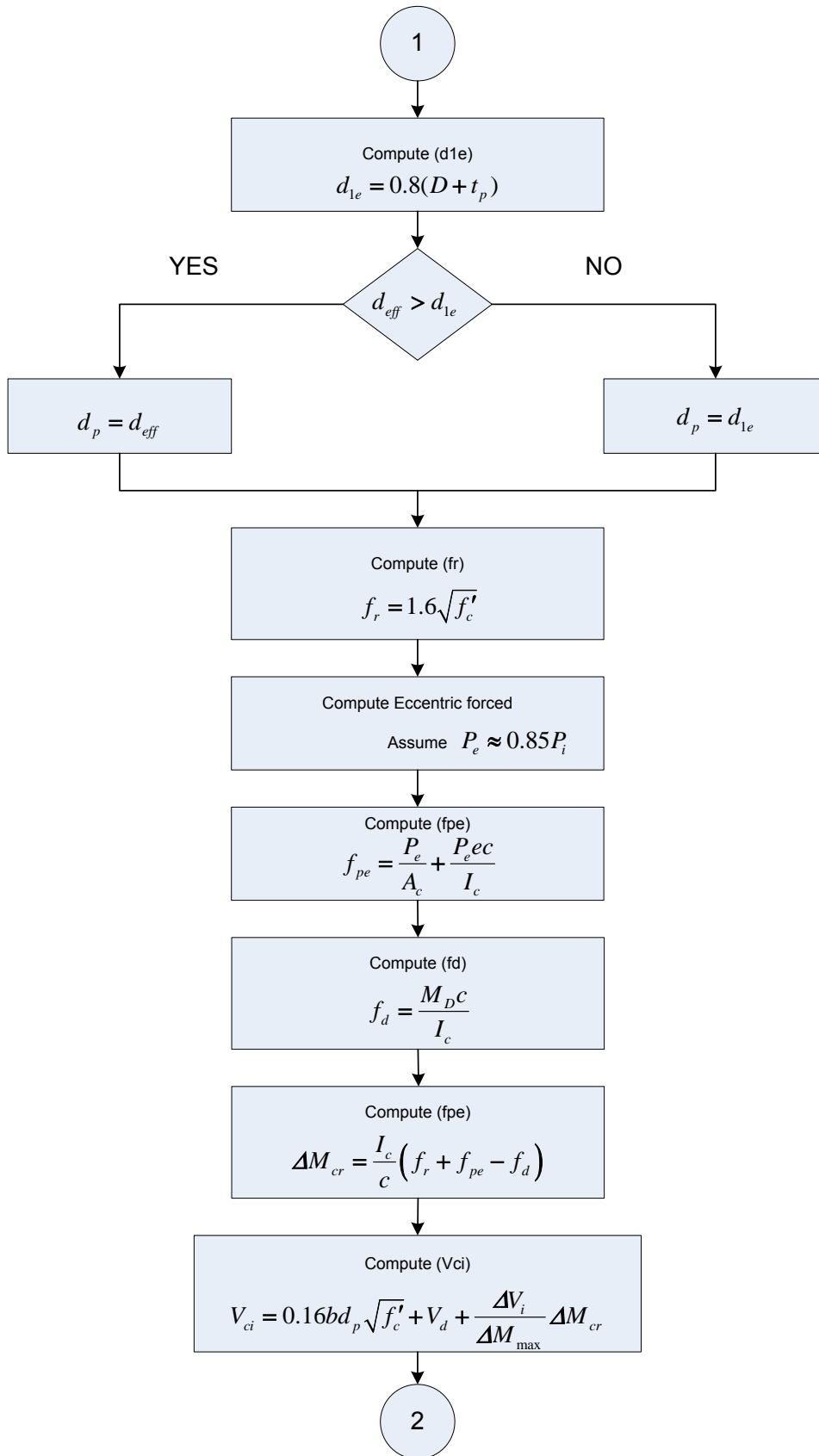
Equivalent width

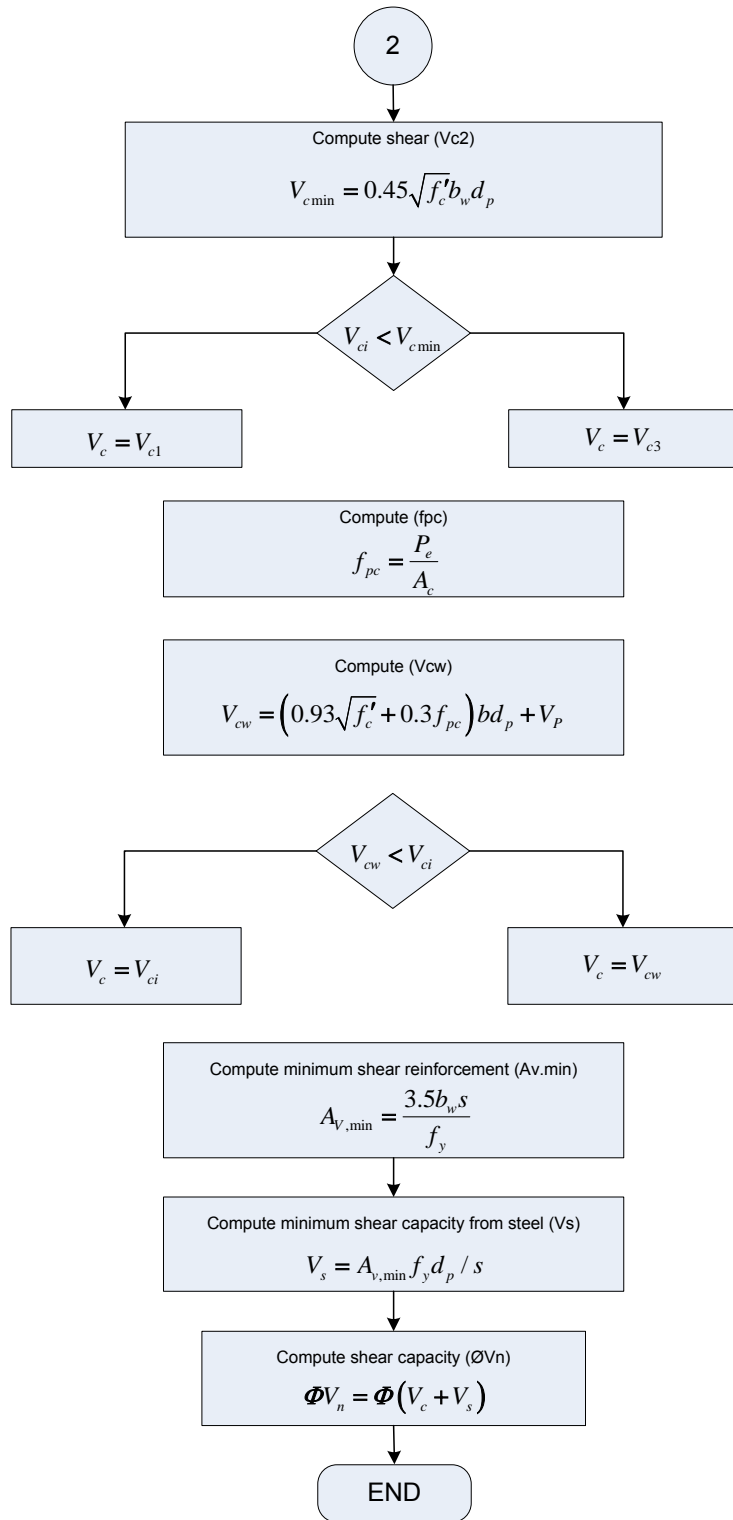
INPUT M

Unit weight of concrete

Initial prestress (f_p), com

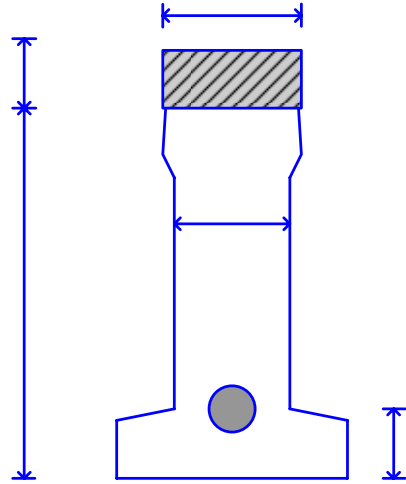
Total







ตัวอย่างที่ 6 การคำนวณค่ากำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดสะพานซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ Multi Beamคุณสมบัติของหน้าตัดแปลง แสดงได้ดังรูป



t_b
 t_p

คุณสมบัติของ Multi Beam

พื้นที่หน้าตัด (A_c)	=	2330 cm ²
ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบนอกสุดของพื้นที่รับแรงดึง	=	35.9045 cm.
ระยะห่างจากแกนสะเทิน ถึง ขอบนอกสุดของพื้นที่รับแรงอัด	=	44.9055 cm.
โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด	=	1.449x10 ⁶ cm ⁴
ลวดอัดแรงชนิดลวดเกลียว 7 เส้น มอก 420-2534 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว		
กำลังดึงเริ่มต้น (f_{pi})	=	12265 ksc.
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Multi Beam)	=	400 ksc.
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Topping)	=	200 ksc.
และความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัด	=	80 cm.
พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลวดอัดแรง	=	17.5474 cm ²
ระยะเยื้องศูนย์กลางของลวดอัดแรง	=	27.934 cm.

d
 A_s

ขั้นตอนการคำนวณ

คำนวณอัตราส่วนของคอนกรีต Multi Beam ต่อ Topping (n)

$$n = \frac{f'_{Topping}}{f'_{Plank}} = \frac{200}{400} = 0.5$$

คำนวณความกว้างเทียบเท่าของ Topping (b_t)

$$b_t = nb = 0.5(49) = 24.5 \text{ cm.}$$

คำนวณจุดศูนย์กลางของหน้าตัดแปลง (\bar{y})

$$\bar{y} = \frac{2330(35.9045) + 24.5(15)(80 + 7.5)}{2330 + 24.5(15)} = 42.934 \text{ cm.}$$

คำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดแปลง (I_{new})

$$I_{new} = 1.449 \times 10^6 + 2330(42.934 - 35.9045)^2 + \frac{24.5(15)^3}{12} + 24.5(15)(80 + 7.5 - 42.9045)^2$$

$$I_{new} \cong 2301894 \text{ cm}^4$$

คำนวณน้ำหนักของ Multi Beam

$$w_G = 0.233(2400) = 559.2 \text{ kg/m.}$$

คำนวณน้ำหนักของ Topping

$$w_t = 0.15(0.49)(2400) = 176.4 \text{ kg/m.}$$

$$w_d = 559.2 + 176.4 = 735.6 \text{ kg/m.}$$

ในที่นี้ แสดงการคำนวณแรงเฉือนเฉพาะที่ระยะ $x = 0.8 \text{ m}$. ห่างจาก Support

$$\text{Shear from DL } (V_d) = w_d \left(\frac{L}{2} - x \right) = 735.6 \left(\frac{24}{2} - 0.8 \right) = 8238.72 \text{ kg.}$$

$$\text{Shear from LL } (\Delta V_i) = 11766 \text{ kg}$$

$$\text{Moment from DL } (M_d) = \frac{w_d x}{2} (L - x) = \frac{735.6(0.8)}{2} (24 - 0.8) = 6826.37 \text{ kg.-m.}$$

$$\text{Moment from LL } (\Delta M_{max}) = 10719 \text{ kg.-m.}$$

คำนวณ

$$f_r = 1.6\sqrt{f'_c} = 1.6\sqrt{400} = 32.0 \text{ ksc.}$$

$$\text{Assume } P_e = 0.85P_i$$

$$P_e = 0.85(17.5474)(12265) = 182936 \text{ kg.}$$

$$f_{pe} = \frac{P_e}{A} + \frac{My}{I_c} = \frac{182936}{2330} + \frac{182936(27.934)(42.934)}{2301894}$$

$$f_{pe} = 173.8255 \text{ ksc.}$$

$$f_d = \frac{M_d c}{I_{new}} = \frac{6826.37(100)(42.934)}{2301894} = 12.732 \text{ ksc.}$$

$$\Delta M_{cr} = \frac{I_{new}}{\bar{y}} (f_r + f_{pe} - f_d) = \frac{2301894}{42.934} (32.0 + 173.8255 - 12.732)$$

$$\Delta M_{cr} = 10352652 \text{ kg.-cm.}$$



$$V_{ci} = 0.16\sqrt{f'_c}b_w d + V_d + \frac{\Delta V_i}{\Delta M_{\max}} \Delta M_{cr} = 0.16\sqrt{400}(24)(80) + 8238.72 + \frac{11766(103526)}{10719}$$

$$V_{ci} = 128021 \text{ kg.}$$

$$f_{pc} = \frac{P_e}{A} = \frac{182936}{2330} = 78.5133 \text{ ksc.}$$

$$V_p = P_e y' = 0 \text{ เพราะ Slope ของ tendon มีค่าเป็น 0}$$

$$V_{cw} = (0.93\sqrt{f'_c + 0.3f_{pc}})b_w d + V_p = (0.93\sqrt{400} + 0.3(78.5133))(24)(80)$$

$$V_{cw} = 80935.66 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้นความสามารถในการรับแรงเฉือนที่ระยะ $x = 0.8 \text{ m.}$ คือ $V_c = 80936 \text{ kg.}$

ปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$A_{v\min} = 3.5b(\text{spacing}) / f_y = 3.5(24)(20) / 3000 = 0.56 \text{ cm}^2$$

ความสามารถในการรับแรงเฉือนจากเหล็กเสริม (V_s)

$$V_s = A_v f_y d / \text{spacing} = 0.56(3000)(80) / 20 = 6720 \text{ kg.}$$

เพราะฉะนั้น $V = 80936 + 6720 = 87656 \text{ kg.}$

ซึ่งสามารถสรุปเป็นโปรแกรมตารางสูตร ได้ดังนี้



JOB # test
 BY # Somchai
 DATE # 9/1/2549
 SHEET # 1

Shear Capacity of Muli Beam

Input Data

width of Multi girder (b)	49	cm.
depth of Multi girder (D)	80	cm.
Cross-Section area (A_c)	2330	cm ²
top fiber to N.A. (y_t)	44.0955	cm.
bottom fiber to N.A. (y_b)	35.9045	cm.
moment inertia (I_b)	1.45E+06	cm ⁴
Equivalent width (b_t)	24.5	cm.
thick of topping (t_p)	15	cm.
unit weigth of con. (w_c)	2400	kg./m ³
Effective depth (d_p)	80	cm.
yield stress of reinf. (f_y)	3000	ksc.
initial prestress (f_{pi})	12265	ksc.
fc'	400	ksc.
total area of tendon	17.5474	cm ²
span	2400	cm.

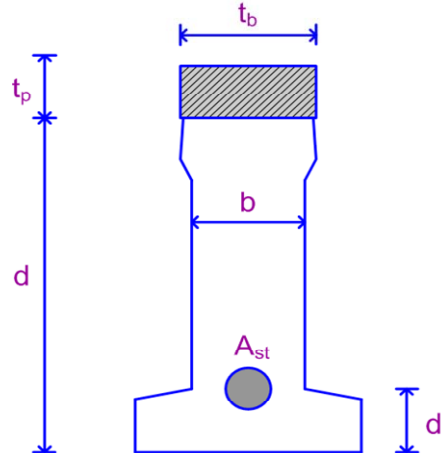
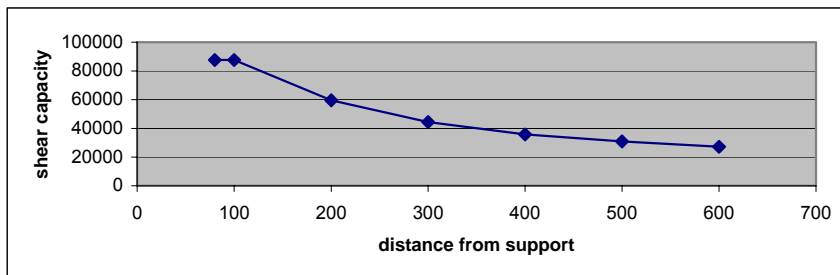


Table for computation

distance (m.)	80	100	200	300	400	500	600
eccentricity	27.934	27.934	27.934	27.934	27.934	27.934	27.934
shear from LL (V_L)	11766	11059	8932	8361	7789	7218	6646
moment from DL (M_L)	1071900	1607850	2143800	2940450	3737100	4261250	4785400
shear reinf. Spacing	20	20	20	20	20	20	20
ΔM_{cr}	10351332	10188029	9415649	8716828.72	8091569	7539869	7061729
V_{ci}	128134.91	84438.18	52857.67	37678.1998	29021.54	24192.75	20492.98
V_{cw}	80935.671	80935.67	80935.67	80935.6714	80935.67	80935.67	80935.67
V_s	6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720
Shear Capacity	87655.671	87655.67	59577.67	44398.1998	35741.54	30912.75	27212.98





13.3.3 การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยการใช้โปรแกรม SAP2000 ซึ่งคุณสมบัติของโครงสร้างและวัสดุดังนี้

คุณสมบัติของวัสดุ

คอนกรีต (Concrete)

-	Isotropic Material		
-	Mass Per Unit Volume	=	$2.450 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$
-	Weight Per Unit Volume	=	$2.450 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$
-	Modulus of Elasticity	=	$2.53 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
-	Poisson's Ratio	=	0.20
-	Coefficient of thermal Expansion	=	$9.9 \times 10^{-6} \text{ } \epsilon/\text{celsius}$
-	Shear Modulus	=	105460 kg/cm^2
-	Specified concrete compression strength	=	400 kg/cm^2
-	Bending Reinforcement, Yield stress	=	4200 kg/cm^2
-	Shear Reinforcement , Yield Stress	=	2800 kg/cm^2

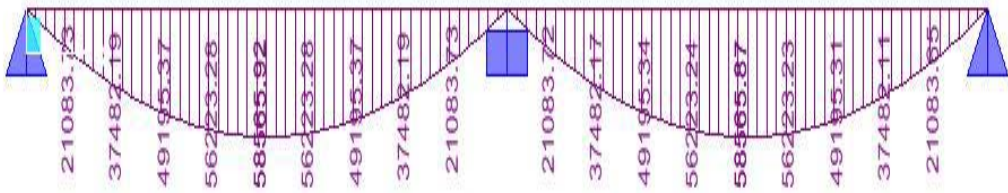
คุณสมบัติทางกายภาพของโครงสร้าง

-	ความกว้าง (width)	=	14 m.
-	ความยาวช่วงพาด (Span)	=	24 m.
-	เงื่อนไขจุดรองรับแบบยึดหมุน-แบบยึดหมุน		

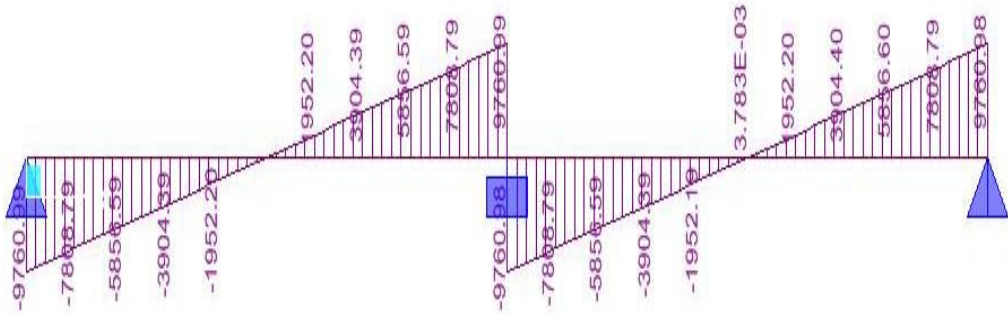
คุณสมบัติของ Multi Beam

-	ความสูง	=	95 cm.
-	ความกว้างต่อ Multi Beam	=	49 cm.

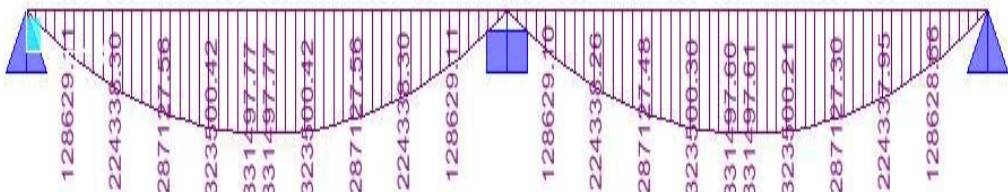
ผลการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ตัดและค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้าง แสดงได้ดังรูป (ผลการวิเคราะห์ต่อความกว้าง 0.5 เมตรของแบบจำลอง)



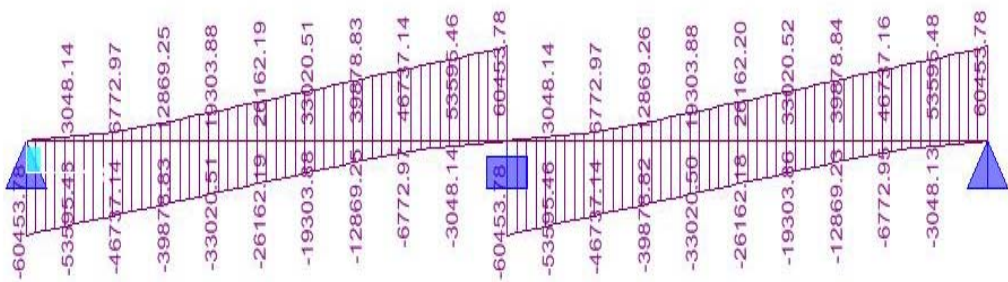
รูปที่ 13-16 แผนภาพของโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (M_{DL}) kg.-m.



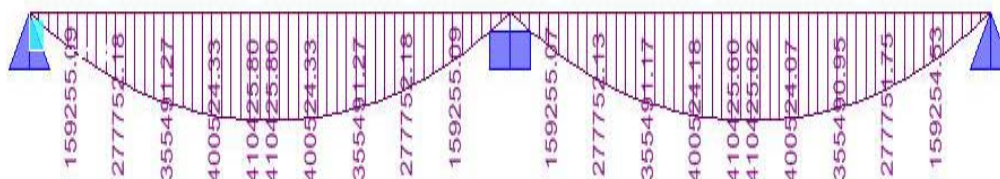
รูปที่ 13-17 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (V_{DL}) kg.



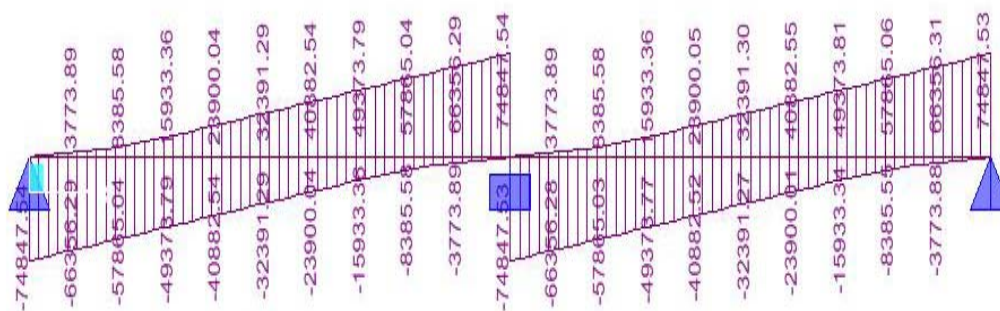
รูปที่ 13-18 แผนภาพโมเมนต์ดัดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (M_{LL21}) kg.-m.



รูปที่ 13-19 แผนภาพแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 21 ตัน (V_{LL21}) kg.



รูปที่ 13-20 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (M_{LL26}) kg.-m.



รูปที่ 13-21 แผนภาพโมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ 26 ตัน (V_{LL26}) kg.

จากการวิเคราะห์ข้างต้นเราสามารถนำไปใช้หาค่า Theoretical Moment Rating Factor ของสะพานแบบ Multi Beam ที่มีความยาวช่วงพาด 24 เมตร และความกว้าง 14 เมตร โดยสามารถสรุปเป็นตารางได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 13-5 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	1.40	1.13
Operating	1.86	1.50

ตารางที่ 13-6 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor (At critical section)

	HS 21 Truck	HS 26 Truck
	RF	RF
Load Factor:		
Inventory	7.20	5.82
Operating	9.58	7.74

การปรับแก้ค่าที่ได้จากการประเมิน

14.1 หลักการของการปรับแก้ค่า Rating Factor

การทำ Diagnostic Load Test เป็นวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสะพานที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายและไม่ทำให้สูญเสียกำลังรับน้ำหนักของสะพาน ซึ่งการทำ Load Test วิธีนี้ เป็นการทดสอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานให้มากขึ้น โดยการทำ Diagnostic Load Test จะไปลดตัวแปรที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนต่างๆ (Uncertainties) ที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง อันได้แก่ ตัวแปรที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุ สภาพการยึดรั้ง ผลจากหน้าตัดหรือโครงสร้างที่ไม่ได้ถูกออกแบบให้เป็นส่วนของโครงสร้างหลักที่ช่วยในการรับน้ำหนัก ผลจากการซ่อมแซม ผลจากความเสียหายที่เกิดขึ้น ทั้งนี้จุดประสงค์ของการทำ Diagnostic Load Test คือเพื่อเป็นแนวทางในการประเมินหา Rating factor ที่แท้จริงของสะพานจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนาม

ในการทดสอบ Diagnostic Load Test จะทำให้ทราบถึงหน่วยแรงมากที่สุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนโครงสร้าง (Critical Member) ซึ่งถ้านำไปเปรียบเทียบกับผลของการวิเคราะห์จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์แล้ว ค่าที่ได้มีความแตกต่างกัน ก็จะมีการปรับแก้ค่า Rating ของสะพานให้มีความถูกต้องดังแสดงในสมการที่ 14.1

$$RF_T = RF_C \times K \quad (14.1)$$

โดยที่ RF_T = ค่า Rating Factor ที่หามาจากผลการทดสอบ เมื่อพิจารณาถึงกำลังรับน้ำหนัก
บรรทุกจร

RF_C = ค่า Rating Factor ที่หามาจากคำนวณในทางทฤษฎี ก่อนหน้าที่จะทำการทดสอบ

K = เป็นค่าคงที่ใช้สำหรับปรับแก้ เนื่องจากความแตกต่างกันของผลการทดสอบกับผล
การวิเคราะห์ในทางทฤษฎี

สำหรับค่า RF_C สามารถเขียนอธิบายได้ดังสมการที่ 14.2



$$RF_c = \frac{(\text{Capacity}) - (\text{Factored Dead Load Effect})}{(\text{Factored Live Load Effects Plus Impact})} \quad (14.2)$$

สำหรับความเหมาะสมของ Area และ Section Modulus ที่จะใช้ในการหาค่า RF_c ควรจะต้องพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบ เนื่องจากโครงสร้างบางชนิดออกแบบเป็น Non-Composite แต่กลับมีพฤติกรรมเป็น Composite ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาความเหมาะสมในส่วนนี้ด้วย

การหาค่า K คำนวณได้ตามสมการที่ 14.3

$$K = 1 + K_a \times K_b \quad (14.3)$$

ค่าของ K_a จะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่เป็นผลการตรวจวัดที่ได้จากการทำ Load Test

K_b จะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่สืบเนื่องจากการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพาน และจากปัจจัยทางด้านโครงสร้างของส่วนประกอบที่ไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับการรับน้ำหนักของสะพาน (Redundancy due to non-structural elements)

ถ้าหากมิได้ทำ Load Test ค่าสัมประสิทธิ์ (K) จะมีค่าเท่ากับ 1 และหากว่า $K > 1$ จะบ่งชี้ว่าโครงสร้างจริงมีประสิทธิภาพสูงกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณเชิงทฤษฎี และทำนองเดียวกันหาก $K < 1$ จะบ่งชี้ว่าโครงสร้างจริงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณเชิงทฤษฎี

โดย

$$K_a = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_T} - 1 \quad (14.4)$$

โดยที่ ϵ_T = ค่าสูงสุดของ Strain ที่วัดได้ระหว่างการทำ Load Test

ϵ_c = ค่า Strain ที่คำนวณได้จากทฤษฎี โดยใช้ Load Case แบบเดียวกับตอนวัดค่า

โดยปกติ

$$\epsilon_c = \frac{L_T}{(SF)E} \quad (14.5)$$

และ

$$K_b = K_{b1} \times K_{b2} \times K_{b3} \quad (14.6)$$

โดย K_{b1} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงว่าโครงสร้างมีกำลังรับน้ำหนักส่วนเสริม (Inherent Capacity) มากน้อยเพียงใด ซึ่งการหา K_{b1} นี้ไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัวในการหา แต่แนวทางทั่วไปที่ใช้ในการประเมินหาค่า K_{b1} ดังแสดงในตารางที่ 14-1

ตารางที่ 14-1 แสดงค่า K_{b1}

โครงสร้างมีกำลังรับน้ำหนักเกิน Rating Load Level (1.33 W)		น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ			K_{b1}
Yes	No	$\frac{T}{W} < 0.4$	$0.4 < \frac{T}{W} < 0.7$	$\frac{T}{W} > 0.7$	
✓		✓			0
✓			✓		0.8
✓				✓	1.0
	✓	✓			0
	✓		✓		0
	✓			✓	0.5

โดย T เป็นผลที่ได้ (โมเมนต์ตัดหรือแรงเฉือน) จากน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบจริง

และ W เป็นผลที่ได้ (โมเมนต์ตัดหรือแรงเฉือน) จากค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดตามข้อกำหนดที่ระดับหนึ่งๆ (รวม Impact Factor)

ทั้งนี้การประเมินหาค่า K_{b1} ต้องดำเนินการควบคู่ไปกับ

- (1) การทำโมเดลคอมพิวเตอร์แบบสามมิติเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักในช่วง Linear Elastic
- (2) หว่าโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักที่ 1.33 W โดยพิจารณาจาก Composite Action เพิ่มเติม

K_{b2} พิจารณาถึงปัจจัยของมาตรการการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 14-2

ตารางที่ 14-2 แสดงค่า K_{b2}

การตรวจสอบสภาพสะพาน		K_{b2}
ประเภท	ความถี่ในการตรวจสอบ	
ทั่วไป	ระหว่าง 1 ถึง 2 ปีต่อครั้ง	0.8
ทั่วไป	น้อยกว่า 1 ปีต่อครั้ง	0.9
อย่างละเอียด	ระหว่าง 1 ถึง 2 ปีต่อครั้ง	0.9
อย่างละเอียด	น้อยกว่า 1 ปีต่อครั้ง	1.0



K_{b3} หาได้จากตารางที่ 14-3 ซึ่งขึ้นอยู่กับความล้มและ Redundant System

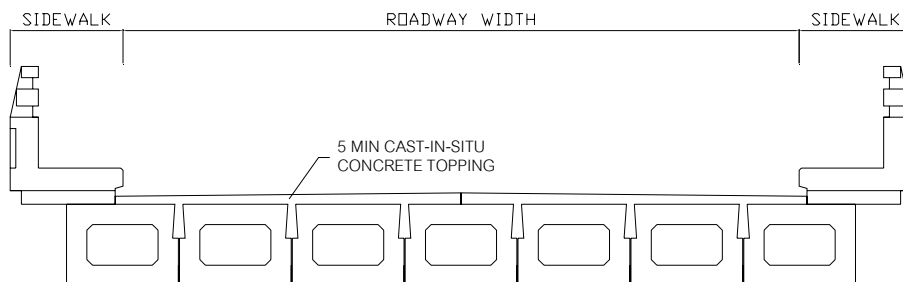
ตารางที่ 14-3 แสดงค่า K_{b3}

Fatigue Control		Redundancy		K_{b3}
No	Yes	No	Yes	
	x	x		0.7
	x		x	0.8
x		x		0.9
x			x	1.0

14.2 ตัวอย่างการของการปรับแก้ค่า Rating Factor

14.2.1 Box-Girder Bridge

สะพานแบบ Box Girder ที่มีความยาวช่วง 20 เมตร และกว้าง 15 เมตร สำหรับหน้าตัดของสะพาน

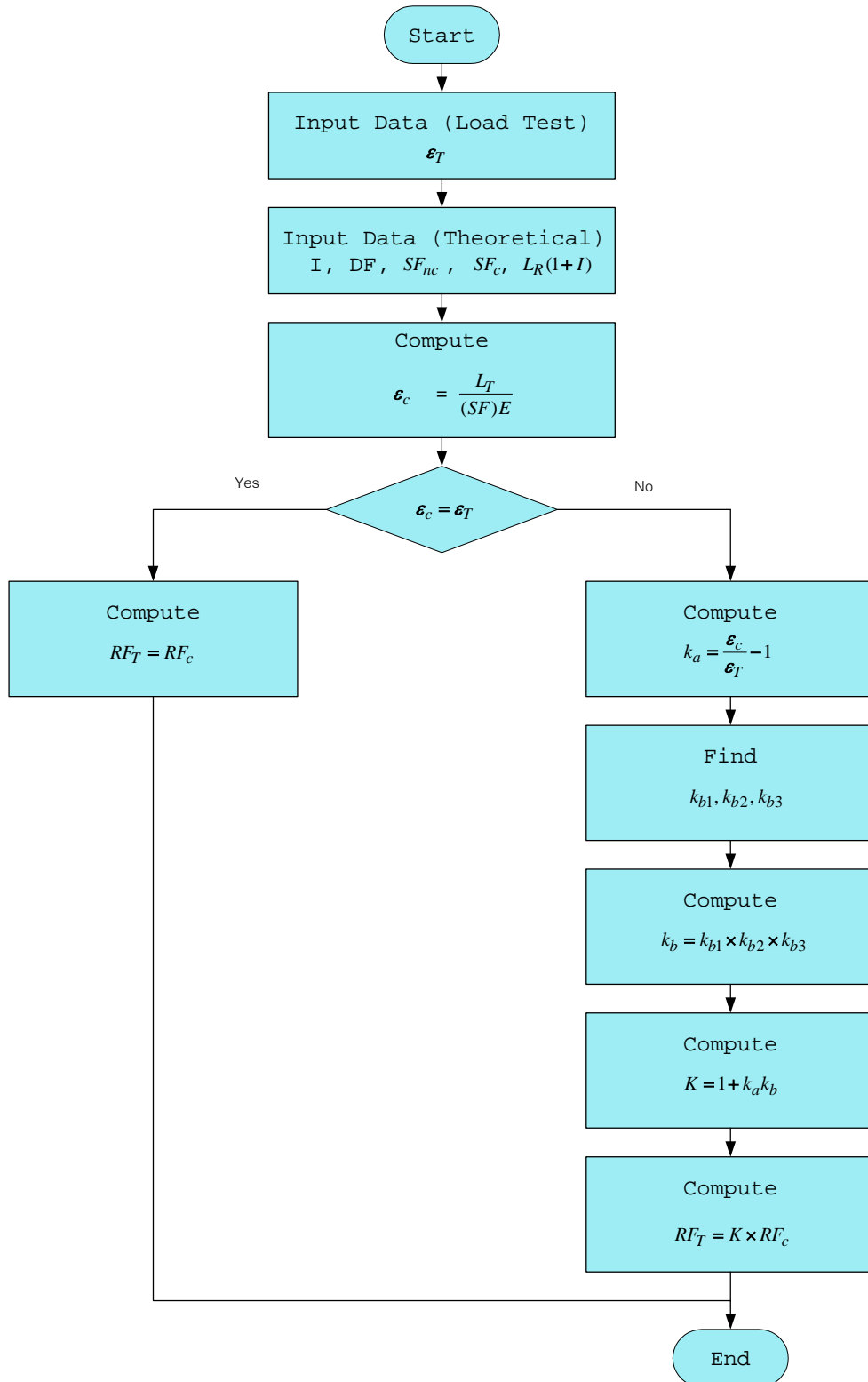


รูปที่ 14-1 แสดงหน้าตัดของสะพาน

สภาพโดยทั่วไปของสะพาน:

ปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยของรถบรรทุกในแต่ละวัน ADT > 1000 โดยอยู่ในการควบคุมน้ำหนักได้

มีการบำรุงรักษาดีและไม่ปรากฏความเสื่อมสภาพ
 ทางลาดขึ้นสะพานและพื้นผิวการจราจรมีสภาพดี
 มีการตรวจสอบสภาพทั่วไป



รูปที่ 14-2 ขั้นตอนการปรับแก้ Rating Factor



การวิเคราะห์และประเมินสะพานโดยใช้วิธีการ 3 วิธี ที่มีอยู่ในมาตรฐาน AASHTO C/E แต่ในการศึกษาคั้งนี้ จะใช้วิธี Load Factor ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 14-4 และ 14-5

ตารางที่ 14-4 แสดงค่า Theoretical Moment Rating Factor

	HS 26 Truck	
	RF_c	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	1.41	-
Operating	1.84	-

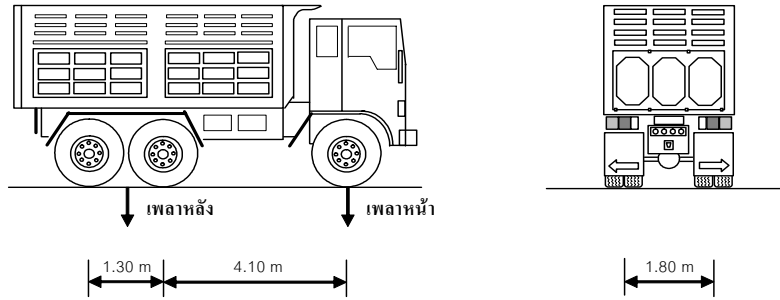
ตารางที่ 14-5 แสดงค่า Theoretical Shear Rating Factor

	HS 26 Truck	
	RF_c	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	2.89	-
Operating	3.76	-

การวิเคราะห์ค่า Rating ตามมาตรฐานของ โดยปกติจะสมมติเป็น Simple-Supported Beam และใช้การวิเคราะห์แบบสถิตในการหาค่าโมเมนต์มากที่สุด ซึ่งเกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร สำหรับการหาค่าของ Stress จากค่าของโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ต้องพิจารณาค่า Section Modulus ที่เหมาะสมด้วย

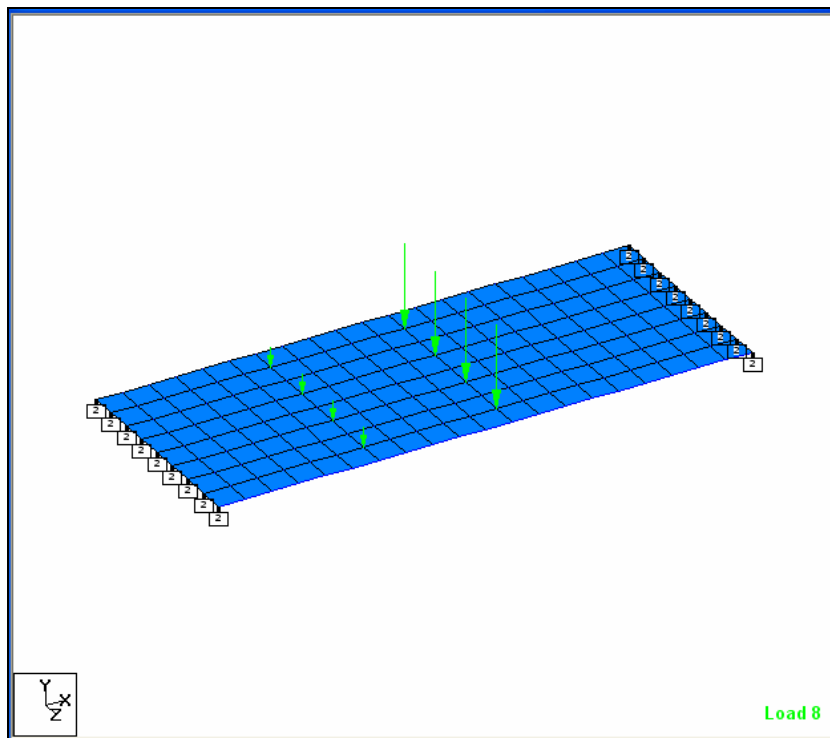
- Non-composite section modulus to bottom of steel at maximum moment section
 $SF_{nc} = 0.075 m^3$
- Composite section modulus to bottom of steel at maximum moment section
 $SF_c = 0.0977 m^3$
- Maximum live load moment plus impact due to rating vehicle
 $L_R(1 + I) = 93$ ตัน-เมตร (stringer moment including AASHTO design distribution)
- Maximum dead load moment = 63 ตัน-เมตร
- AASHTO Factor $I=0.26$; $DF=1.33$

การทดสอบแบบ Diagnostic เหมาะที่จะใช้ในการทดสอบโครงสร้างเชิงประกอบ เพื่อให้ทราบพฤติกรรมตามความเป็นจริง สำหรับการติดตั้ง Strain Gages จะติดในใกล้บริเวณที่เกิดความไม่แน่นอนมากที่สุด ส่วนวิธีการทดสอบจะใช้รถบรรทุก ดังแสดงในรูปที่ 14-3 ไปจอดที่บริเวณต่างๆ โดยมีการปรับเปลี่ยนทั้งตามแนวยาวและแนวขวางของสะพาน เพื่อที่จะหาค่า Maximum Strain



รูปที่ 14-3 รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

จากการทดสอบโดยใช้ HS 26 Truck พบว่าค่า Maximum Strain มีค่าเท่ากับ $150 \mu\epsilon$ เกิดในแนวกึ่งกลางสะพาน เมื่อมีการวางรถบรรทุกตามตำแหน่งดังรูปที่ 14-4



รูปที่ 14-4 แสดงตำแหน่งรถที่ทำให้เกิด Maximum Strain

การวิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม SAP2000 สรุปได้ในตารางที่ 14-6



ตารางที่ 14-6 แสดงค่าโมเมนต์สูงสุด

ค่าโมเมนต์สูงสุด (ตัน-เมตร)			
HS21 Truck		HS26 Truck	
L_T	$L_R(1+I)$	L_T	$L_R(1+I)$
44	74	55	93

พิจารณาในส่วนของ HS26 Truck

จากสมการจะสามารถคำนวณหาค่า Maximum Strain บริเวณส่วนล่างของ Box โดยนำค่า Maximum Momentหารด้วย Composite Section Modulus

$$\epsilon_c = \frac{L_T}{(SF_c)E} = \frac{55}{0.0977 \times 2.53 \times 10^6} = 223 \mu\epsilon$$

ถ้ามีการเคลื่อนที่ระหว่าง Steel Stringer และ Concrete Deck ค่า Strain ที่คำนวณได้จาก Non-Composite Section Modulus ควรจะมีค่ามากกว่าที่วัดได้จากการทดสอบ

$$\left(\frac{55}{0.075 \times 2.53 \times 10^6} \right) = 290 \mu\epsilon$$

ค่า Strain ที่ส่วนล่างของ Box ในตำแหน่งที่มีค่าโมเมนต์มากที่สุดมีค่าเท่ากับ

$$\epsilon_T = 150 \mu\epsilon$$

เมื่อทราบค่า Strain ที่วัดได้จากการตรวจวัด สามารถหา Apparent Section Modulus (SF_A)

$$SF_A = \frac{55}{(150 \times 10^{-6})(2.53 \times 10^6)} = 0.145 m^3$$

Composite Section Modulus ตาม AASHTO มีค่าเท่ากับ $0.0977 m^3$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกับ Apparent Section Modulus เนื่องจากเป็นค่าที่หาได้จากทฤษฎีกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง

จากความแตกต่างของ Strain ที่วัดได้กับค่า Strain ที่ได้จากการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างสามารถรับกำลังได้สูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ ดังนั้นในการวิเคราะห์หาค่า RF_T ต้องมีการปรับแก้ค่า RF_c โดยใช้ค่า K

ในการปรับแก้ค่า K แบบออกเป็น 2 ส่วน คือ ดังสมการ

$$K = 1 + k_a k_b$$

ส่วนแรกคือการหาค่า k_a

$$k_a = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_T} - 1$$

$$k_a = \frac{290}{150} - 1 = 0.93$$

ส่วนที่สองคือการหาค่า k_b

$$k_b = k_{b1} \times k_{b2} \times k_{b3}$$

k_{b1} ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ $\frac{T}{W}$ ดังแสดงในตารางที่ 14-1

$$\frac{T}{W} = \frac{L_T}{L_R(1+I)} = \frac{55}{93} = 0.59$$

ค่า $\frac{T}{W}$ มีค่ามากกว่า 0.4 แต่มีค่าน้อยกว่า 0.7 และพฤติกรรมของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ 1.33 W

เหมือนกับระหว่างการทดสอบ จะหาค่า $k_{b1} = 0.8$

k_{b2} หาได้จากตารางที่ 5-2 ขึ้นอยู่กับลักษณะของการตรวจสอบ

จะได้ค่า $k_{b2} = 0.8$

k_{b3} หาได้จากตารางที่ 14-3 ขึ้นอยู่กับความล้มและ Redundant System

จะได้ค่า $k_{b3} = 0.8$

จากสมการจะได้

Microsoft Office Excel 2003.Ink

$$K = 1 + (0.93)(0.51) = 1.47$$

จาก

$$RF_T = RF_c \times K$$

สรุปค่า Rating หลังทำการทดสอบ Load Test ดังแสดงในตารางที่ 14-7 และ 14-8



ตารางที่ 14-7 แสดงค่า Moment Rating Factor

HS 26 Truck		
	RF_T	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	2.07	-
Operating	2.70	-

ตารางที่ 14-8 แสดงค่า Shear Rating Factor

HS 26 Truck		
	RF_T	R (tons)
Load Factor:		
Inventory	4.25	-
Operating	5.53	-



ภาคผนวก ก

ประมวลคำศัพท์

Abrasion	การขัดสี
Aerial Obstruction Lighting	ระบบไฟส่องสำรวจสิ่งกีดขวางในอากาศ
Aggregates	มวลรวม
Approach Barrier	ราวกันตกก่อนขึ้นสะพาน
Approach Embankment	ขอบคันทางที่เป็นส่วนก่อนขึ้นสะพาน
Approach Roadways	ถนนช่วงก่อนพื้นสะพาน
Approach Slab	แผ่นพื้นบริเวณช่วงก่อนขึ้นสะพาน
Asphalt	ยางมะตอย
Beams and Girders	คานขนาดต่างๆ ทั้งขนาดเล็กและใหญ่
Bracing	ตัวยึดต้านการเคลื่อนที่ด้านข้าง ตัวยัน แก่งแนง
Bridge Barrier	แผงคอนกรีตกั้นรถบนสะพาน
Bridge Deck	ส่วนพื้นของสะพาน
Bridge Railing	ราวกันตกด้านข้างสะพาน
Bucket Truck	รถกระเช้าธรรมดา
Buckling	การโก่งเดาะ
Cap Beam	คานหุ้มหัวเสา
Catenaries and Suspender Cables	สายเคเบิล
Cellular Seal	รอยต่อแบบปิดและมีโพรง
Chain-Drag	วิธีการสำรวจแบบลากโซ่
Channel Embankment	ดินขอบของลำน้ำ
Channel Embankment Protection	การป้องกันการกัดกร่อนพังทลายของดินขอบของลำน้ำ
Channel Streambed	ท้องพื้นของลำน้ำ
Cleanout Plugs	ช่องทำความสะอาด
Clogged Drains	รูระบายน้ำที่อุดตัน
Collision Damage	ความเสียหายจากการชน



Component	ส่วนประกอบ
Compression Seal	การซ่อมแซมรอยแตกบริเวณผิวทางซึ่งรับแรงอัด โดยการใช่วัสดุประสาน
Connection Slippage	การเลื่อนของรอยต่อ-รอยต่อแยกออกจากกัน
Consolidation	การคายน้ำ การที่คอนกรีตแข็งขึ้นเนื่องจากการคายน้ำ
Construction Joints	รอยต่อที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง เช่นรอยต่อที่เกิดจากการเทคอนกรีตที่ไม่พร้อมกัน
Contamination	การเจือปน
Corrosion-Rusting	การเกิดสนิม
Counter Fort	กำแพงกันดินแบบครีป
Curb Line	เส้นขอบถนน
Curing	การปรมคอนกรีต
Curtain Wall	ผนังกระจก
Damping Ratio	อัตราส่วนความหน่วง
Debris	ชิ้นส่วนที่แตกออก
Deck Drains and Inlets	ช่องรับน้ำและระบายน้ำจากพื้นสะพาน
Deck Geometry	รูปร่าง (ขนาด) พื้นสะพาน
Deck Joint	รอยต่อของแผ่นพื้นสะพาน
Deficiencies	การชำรุดเสียหาย
Deformation	เกิดการเปลี่ยนรูปร่าง
Delamination	การหลุดออกเป็นแผ่นๆ
Diaphragms	โครงสร้างที่สามารถถ่ายแรงได้ทั้งสองทิศทาง
Dirt	สิ่งสกปรก
Disturbance	การรบกวน
Downspout Pipes	ท่อระบายน้ำสู่ภายนอก
Drainage	ช่องระบายน้ำ
Drainage Trough	ร่องรับน้ำรูปตัวยู
Duct	ท่อ
Earth Retaining	การกันดินด้านข้าง
End Treatments	การตกแต่งส่วนปลาย
Erosion of Back Fill	การกัดเซาะของดินถม
Exposed Bars	เหล็กเสริมที่โผล่ออกมา
Fasteners	ตัวยึด



Fathometer	เครื่องมือหยั่งความลึก
Fenders	ตัวกันกระแทก
Fill	งานถม ดินถม
Finger Plate	แผ่นเหล็กขนาดเล็ก
Finger Plate Joints	รอยต่อแบบใช้แผ่นเหล็ก
Flexural-Shear Crack	รอยแตกจากผลของแรงเฉือนและแรงดัด
Floor Beams and Stringers	คานพื้นและคานชอย
Formed Joints	รอยต่อแบบหล่อ
Friction Piles	เสาเข็มที่อาศัยแรงเสียดทานในการรับน้ำหนัก
Frost Action	การเกิดปฏิกิริยาเป็นน้ำแข็ง
Full Depth Failure	การวิบัติตลอดความลึกของหน้าตัด
Grates	ฝาตะแกรง
Greasing	การเกิดคราบมันเยิ้ม
Ground-Penetrating Radar	การใช้เรดาร์ในการจับคลื่นใต้ดิน
Gusset Plate	แผ่นเหล็กประกบ โดยทั่วไปสำหรับโครงข้อหมุน (Truss)
Heave	การปูด
Highway Lighting	ระบบไฟแสงสว่างของทางหลวง
Hydraulic Opening	เครื่องเปิดระบบไฮดรอลิค
Impact Damages	ความเสียหายจากการกระแทก
Impact-Echo	อุปกรณ์วัดความสมบูรณ์ของโครงสร้างโดยใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียง
Impact Attenuator	การติดตั้งตัวลดแรงกระแทก
Improved Workability	ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตที่ดีขึ้น
Increased Durability	ความคงทนที่เพิ่มขึ้น
Integrity	สภาพความสมบูรณ์
Lateral Clearance	ระยะห่างด้านข้าง
Lateral Displacement	ระยะเสียรูปของโครงสร้างในด้านข้าง
Leakage	รอยรั่ว
Manlift	รถยกคน
Masonry Plate	แผ่นอิฐมอดูญ
Median Barriers	ราวกันช่องกลาง
Modular Elastomeric Seal	รอยต่อแบบปิดโดยหน่วยประกอบยืดหยุ่น



Moisture Content	ปริมาณความชื้น
Narrow Underpass	ทางลอดแคบ
Navigation	ระบบนำทาง
Navigation Lighting	ระบบไฟส่องนำทาง
Navigational Lighten Aids	ไฟและเครื่องช่วยการนำทาง
Non-Composite Deck	แผ่นพื้นที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับคานเพื่อช่วยเพิ่มกำลังรับน้ำหนักให้กับคาน
Open Joints	รอยต่อแบบเปิด
Outlet Drains	ต่อระบายน้ำออกจากพื้นสะพาน
Outlet Pipes	ท่อระบายน้ำออก
Pavement	ถนนคอนกรีตชั้นถนน
Pedestrian Railing	ราวกันบนสะพาน
Piles	เสาเข็ม
Plain Cement Concrete	คอนกรีตที่มีซีเมนต์ล้วนๆ
Plain Concrete	คอนกรีตล้วนๆ
Plank Seal	การเชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่นพื้น
Platform	แท่นรอง
Poured Joint Seal	รอยต่อแบบปิดโดยการเท
Precast	คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป
Prefabricated Elastomeric Seal	รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นรับความยืดหยุ่นสำเร็จรูป
Probing	การสำรวจ ตรวจสอบ
Rating Factor	ดัชนีชี้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน
Rebound and Penetration	วิธีการเจาะและสะท้อนกลับ
Reduced Cracking	การลดลงของการแตกร้าว
Reinforcing Steel Strength	กำลังรับน้ำหนักของเหล็กเสริม
Relief Joint	รอยต่อผ่อนแรง
Replacement Asphalt Strip	แถบยางแอสฟัลท์ทดแทน
Rigging	อุปกรณ์สำหรับโยงยึด
Rotational Movement	การเคลื่อนตัวโดยการหมุน
Roughness	ความขรุขระ
Run Off	น้ำไหลที่พื้นผิว
Safety Features	ความปลอดภัย
Saturation of Backfill	ความอิ่มตัวของดินถม



Scaffolds	นั่งร้าน
Scour	การกัดเซาะ
Seepage	การไหลซึมของน้ำ
Settlement	การทรุดตัว
Shear Connector	หมุดเสริมกันแรงเฉือน
Shear Key	สลักรับแรงเฉือน
Sheet Seal	แผ่นผนึกแบบบาง
Shielding	การหุ้ม
Shovel	พลั่ว
Sign Lighting	ระบบไฟสัญญาณ
Skewbacks or Arches	คานโค้ง
Skewed Bridges	สะพานที่แนวตอม่อ หรือแนวคานรับพื้นทำมุมกับทิศทาง การจราจร
Sliding Plate Joint	รอยต่อแบบปิดโดยแผ่นเหล็กเลื่อน
Slotted Steel Anchorage	เหล็กตัวยึดที่เป็นช่อง
Snoopers	รถกระเช้าพิเศษ
Speed Traffic Marker	ป้ายบอกความเร็ว
Splitting	การแยกตัว-แยกออกจากกันเป็นชั้นๆ
Steel Reinforced Neoprene	แผ่นยางเทียม
Stone Masonry	งานก่อด้วยหิน
Strain Gages	อุปกรณ์วัดการยืดหดตัว
Strand	ลวดเหล็กกลุ่มตีเกลียว
Stringers	คานชอย
Strip Seal	แผ่นผนึกแบบแถบ
Structural Evaluation	การประมาณการคุณค่าของโครงสร้าง
Sub-Base Material	ชั้นรองพื้นทาง
Sub-Grade	ชั้นรองพื้นสะพาน
Substructure	โครงสร้างส่วนล่างของสะพาน
Superstructure	โครงสร้างส่วนบนของสะพาน
Tachometer	เครื่องวัดความเร็ว
Tie Bar	เหล็กมัด เหล็กยึด
Tilting	การเอียง



Traffic Control Lighting	ระบบไฟควบคุมการจราจร
Transitions	จุดถ่ายเท
Unevenness	ความไม่เรียบ
Vertical Clearance	ระยะห่างในแนวดิ่ง
Waders	รองเท้าบู๊ทยาง
Water Depth Scales	มาตราวัดความลึกของน้ำ
Waterproof Membrane	แผ่นกันน้ำ
Wearing Surface	ผิวถนนชั้นบนสุด ชั้นผิวทาง
Web-Shear Crack	การแตกร้าวเนื่องจากผลของแรงเฉือน
Weep Holes	ช่องระบายน้ำ
Weight Limit	ขีดจำกัดของน้ำหนักบรรทุก