**สารบัญ**

**หน้า**

**บทที่ 1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน 1-1**

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 1-1

1.2 ความก้าวหน้าในการดำเนินงาน 1-4

**บทที่ 2 ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา 2-1**

2.1 พื้นที่สำรวจ 2-1

2.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง 2-3

2.3 การสำรวจสภาพทาง 2-31

2.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ 2-73

2.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet 2-92

2.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet 2-118

2.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของผิวทาง
ในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง 2-168

2.8 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง 2-176

2.9 สื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ 2-203

**บทที่ 3 ผลการสำรวจสภาพทางไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลเมตร 3-1**

**บทที่ 4 ความล่าช้าและปัญหา 4-1**

4.1 รายงานความล่าช้า 4-1

4.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน 4-8

**บทที่ 5 แผนการดำเนินงาน 5-1**

5.1 เอกสาร รายงานและกำหนดการส่งมอบ 5-1

5.2 ระยะเวลาดำเนินการและแผนดำเนินการ (Master Plan) 5-5

**ภาคผนวก ก รายงานปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจ**

**ภาคผนวก ข Root Mean Square Error: RMSE**

**สารบัญตาราง**

**หน้า**

ตารางที่ 1-1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน 1-4

ตารางที่ 2-1 แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ 2-1

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 2-13

ตารางที่ 2-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 2-15

ตารางที่ 2-4 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS 2-16

ตารางที่ 2-5 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS 2-18

ตารางที่ 2-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 2-20

ตารางที่ 2-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 2-20

ตารางที่ 2-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 2-22

ตารางที่ 2-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง LCMS

 (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 2-22

ตารางที่ 2-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทางอุปกรณ์ LCMS 2-23

ตารางที่ 2-11 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 2-23

ตารางที่ 2-12 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง 2-26

ตารางที่ 2-13 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS) 2-29

ตารางที่ 2-14 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางเบื้องต้น 2-35

ตารางที่ 2-15 ระยะทางสำรวจแบ่งตามประเภทชุดเครื่องมือเลเซอร์ 2-38

ตารางที่ 2-16 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเบื้องต้นของค่า IRI 2-46

ตารางที่ 2-17 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเบื้องต้นของค่า RUTTING 2-48

ตารางที่ 2-18 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเบื้องต้นของค่า MPD 2-50

ตารางที่ 2-19 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง 2-76

ตารางที่ 2-20 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต 2-77

ตารางที่ 2-21 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS

 และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง 2-83

ตารางที่ 2-22 แสดงชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) 2-100

ตารางที่ 2-23 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องตำแหน่ง

 ของรถสำรวจ 3 ทีม รวม 2 อุปกรณ์สำรวจ 2-106

ตารางที่ 2-24 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน 2-115

ตารางที่ 2-25 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) กระบวนการภายใน 2-119

ตารางที่ 2-26 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวลาดยาง 2-122

**สารบัญตาราง (ต่อ)**

**หน้า**

ตารางที่ 2-27 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต 2-123

ตารางที่ 2-28 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่าเฉลี่ยของ IRI , RUT และ MPD โดยแยกระยะทางตามผิว 2-134

ตารางที่ 2-29 สรุปผลจากการสำรวจสภาพทางค่าดัชนีความขรุขระสากล

 (International Roughness Index : IRI) 2-135

ตารางที่ 2-30 สรุปผลจากการสำรวจสภาพทางค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) 2-137

ตารางที่ 2-31 สรุปผลจากการสำรวจสภาพทางค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง

 (Mean Profile Depth : MPD) 2-139

ตารางที่ 2-32 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล

 (International Roughness Index : IRI) 2-142

ตารางที่ 2-33 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) 2-144

ตารางที่ 2-34 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง

 (Mean Profile Depth : MPD) 2-147

ตารางที่ 2-35 สรุปผลการประเมินความเสียหายผิวทางทั้งผิวลาดยาง

 และคอนกรีตจากภาพถ่ายสภาพผิวทาง 2-149

ตารางที่ 2-36 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่) 2-150

ตารางที่ 2-37 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่) 2-151

ตารางที่ 2-38 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร) 2-152

ตารางที่ 2-39 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก) 2-153

ตารางที่ 2-40 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) 2-154

ตารางที่ 2-41 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์) 2-155

ตารางที่ 2-42 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น) 2-156

ตารางที่ 2-43 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม) 2-157

**สารบัญตาราง (ต่อ)**

**หน้า**

ตารางที่ 2-44 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี) 2-158

ตารางที่ 2-45 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา) 2-159

ตารางที่ 2-46 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี) 2-160

ตารางที่ 2-47 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี) 2-161

ตารางที่ 2-48 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ) 2-162

ตารางที่ 2-49 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) 2-163

ตารางที่ 2-50 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์) 2-164

ตารางที่ 2-51 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช) 2-165

ตารางที่ 2-52 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่) 2-166

ตารางที่ 2-53 แสดงการสรุปผลการสำรวจภาพรวมปี 2567

 ค่า IRI RUT และ MPD สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา) 2-167

ตารางที่ 2-54 จำนวนสายทางที่ได้จากการคัดเลือก 2-169

ตารางที่ 2-55 ภาพรวมค่าความเรียบภายหลังการซ่อมด้วยวิธีการเสริมผิว 2-170

ตารางที่ 2-56 ค่า IRI หลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

 นำกลับมาใช้ใหม่ และงานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ 2-172

ตารางที่ 2-57 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง 2-174

ตารางที่ 2-58 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต 2-174

ตารางที่ 2-59 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง) 2-179

ตารางที่ 2-60 ระยะทางต่อ 2 ช่องจราจรแบ่งตามช่วงปริมาณจราจรตามมาตรฐานชั้นทาง 2-180

ตารางที่ 2-61 เกณฑ์คุณภาพถนนสำหรับแต่ละประเภททางหลวง

 รัฐเพนซิลเวเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา 2-181

ตารางที่ 2-62 ประเภททางหลวงจำแนกตามรูปแบบทางกายภาพและระดับปริมาณการจราจร 2-182

**สารบัญตาราง (ต่อ)**

**หน้า**

ตารางที่ 2-63 เกณฑ์คุณภาพถนนสำหรับแต่ละประเภททางหลวงของกรทางหลวง 2-182

ตารางที่ 2-64 เป้าหมายคุณภาพถนนสำหรับแต่ละประเภททางหลวงของกรมทางหลวง 2-182

ตารางที่ 2-65 วิธีซ่อมและราคาต่อหน่วยงานบำรุงรักษา 2-183

ตารางที่ 2-66 ราคาต่อหน่วยงานบำรุงรักษา สำหรับถนนแต่ละประเภทและช่วงค่า IRI 2-183

ตารางที่ 2-67 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากข้อมูลการสำรวจในโครงการปี 2567

 สำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง 2-184

ตารางที่ 2-68 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากข้อมูลสำนักบริหารบำรุงทาง

 และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง 2-185

ตารางที่ 2-69 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากการวิเคราะห์โดย TPMS ในปี 2569 (ก่อนได้รับงบ) 2-188

ตารางที่ 2-70 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากการวิเคราะห์โดย TPMS ในปี 2569

 จำแนกตามสำนักงานทางหลวง 2-189

ตารางที่ 2-71 รายละเอียดการซ่อมบำรุงทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2568 แบบไม่จำกัดงบประมาณ 1 ปี 2-190

ตารางที่ 2-72 สัดส่วนวิธีการซ่อมบำรุงแบ่งตามสำนักงานทางหลวง 2-193

ตารางที่ 2-73 ค่า IRI เฉลี่ยตามแผนและปีงบประมาณ 5 ปี 2-199

ตารางที่ 2-74 ผลการวิเคราะห์งบประมาณ ปี 2569 2-200

ตารางที่ 2-75 ร่างเนื้อหาสื่อประชาสัมพันธ์ 2-203

ตารางที่ 3-1 สรุประยะทางส่งมอบจากในระบบ Roadnet

 ในร่างรายงานขั้นสุดท้าย (Draft Final Report) 3-1

ตารางที่ 3-2 สรุประยะทางสำรวจตามพื้นที่สำนักงานทางหลวง

 และพื้นที่แขวงทางหลวงแบบแยกประเภทอุปกรณ์สำรวจ 3-14

ตารางที่ 4-1 สรุปจำนวนวันที่พบปัญหาและอุปสรรคระหว่างการสำรวจ 4-8

ตารางที่ 4-2 สรุปปัญหาและอุปสรรคการนำเข้าข้อมูลผ่านระบบ Roadnet 4-19

ตารางที่ 4-3 สรุปปัญหาและอุปสรรคการตรวจสอบข้อมูลผ่านระบบ Roadnet 4-20

ตารางที่ 5-1 สรุปรายการส่งมอบงาน 5-4

**สารบัญรูป**

**หน้า**

รูปที่ 1-1 ภาพรวมการดำเนินงานโครงการ 1-3

รูปที่ 2-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง 2-2

รูปที่ 2-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ 2-3

รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับขั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำ

 และความถี่ ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพรไฟล์

 ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950 2-4

รูปที่ 2-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 2-5

รูปที่ 2-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ 2-5

รูปที่ 2-6 แสดงการทำงานเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 2-6

รูปที่ 2-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS) 2-7

รูปที่ 2-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง 2-8

รูปที่ 2-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer

 ติดตั้งที่ระยะ +-/ 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ 2-9

รูปที่ 2-10 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว 2-9

รูปที่ 2-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD 2-10

รูปที่ 2-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD 2-10

รูปที่ 2-13 กราฟแสดงค่าการ Bounce Test 2-11

รูปที่ 2-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ Block Calibration 2-11

รูปที่ 2-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser 2-12

รูปที่ 2-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความฝืดของผิวทางในระดับ Macro-Texture 2-12

รูปที่ 2-17 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E965-15 2-13

รูปที่ 2-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15 2-13

รูปที่ 2-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) 2-17

รูปที่ 2-20 กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง 2-19

รูปที่ 2-21 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง 2-21

รูปที่ 2-22 ตัวอย่างภาพถ่ายที่มีขนาดความกว้างยาวครอบคลุมผิวทาง และทรัพย์สินข้างเขตทาง 2-24

รูปที่ 2-23 เครื่องมือวัดความเร่ง 2-25

รูปที่ 2-24 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง 2-25

รูปที่ 2-25 เครื่องวัดระยะทาง 2-26

รูปที่ 2-26 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล 2-27

**สารบัญรูป (ต่อ)**

**หน้า**

รูปที่ 2-27 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล 2-27

รูปที่ 2-28 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ 2-28

รูปที่ 2-29 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม 2-29

รูปที่ 2-30 หลักการทำงานของการรับพิกัดและค่าแก้ DGPS 2-29

รูปที่ 2-31 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) 2-30

รูปที่ 2-32 แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง 2-31

รูปที่ 2-33 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจากระบบ Plannet 2-32

รูปที่ 2-34 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจากระบบ MIIS 2-32

รูปที่ 2-35 เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ใช้ในงานซ่อมบำรุงจากระบบ HRIS 2-33

รูปที่ 2-36 เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง 2-33

รูปที่ 2-37 แผนที่แสดงแผนการสำรวจสายทางแบ่งตามประเภทของสายทาง 2-39

รูปที่ 2-38 พื้นที่ทดสอบที่ 1 ทางหลวงหมายเลข 352 ตอน 100 2-41

รูปที่ 2-39 พื้นที่ทดสอบที่ 2 ทางหลวงหมายเลข 3592 ตอน 100 2-41

รูปที่ 2-40 พื้นที่ทดสอบที่ 3 ทางหลวงหมายเลข 3312 ตอน 200 2-42

รูปที่ 2-41 พื้นที่ทดสอบที่ 4 ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 2-42

รูปที่ 2-42 ส่วนประกอบของแผนภูมิ Boxplot (Lind, 2023) 2-44

รูปที่ 2-43 ส่วนประกอบของแผนภูมิ Boxplot (สถาบันนวัตกรรมและธรรมาภิบาลข้อมูล, 2022) 2-44

รูปที่ 2-44 Boxplots ค่า IRI ของรถสำรวจทั้ง 5 คัน 2-47

รูปที่ 2-45 Boxplots ค่า RUT ของรถสำรวจทั้ง 5 คัน 2-49

รูปที่ 2-46 Boxplots ค่า MPD ของรถสำรวจทั้ง 5 คัน 2-51

รูปที่ 2-47 ที่มา : Lavrakas (2008) 2-53

รูปที่ 2-48 LCMS คำนวณค่า IRI มาจากค่าเฉลี่ยจุดเลเซอร์ทั้งหมดในร่องล้อ

 (Wheel Path กว้าง 750 mm) จำนวน 750 จุด ทำให้มีข้อมูลสำรวจ

 สำหรับคำนวณค่า IRI จำนวนมากกว่า 2-54

รูปที่ 2-49 (ก) LASER PROFILER ใช้ข้อมูลจากเลเซอร์ 2 จุด บริเวณกึ่งกลางร่องล้อ

 (ข.) LCMS มีจำนวนเลเซอร์ทั้งสิ้น 4,096 จุด เก็บข้อมูลได้กว้าง 4.0 ม.

 (ค.) การแบ่งพื้นที่ร่องล้อสำหรับคำนวณค่า IRI ของ LCMS 2-55

รูปที่ 2-50 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 7 จุด ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ 2-56

รูปที่ 2-51 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 15 จุด ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ 2-56

รูปที่ 2-52 แสดงความแตกต่างระหว่างจำนวนจุดเลเซอร์ในการเก็บข้อมูลสภาพทาง 2-57

**สารบัญรูป (ต่อ)**

**หน้า**

รูปที่ 2-53 แสดงการเก็บข้อมูลด้วยชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่ได้จำนวน 4,096 จุด Rutting 2-57

รูปที่ 2-54 อุปกรณ์เลเซอร์ของรถสำรวจลักษณะที่ 1 ที่ใช้สำหรับเก็บค่า MPD 2-59

รูปที่ 2-55 แสดงการเก็บข้อมูลด้วยชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่ได้จำนวน 4,096 จุด

 Mean Profile Depth: MPD 2-59

รูปที่ 2-56 แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ 2-61

รูปที่ 2-57 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 352 ตอนควบคุม 0100

 อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile 2-61

รูปที่ 2-58 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3592 ตอนควบคุม 0100

 อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile 2-61

รูปที่ 2-59 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 3312 ตอนควบคุม 0200

 อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile 2-62

รูปที่ 2-60 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 3050 ตอนควบคุม 0100

 อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile 2-62

รูปที่ 2-61 เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง LCMS คันที่ 1 2-63

รูปที่ 2-62 เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง LCMS คันที่ 2 2-64

รูปที่ 2-63 การ Calibrate อุปกรณ์สำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 2-65

รูปที่ 2-64 เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง Laser Profiler คันที่ 2 2-66

รูปที่ 2-65 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด 2-68

รูปที่ 2-66 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง 2-68

รูปที่ 2-67 แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน 2-69

รูปที่ 2-68 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน 2-70

รูปที่ 2-69 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่สองช่องจราจร 2-70

รูปที่ 2-70 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ 2-71

รูปที่ 2-71 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้ 2-71

รูปที่ 2-72 แสดงภาพเมื่อไม่สามารถเข้าสำรวจได้ เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง

 ทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้ 2-72

รูปที่ 2-73 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความลึกร่องล้อบนผิวทาง 2-73

รูปที่ 2-74 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง 2-73

รูปที่ 2-75 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง 2-74

รูปที่ 2-76 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์ 2-75

**สารบัญรูป (ต่อ)**

**หน้า**

รูปที่ 2-77 แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress)

 จากอุปกรณ์ ROMDAS Pavement Camera 2-75

รูปที่ 2-78 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง 2-77

รูปที่ 2-79 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS 2-78

รูปที่ 2-80 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุด

 ได้ที่ 4,090x10,000 Pixels 2-82

รูปที่ 2-81 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง 2-83

รูปที่ 2-82 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process

 ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ LCMS Process 2-84

รูปที่ 2-83 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง 2-85

รูปที่ 2-84 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่

 ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้างบนระบบ Roadnet3 2-85

รูปที่ 2-85 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว

 พร้อมบ่งชี้ช่วง กม. บนระบบ Roadnet3 ได้ 2-86

รูปที่ 2-86 ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล

 และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb 2-88

รูปที่ 2-87 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล

 ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL 2-88

รูปที่ 2-88 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS)

 โดยพิจารณาถึงระบบ พิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บ

 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม 2-89

รูปที่ 2-89 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ 2-89

รูปที่ 2-90 แสดงพิกัดค่าความเสียหายที่สัมพันธ์กับสายทางสำรวจ 2-90

รูปที่ 2-91 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS)

 ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน 2-90

รูปที่ 2-92 แสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลจากรถสำรวจเข้าสู่ฐานข้อมูล Roadnet3 2-92

รูปที่ 2-93 แสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลความเสียหายผิวทาง

 จากรถสำรวจเข้าสู่ฐานข้อมูล Roadnet3 2-93

รูปที่ 2-94 แสดงแบบจำลองโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ตามมาตรฐาน ISO/OGC 2-94

รูปที่ 2-95 การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลภูมิสารสนเทศ 2-95

**สารบัญรูป (ต่อ)**

**หน้า**

รูปที่ 2-96 การ Convert (\*.csv file) to Shapefile (Point) 2-95

รูปที่ 2-97 การ Convert Points to Paths 2-96

รูปที่ 2-98 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจ

 ในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB) 2-97

รูปที่ 2-99 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรมให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล 2-97

รูปที่ 2-100 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลบัญชีสายทาง 2-98

รูปที่ 2-101 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลสำรวจจากสำนักบำรุงทาง 2-98

รูปที่ 2-102 แสดงจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน GCP 2-103

รูปที่ 2-103 แสดงจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1 2-104

รูปที่ 2-104 แสดงจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 2 2-104

รูปที่ 2-105 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง 2-113

รูปที่ 2-106 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS) 2-115

รูปที่ 2-107 แสดงภาพ Database Storage คงเหลือ 18 TB ณ ปัจจุบัน 2-116

รูปที่ 2-108 แสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin 2-116

รูปที่ 2-109 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet

 บนฐานข้อมูล phpPgadmin 2-117

รูปที่ 2-110 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet3 2-118

รูปที่ 2-111 การตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก 2-119

รูปที่ 2-112 การตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map 2-120

รูปที่ 2-113 การตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวลาดยาง 2-120

รูปที่ 2-114 การตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวลาดยาง 2-121

รูปที่ 2-115 กราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่ 2-121

รูปที่ 2-116 การแสดงผลสภาพความเสียหายลาดยาง 2-122

รูปที่ 2-117 การแสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต 2-123

รูปที่ 2-118 การแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก 2-124

รูปที่ 2-119 การแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง 2-124

รูปที่ 2-120 การตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน 2-125

รูปที่ 2-121 การแสดงการแสดงพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 1102 2-125

รูปที่ 2-122 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง 2-126

รูปที่ 2-123 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC5 2-127

**สารบัญรูป (ต่อ)**

**หน้า**

รูปที่ 2-124 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ 2-128

รูปที่ 2-125 QR code LINE Open Chat สำหรับแจ้งระบบ HRIS 2-132

รูปที่ 2-126 QR code LINE Open Chat Roadnet Survey สำหรับเจ้าหน้าที่ส่วนภูมิภาค 2-132

รูปที่ 2-127 ตัวอย่างเอกสารในการแจ้งผล กรณีหลักกิโลเมตรแสดงผลบนระบบ Roadnet3

 ไม่ตรงกับกิโลเมตรข้อมูลสํารวจ โดยระบุหมายเลขสายทางหลวง ตอนควบคุม

 และข้อมูลช่วงหลักกิโลเมตร 2-133

รูปที่ 2-128 ค่าเฉลี่ย IRI จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง 2-136

รูปที่ 2-129 ค่าเฉลี่ย RUT จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง 2-138

รูปที่ 2-130 ค่าเฉลี่ย MPD จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง 2-140

รูปที่ 2-131 กราฟการกระจายของค่า IRI โครงข่ายทางหลวง 2-141

รูปที่ 2-132 ค่าเฉลี่ย IRI สำนักงานทางหลวงที่มีค่าต่ำกว่าการปฏิบัติราชการ 90.35 % 2-143

รูปที่ 2-133 ค่าเฉลี่ย RUT สำนักงานทางหลวงกลุ่มที่ 1 2-145

รูปที่ 2-134 ค่าเฉลี่ย RUT สำนักงานทางหลวงกลุ่มที่ 2 2-146

รูปที่ 2-135 ค่าเฉลี่ย MPD สำนักงานทางหลวง 2-148

รูปที่ 2-136 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง 2-169

รูปที่ 2-137 ภาพรวมของค่าความเรียบก่อนและหลังการเสริมผิวในแต่ละสายทาง 2-170

รูปที่ 2-138 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างค่า IRI หลังการซ่อมแบบเสริมผิว 2-171

รูปที่ 2-139 ผลสำรวจ IRI หลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ 2-173

รูปที่ 2-140 ผลสำรวจ IRI หลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการบูรณะผิวทาง 2-173

รูปที่ 2-141 เงื่อนไขการซ่อมจากรอยแตกของผิวทาง (Cracking) ลงในวิธีการซ่อม Para Slurry Seal 2-175

รูปที่ 2-142 เปรียบเทียบปริมาณงานจาก TPMS โดยมีเงื่อนไขการซ่อมจากรอยแตกและไม่มีรอยแตก 2-175

รูปที่ 2-143 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับความเร็วยานพาหนะ 2-178

รูปที่ 2-144 เกณฑ์ค่า IRI ในการชี้วัดคุณภาพในการให้บริการของถนนของประเทศต่าง ๆ 2-179

รูปที่ 2-145 ค่าดัชนีความเรียบของผิวทางหลวง (IRI) ของโครงข่ายทั้งประเทศ 2-185

รูปที่ 2-146 การทำงานของระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS

 (Thailand Pavement Management System) 2-186

รูปที่ 2-147 การคัดเลือกข้อมูลก่อนนำเข้าโปรแกรม TPMS 2-188

รูปที่ 2-148 ค่าซ่อมบำรุงแยกตามสำนักงานทางหลวง 2-191

รูปที่ 2-149 กราฟแสดงค่า IRI ของแผนงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปี 2-198

รูปที่ 2-150 ร้อยละของค่า IRI ที่น้อยกว่า 3.5 ในแต่ละปีงบประมาณ 2-199

**สารบัญรูป (ต่อ)**

**หน้า**

รูปที่ 2-151 ความสัมพันธ์ผลประโยชน์ ผลประโยชน์สุทธิและค่า B/C 2-201

รูปที่ 2-152 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของถนนในโครงข่ายที่ค่า IRI < 3.5 ม./กม.

 กับงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในปี 2569 (เฉพาะถนนลาดยาง) 2-201

รูปที่ 4-1 สรุปผลการดำเนินงานและผลการล่าช้าคิดเป็นร้อยละ รวม 2 อุปกรณ์ 4-2

รูปที่ 4-2 สรุปผลระยะทางสำรวจ 18 สำนักงานทางหลวง 4-3

รูปที่ 4-3 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC4 รวม 2 อุปกรณ์ 4-4

รูปที่ 4-4 สรุปผลระยะทางนำส่งข้อมูล QC4 18 สำนักงานทางหลวง 4-5

รูปที่ 4-5 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC5 รวม 2 อุปกรณ์ 4-6

รูปที่ 4-6 สรุปผลระยะทางนำส่งข้อมูล QC5 18 สำนักงานทางหลวง 4-7

รูปที่ 4-7 ฝนตกระหว่างการสำรวจ 4-9

รูปที่ 4-8 พบการก่อสร้างถนนในระหว่างสำรวจ 4-10

รูปที่ 4-9 DMI ชำรุดระหว่างการสำรวจ 4-11

รูปที่ 4-10 GPS ชำรุดระหว่างการสำรวจ 4-12

รูปที่ 4-11 FPGA & Eeprom ชำรุดระหว่างการสำรวจ 4-13

รูปที่ 4-12 นำรถเข้าศูนย์ตรวจเช็คระยะระหว่างการสำรวจ 4-14

รูปที่ 4-13 กล้องบันทึกภาพถ่ายเขตทางขัดข้องระหว่างการสำรวจ 4-15

รูปที่ 4-14 น้ำท่วมขังระหว่างการสำรวจ 4-16

รูปที่ 4-15 มีการปิดถนนในสายทางสำรวจ 4-17

รูปที่ 4-16 ภาพตัวอย่างความผิดปกติของข้อมูล 4-18

รูปที่ 4-17 เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ตอบกลับโดยผู้ผลิต 4-18

รูปที่ 4-18 ภาพประกอบปัญหาไม่สามารถ Upload ภาพขึ้นบน Server Roadnet3 4-20

รูปที่ 5-1 แผนการดำเนินงานโครงการ 5-5