



สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 ความเป็นมาของโครงการ และวัตถุประสงค์ของโครงการ	1-1
1.1 หลักการและเหตุผล	1-1
1.2 คำจำกัดความ	1-2
1.3 วัตถุประสงค์	1-4
บทที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2-1
บทที่ 3 ขอบเขตของงาน	3-1
3.1 พื้นที่สำรวจ	3-1
3.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง	3-1
3.3 การสำรวจสภาพทาง	3-3
3.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ	3-4
3.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet	3-5
3.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet	3-6
3.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวง	3-7
3.8 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง	3-8
3.9 การจัดทำสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ	3-8
บทที่ 4 แนวทางและวิธีการศึกษาตามขอบเขตของงานที่กำหนด	4-1
4.1 พื้นที่สำรวจ	4-1
4.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง	4-4
4.3 การสำรวจสภาพทาง	4-31
4.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ	4-66
4.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet	4-91
4.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet	4-119
4.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน ของผิวทางในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง	4-139
4.8 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง	4-210
4.9 การจัดทำสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ	4-212





สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 แผนดำเนินงาน และแผนการทำงานของบุคลากรในโครงการ.....	5-1
5.1 เอกสารรายงานและกำหนดการส่งมอบ	5-1
5.2 ระยะเวลาดำเนินการและแผนดำเนินการ (Master Plan).....	5-5
5.3 แผนการทำงานของบุคลากรในโครงการ	5-6

ภาคผนวก ก สรุปข้อเสนอแนะและรายละเอียดข้อสรุปจากการประชุมหารือโครงการสำรวจฯ



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4-1 แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ	4-2
ตารางที่ 4-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).....	4-16
ตารางที่ 4-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).....	4-17
ตารางที่ 4-4 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS	4-18
ตารางที่ 4-5 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS	4-20
ตารางที่ 4-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).....	4-22
ตารางที่ 4-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)	4-22
ตารางที่ 4-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	4-24
ตารางที่ 4-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง อุปกรณ์ LCMS.....	4-24
ตารางที่ 4-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) ...	4-25
ตารางที่ 4-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง.....	4-26
ตารางที่ 4-12 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS).....	4-30
ตารางที่ 4-13 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางปี 2565	4-35
ตารางที่ 4-14 ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 ตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง	4-36
ตารางที่ 4-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง).....	4-39
ตารางที่ 4-16 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนการสำรวจ.....	4-44
ตารางที่ 4-17 ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ	4-49
ตารางที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	4-55
ตารางที่ 4-19 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละ Section	4-56
ตารางที่ 4-20 ตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section	4-57
ตารางที่ 4-21 ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	4-58
ตารางที่ 4-22 ข้อมูลตัวอย่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน.....	4-59
ตารางที่ 4-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)	4-59
ตารางที่ 4-24 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง.....	4-70
ตารางที่ 4-25 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต	4-70
ตารางที่ 4-26 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง	4-79



สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-27 แสดงตัวอย่างชื่อแฉวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE)....4-107

ตารางที่ 4-28 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง4-111

ตารางที่ 4-29 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน4-115

ตารางที่ 4-30 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (Qc3) กระบวนการภายใน4-121

ตารางที่ 4-31 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์4-125

ตารางที่ 4-32 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต4-127

ตารางที่ 4-33 ระดับความสอดคล้องของข้อมูล (สายรุณ สุกก้า และคณะ, 2559)4-150

ตารางที่ 4-34 แบบจำลองและสูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น4-154

ตารางที่ 4-35 การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM 44-160

ตารางที่ 4-36 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการเกิดรอยแตกของตามโครงสร้าง (Structural Cracking)
ตามการศึกษาของ HDM 44-163

ตารางที่ 4-37 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกกว้างทั้งโครงสร้าง
(Progression of All Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4.....4-164

ตารางที่ 4-38 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกกว้างตามแนวกว้าง
(Progression of Wide Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 44-164

ตารางที่ 4-39 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดรอยแตกสะท้อน
(Initiation of Reflection Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 44-165

ตารางที่ 4-40 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกสะท้อน
(Progression of Reflection Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 44-165

ตารางที่ 4-41 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการสีก้อน (Initiation of Ravelling)
ตามการศึกษาของ HDM 44-166

ตารางที่ 4-42 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดการสีก้อน
(Progression of Ravelling) ตามการศึกษาของ HDM 44-167

ตารางที่ 4-43 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ
(Initiation of Potholing) ตามการศึกษาของ HDM 44-167

ตารางที่ 4-44 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดหลุมบ่อ
(Progression of Potholing) ตามการศึกษาของ HDM 44-168

ตารางที่ 4-45 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Initial Densification)
ตามการศึกษาของ HDM 44-170





สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4-46 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการเสียรูปของชั้นโครงสร้างทาง (Structural Deformation) ตามการศึกษาของ HDM 4.....	4-170
ตารางที่ 4-47 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) ตามการศึกษาของ HDM 4.....	4-171
ตารางที่ 4-48 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณสัดส่วนช่องว่างของส่วนผสม (Voids in mix : VIM) ตามการศึกษาของ HDM 4.....	4-171
ตารางที่ 4-49 ตัวแปรที่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงช่องว่างส่วนผสมในมวลรวมที่ลดลง ในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (Decrease in voids during an analysis year) ตามการศึกษาของ HDM 4.....	4-172
ตารางที่ 4-50 ตัวแปรที่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ (Incremental increase in plastic deformation in analysis) ตามการศึกษา HDM 4.....	4-172
ตารางที่ 4-51 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการเกิดการสึกหรอของพื้นผิว (Surface wear).....	4-173
ตารางที่ 4-52 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการเกิดความลึกร่องล้อทั้งหมด (Total Rut Depth).....	4-173
ตารางที่ 4-53 ระดับค่าของ SFC ที่ความเร็ว 50 กม./ชม สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท.....	4-174
ตารางที่ 4-54 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าความต้านทานการลื่นไถลที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีที่วิเคราะห์ พิจารณาที่ความเร็ว 50 กม./ชม.	4-175
ตารางที่ 4-55 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ สิ้นปีที่วิเคราะห์.....	4-175
ตารางที่ 4-56 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนด ความเร็วจราจรเฉลี่ย.....	4-175
ตารางที่ 4-57 ประเภทชั้นผิวทางคอนกรีต.....	4-181
ตารางที่ 4-58 ค่า Present Serviceability Rating (PSR).....	4-184
ตารางที่ 4-59 หน่วยการวัดของแสง.....	4-203
ตารางที่ 4-60 ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ FWD.....	4-207
ตารางที่ 5-1 สรุปรายการส่งมอบงานการศึกษา.....	5-4
ตารางที่ 5-2 บุคลากรหลักในการดำเนินงานโครงการ.....	5-6
ตารางที่ 5-3 บุคลากรสนับสนุนในการดำเนินงานโครงการ.....	5-7



สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5-4 การจำแนกหน้าที่และลักษณะงานต่าง ๆ ของที่ปรึกษาหลักในโครงการ.....	5-9
ตารางที่ 5-5 การจำแนกหน้าที่และลักษณะงานต่าง ๆ ของที่ปรึกษาหลักในโครงการ.....	5-10



สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ภาพรวมการดำเนินงานโครงการ	2-3
รูปที่ 4-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง.....	4-3
รูปที่ 4-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ	4-5
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับชั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำ และความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพโรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950.....	4-5
รูปที่ 4-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์	4-7
รูปที่ 4-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ	4-7
รูปที่ 4-6 แสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์	4-8
รูปที่ 4-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS).....	4-9
รูปที่ 4-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง.....	4-10
รูปที่ 4-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer ติดตั้งที่ ระยะ +/- 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ	4-10
รูปที่ 4-10 การตรวจวัดความถี่ร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว	4-11
รูปที่ 4-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD	4-11
รูปที่ 4-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD.....	4-12
รูปที่ 4-13 กราฟแสดงค่าการ bounce test	4-13
รูปที่ 4-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ block calibration.....	4-13
รูปที่ 4-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser.....	4-14
รูปที่ 4-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความผิดของผิวทางในระดับ Macro-texture	4-14
รูปที่ 4-17 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E965-15	4-15
รูปที่ 4-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15	4-15
รูปที่ 4-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS)	4-19
รูปที่ 4-20 กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง	4-21
รูปที่ 4-21 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง	4-23
รูปที่ 4-22 เครื่องมือวัดความเร่ง	4-25
รูปที่ 4-23 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง	4-26
รูปที่ 4-24 เครื่องวัดระยะทาง	4-27
รูปที่ 4-25 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล	4-27



สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-26 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล	4-28
รูปที่ 4-27 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ	4-28
รูปที่ 4-28 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม	4-29
รูปที่ 4-29 หลักการทำงานของารรับพิกัดและค่าแก้ DGPS.....	4-29
รูปที่ 4-30 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU).....	4-30
รูปที่ 4-31 แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง.....	4-31
รูปที่ 4-32 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจาก ระบบ Planet.....	4-32
รูปที่ 4-33 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจาก ระบบ MIIS	4-32
รูปที่ 4-34 เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ใช้ในงานซ่อมบำรุง ระบบ HRIS	4-32
รูปที่ 4-35 เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง	4-33
รูปที่ 4-36 แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565.....	4-43
รูปที่ 4-37 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050, 3052, 33 และ 3049	4-45
รูปที่ 4-38 Section ที่ 1 และ Section ที่ 2.....	4-45
รูปที่ 4-39 Section ที่ 3 และ Section ที่ 4.....	4-46
รูปที่ 4-40 Section ที่ 5.....	4-46
รูปที่ 4-41 Sectionที่ 6	4-47
รูปที่ 4-42 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง มีพื้นที่ทางโค้งและทางลาดชัน	4-47
รูปที่ 4-43 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3052 ตอน 100 ผิวทางคอนกรีต	4-48
รูปที่ 4-44 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 33 ตอน 501 ผิวทางลาดยาง ที่มีความเสียหายของผิวทางค่อนข้างมาก.....	4-48
รูปที่ 4-45 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3049 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง.....	4-49
รูปที่ 4-46 แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ.....	4-50
รูปที่ 4-47 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจทั้ง 3 คัน	4-51
รูปที่ 4-48 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่1	4-51
รูปที่ 4-49 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่2	4-52



สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-50 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 3	4-52
รูปที่ 4-51 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจทั้ง 3 คัน	4-53
รูปที่ 4-52 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 1	4-53
รูปที่ 4-53 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 2	4-54
รูปที่ 4-54 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 3	4-54
รูปที่ 4-55 ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4.....	4-61
รูปที่ 4-56 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง	4-62
รูปที่ 4-57 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด	4-62
รูปที่ 4-58 แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน	4-63
รูปที่ 4-59 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน	4-63
รูปที่ 4-60 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่ช่องจราจร	4-64
รูปที่ 4-61 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น.....	4-64
รูปที่ 4-62 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้	4-65
รูปที่ 4-63 แสดงภาพเมื่อไม่สามารถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง ทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้.....	4-65
รูปที่ 4-64 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง.....	4-66
รูปที่ 4-65 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความถี่ร่องล้อบนผิวทาง	4-66
รูปที่ 4-66 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง.....	4-67
รูปที่ 4-67 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์.....	4-68
รูปที่ 4-68 แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress) จากอุปกรณ์ ROMDAS pavement camera	4-69
รูปที่ 4-69 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง.....	4-71
รูปที่ 4-70 ภาพรวมการประมวลผลของของระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)	4-72
รูปที่ 4-71 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090 x 10000 pixels.....	4-78
รูปที่ 4-72 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง.....	4-78
รูปที่ 4-73 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process.....	4-80
รูปที่ 4-74 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS.....	4-81



สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-75 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง.....	4-82
รูปที่ 4-76 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง บนระบบ Roadnet.....	4-82
รูปที่ 4-77 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว บนระบบ Roadnet ได้.....	4-83
รูปที่ 4-78 ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb	4-85
รูปที่ 4-79 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL.....	4-86
รูปที่ 4-80 ตัวอย่างข้อมูล Rutting.....	4-87
รูปที่ 4-81 ตัวอย่างข้อมูล IRI	4-87
รูปที่ 4-82 ตัวอย่างข้อมูล MPD	4-88
รูปที่ 4-83 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิง ที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม	4-88
รูปที่ 4-84 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ	4-89
รูปที่ 4-85 แสดงตัวอย่างข้อมูลประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS.....	4-90
รูปที่ 4-86 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลที่เกิดความเสียหาย สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน	4-90
รูปที่ 4-87 แสดงโครงสร้างข้อมูลปริภูมิตามมาตรฐาน OGC.....	4-92
รูปที่ 4-88 การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลภูมิสารสนเทศ	4-92
รูปที่ 4-89 การ convert (*.csv file) to shapefile (point)	4-93
รูปที่ 4-90 การ convert points to Paths.....	4-93
รูปที่ 4-91 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจ ในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB).....	4-94
รูปที่ 4-92 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล	4-94
รูปที่ 4-93 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลบัญชีสายทาง	4-95
รูปที่ 4-94 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลสำรวจจากสำนักบำรุงทาง.....	4-96



สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-95 แสดงตัวอย่างจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน GPC.....	4-108
รูปที่ 4-96 แสดงตัวอย่างจุด GPC และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1	4-109
รูปที่ 4-97 แสดงตัวอย่างจุด GPC และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 2	4-109
รูปที่ 4-98 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง.....	4-114
รูปที่ 4-99 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS).....	4-115
รูปที่ 4-100 แสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin.....	4-116
รูปที่ 4-101 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin.....	4-117
รูปที่ 4-102 เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ STA 2+025 – 2+050 บนทางหลวงหมายเลข 1257 ตอนควบคุม 100 แขวงทางหลวงน่านที่ 1	4-118
รูปที่ 4-103 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet.....	4-120
รูปที่ 4-104 ตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก	4-122
รูปที่ 4-105 ตัวอย่างการตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map.....	4-122
รูปที่ 4-106 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวคอนกรีต	4-123
รูปที่ 4-107 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวแอสฟัลต์	4-123
รูปที่ 4-108 ตัวอย่างกราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่.....	4-124
รูปที่ 4-109 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายแอสฟัลต์	4-126
รูปที่ 4-110 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายแอสฟัลต์	4-126
รูปที่ 4-111 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต.....	4-127
รูปที่ 4-112 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายคอนกรีต.....	4-127
รูปที่ 4-113 แสดงจุดพิกัดค่าความเสียหายผิวทาง ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่ายความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS)	4-128
รูปที่ 4-114 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก	4-129
รูปที่ 4-115 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง	4-130
รูปที่ 4-116 ตัวอย่างการตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน	4-130
รูปที่ 4-117 ตัวอย่างการแสดงผลการแสดงผลพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 1102.....	4-131
รูปที่ 4-118 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง.....	4-133
รูปที่ 4-119 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC5	4-134



สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-120 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ.....	4-135
รูปที่ 4-121 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง	4-140
รูปที่ 4-122 รหัสสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System	4-142
รูปที่ 4-123 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU).....	4-143
รูปที่ 4-124 อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS	4-144
รูปที่ 4-125 ผลการประมวลผลค่าลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิต จากการสำรวจด้วยระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)	4-145
รูปที่ 4-126 The position of all three axes	4-146
รูปที่ 4-127 หลักการคำนวณค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade).....	4-146
รูปที่ 4-128 การกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement).....	4-147
รูปที่ 4-129 สถิติที่ใช้วัดความสอดคล้องจำแนกตามชนิดของข้อมูล (สายवरुณ สุกก้า และคณะ, 2559).....	4-148
รูปที่ 4-130 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเลือกใช้แบบจำลองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น	4-152
รูปที่ 4-131 Simple Linear Regression.....	4-156
รูปที่ 4-132 Scatter plot แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ใน 3 ลักษณะ	4-156
รูปที่ 4-133 แสดงตัวอย่างการนำข้อมูลค่าความลาดชัน ค่าความลาดเอียง ค่าระดับความสูง และค่ารัศมีทางโค้ง	4-158
รูปที่ 4-134 ตัวอย่างการออกแบบการแสดงผลบนแผนที่หลายระดับ	4-159
รูปที่ 4-135 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิตูมินัส	4-161
รูปที่ 4-136 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากความหนาของชั้นผิวทาง.....	4-169
รูปที่ 4-137 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปพลาสติกของพื้นผิว.....	4-169
รูปที่ 4-138 สรุปองค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความขรุขระตามการศึกษาของ HDM 4	4-178
รูปที่ 4-139 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : ไม่มีลูกเต๋อย.....	4-180
รูปที่ 4-140 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : มีลูกเต๋อย	4-180
รูปที่ 4-141 รูปแบบถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าว.....	4-180
รูปที่ 4-142 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง	4-181
รูปที่ 4-143 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวคอนกรีต	4-182
รูปที่ 4-144 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Faulting	4-182
รูปที่ 4-145 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Spalling.....	4-183



สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-146 รูปแบบการเกิด Transverse Cracking.....	4-184
รูปที่ 4-147 แนวทางการเปรียบเทียบแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของระบบ TPMS กับสำนักวิจัยและพัฒนาทาง.....	4-189
รูปที่ 4-148 เครื่องมือ Fixed Slip.....	4-191
รูปที่ 4-149 เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT).....	4-192
รูปที่ 4-150 ตัวเครื่องทดสอบ DFT (หน่วย มิลลิเมตร).....	4-193
รูปที่ 4-151 Water Supply (หน่วย มิลลิเมตร).....	4-194
รูปที่ 4-152 แผ่นยางทดสอบ (Rubber slider).....	4-195
รูปที่ 4-153 อุปกรณ์ Road Stripe Assessment at Highway Speeds.....	4-196
รูปที่ 4-154 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือ Pavement Marking Retro Reflectivity กับยานพาหนะ.....	4-196
รูปที่ 4-155 มาตรฐาน ASTM E1710 และ EN 1436.....	4-198
รูปที่ 4-156 รูปแบบการตรวจวัดตามแบบจำลองการมองเห็นที่ระยะ 30 เมตร.....	4-198
รูปที่ 4-157 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลขณะรถเคลื่อนที่.....	4-199
รูปที่ 4-158 ตัวอย่างการระบุค่าพิกัดในระบบ GPS ของข้อมูล.....	4-199
รูปที่ 4-159 ตัวอย่างการแสดงผล และบันทึกผลการสำรวจแบบ Real-time Data Acquisition and Analysis.....	4-200
รูปที่ 4-160 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) และความสว่าง (Luminance, L).....	4-201
รูปที่ 4-161 ตัวอย่างของแสงไฟที่ทำให้เกิด Disability and Discomfort Glare.....	4-202
รูปที่ 4-162 อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique.....	4-204
รูปที่ 4-163 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์บนถนน.....	4-205
รูปที่ 4-164 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ภายในพาหนะ.....	4-205
รูปที่ 4-165 ตัวอย่างภาพที่ได้ขณะใช้งานโหมดการถ่ายภาพต่อเนื่อง.....	4-206
รูปที่ 4-166 ตัวอย่างรถตู้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD.....	4-206
รูปที่ 4-167 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์ทดสอบ FWD.....	4-207
รูปที่ 4-168 ตัวอย่างการติดตั้ง Geophone บริเวณรอยต่อของผิวทางคอนกรีต.....	4-208
รูปที่ 4-169 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “ไม่มีความเสียหาย”.....	4-209
รูปที่ 4-170 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “พบโพรงใต้คันทางที่ความลึก 0.3 เมตร จากผิวทาง”.....	4-209



สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-171 ตัวอย่างการจัดทำวีดิทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการ.....	4-212
รูปที่ 5-1 แผนผังบริหารโครงการ.....	5-8