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 การจัดทำสื่อวีดีทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ 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 การจัดทำสื่อวีดีทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ 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
ตารางที่ 4-27 แสดงตัวอย่างชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) 4-107

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-28 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง 4-111
ตารางที่ 4-29 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน 4-115
ตารางที่ 4-30 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (Qc3) กระบวนการภายใน 4-121
ตารางที่ 4-31 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์ 4-125
ตารางที่ 4-32 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต 4-127
ตารางที่ 4-33 ระดับความสอดคล้องของข้อมูล (สายวรุณ สุกกำ่า และคณะ, 2559) 4-150
ตารางที่ 4-34 แบบจำลองและสูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น 4-154
ตารางที่ 4-35 การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM 4 4-160
ตารางที่ 4-36 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการเกิดรอยแตกของตามโครงสร้าง (Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-163
ตารางที่ 4-37 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกร้าวทั้งโครงสร้าง (Progression of All Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-164
ตารางที่ 4-38 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกร้าวตามแนวกว้าง (Progression of Wide Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-164
ตารางที่ 4-39 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดรอยแตกสะท้อน (Initiation of Reflection Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-165
ตารางที่ 4-40 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกสะท้อน (Progression of Reflection Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-165
ตารางที่ 4-41 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการสึกร่อน (Initiation of Ravelling) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-166
ตารางที่ 4-42 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดการสึกร่อน (Progression of Ravelling) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-167
ตารางที่ 4-43 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ (Initiation of Potholing) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-167
ตารางที่ 4-44 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดหลุมบ่อ (Progression of Potholing) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-168
ตารางที่ 4-45 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Initial Densification) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-170
ตารางที่ 4-46 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการเสียรูปของชั้นโครงสร้างทาง (Structural Deformation) ตามการศึกษาของ HDM 4 4-170

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

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 ตัวแปรที่ใช้ในการถอธิบายการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก 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 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย 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
ตารางที่ 5-4 การจำแนกหน้าที่และลักษณะงานต่าง ๆ ของที่ปรึกษาหลักในโครงการ 5-9
ตารางที่ 5-5 การจำแนกหน้าที่และลักษณะงานต่าง ๆ ของที่ปรึกษาหลักในโครงการ 5-10

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 ภาพรวมการดำเนินงานโครงการ 2-3
รูปที่ 4-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง 4-3
รูปที่ 4-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ 4-5
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับขั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำ และความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950 4-5
รูปที่ 4-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 4-7
รูปที่ 4-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ 4-7
รูปที่ 4-6 แสดงการทำงานเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 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 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 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 ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความฝืดของผิวทางในระดับ 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
รูปที่ 4-26 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล 4-28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-27 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ 4-28
รูปที่ 4-28 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม 4-29
รูปที่ 4-29 หลักการทำงานของการรับพิกัดและค่าแก้ 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 Plannet 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
รูปที่ 4-50 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่3 4-52

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

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 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่สองช่องจราจร 4-64
รูปที่ 4-61 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น 4-64
รูปที่ 4-62 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้ 4-65
รูปที่ 4-63 แสดงภาพเมื่อไม่สามาถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง ทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้ 4-65
รูปที่ 4-64 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง 4-66
รูปที่ 4-65 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความลึกร่องล้อบนผิวทาง 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
รูปที่ 4-75 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง 4-82
รูปที่ 4-76 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง บนระบบ Roadnet 4-82

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

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) ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย 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
รูปที่ 4-95 แสดงตัวอย่างจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน GPC 4-108
รูปที่ 4-96 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1 4-109
รูปที่ 4-97 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 2 4-109
รูปที่ 4-98 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง 4-114

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

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 ตัวอย่างการแสดงการแสดงพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 1102 4-131
รูปที่ 4-118 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง 4-133
รูปที่ 4-119 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC5 4-134
รูปที่ 4-120 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ 4-135
รูปที่ 4-121 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง 4-140
รูปที่ 4-122 รถสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System 4-142
รูปที่ 4-123 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) 4-143
รูปที่ 4-124 อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS 4-144

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

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 (สายวรุณ สุกก่ำ 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 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิทูมินัส....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 : ไม่มีลูกเดือย....4-180
รูปที่ 4-140 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : มีลูกเดือย 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
รูปที่ 4-146 รูปแบบการเกิด Transverse Cracking....4-184
รูปที่ 4-147 แนวทางการเปรียบเทียบแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของระบบ TPMS กับสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง....4-189
รูปที่ 4-148 เครื่องมือ Fixed Slip....4-191
รูปที่ 4-149 เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT)....4-192

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

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 ตัวอย่างการแสดง 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
รูปที่ 4-171 ตัวอย่างการจัดทำวีดีทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการ 4-212
รูปที่ 5-1 แผนผังบริหารโครงการ 5-8