แนวทางการปรับปรุงชั้นพื้นทางบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย

The Improvement Guidelines Of Soil Cement Base On Highway 12, Wangthong - Kek Noi

นฤดม ศรีโรย

รัตติพงษ์ เก่งธัญญกรณ์

ฮาริซ ยิหวาซ้อน

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2561

1-61CE011

ใบรับรองโครงงาน

ชื่อหัวข้อ	แนวทางการปรับปรุงชั้นพื้นทางบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง - เข็กน้อย	
ชื่อนักศึกษา	นายนฤดม	ศรีโรย
	นายรัตติพงษ์	เก่งธัญญกรณ์
	นายฮาริซ	ยิหวาซ้อน
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชาโครงงานวิศวกรรมโยธา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง

.....

(ดร.ชิษณุ อัมพรายน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

หัวข้อ	แนวทางการปรับปรุงชั้นพื้นทางบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง - เข็กน้อย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชิษณุ อัมพรายน์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ (Abstract)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงชั้นพื้นทางดินซีเมนต์บนทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย กม.250+000 – กม.280+000 โดยพิจารณาปัจจัยความเสียหายที่ส่งผลเกิดขึ้นถึงชั้นพื้นทาง ซึ่งทำการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นในระดับขั้นสูงตาม คู่มือการตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทางปี 2550 ของกรมทางหลวง โดยมีความเสียหายเกิดขึ้นทั้งหมด 7,477.72 ตารางเมตร จำแนกตามลักษณะความเสียหายได้ 4 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นความเสียหายชนิดรอยแตกหนังจระเข้ จำนวน 2,526.97 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.58 ของพื้นที่ความเสียหายในสนาม โดยจะเกิดความเสียหายมากที่สุดบริเวณช่องจราจรฝั่งซ้ายด้ายนอก ของทั้ง 2 ด้านของทิศทางจราจร และจะเสียหายเพิ่มขึ้นเมื่อเป็นทางขึ้นเขา จากนั้นทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนผสมในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง โดยกำหนดวัสดุทดสอบ 4 ชนิดและทำการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength พบว่าจากรูปแบบทั้งหมด 7รูปแบบ 35 อัตราส่วนผสม มี 2 รูปแบบ คือรูปแบบที่ 5 วัสดุชั้นทางเดิมร้อยละ 75 กับ กากยางร้อยละ 25 และรูปแบบที่ 6 วัสดุชั้นทางเดิมร้อยละ 50 กับ กากยางร้อยละ 50 ที่ทำการเพิ่มปูนซีเมนต์ร้อยละ 3 ของวัสดุมวลรวม เหมาะสมแก่การใช้งานและอยู่ในงบประมาณที่ต้องการ

คำสำคัญ : กากยาง / Milling Asphalt / ดินซีเมนต์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ดร.ชิษณุ อัมพรายน์ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงาน ที่เสียสละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆในการทำวิจัย จนทำให้โครงงานเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณกรรมการสอบโครงงานทุกท่าน ได้แก่ ดร.ชิษณุ อัมพรายน์ อ. สุรพันธ์ สันติยานนท์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมวุธ วิศวไพศาล ที่คอยให้ความรู้ รวมไปถึงให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) ที่อนุเคราะห์สถานที่ห้องทดสอบ และให้คำปรึกษาต่างๆเกี่ยวกับการทดสอบเพื่อให้การจัดทำโครงงานเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญ(ต่อ)	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญรูปภาพ(ต่อ)	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ขอบเขตการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่น่าจะได้รับจากการศึกษา	2
1.4 คำถามการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 โครงสร้างชั้นทาง	3
2.2 การตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง Flexible Pavement	5
2.3 วัสดุชั้นพื้นทาง	8
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน	10
2.5 ทฤษฎีในการออกแบบการทดสอบการปรับปรุงชั้นโครงสร้างพื้นทาง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการโครงการ	17
3.1 รวบรวมข้อมูลทฤษฎีและมาตรฐานอ้างอิงในการศึกษาโครงงาน	18
3.2 การตรวจสอบและวิเคราะห์พื้นที่เสียหายในสนาม	18
3.3 กำหนดคุณสมบัติ และ ชนิดวัสดุที่ใช้ปรับปรุงในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง	25
3.4 กำหนดการออกแบบอัตราส่วนและวิธีการในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง	26
3.5 การกำหนดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบ Unconfined Compressive Strength	31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 วิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดสอบ 32

3.7 สรุปผลการวิจัย 33

บทที่ 4 ผลการดำเนินการโครงการ 34

4.1 การตรวจสอบและวิเคราะห์พื้นที่เสียหายในสนาม 34

4.2 การเก็บตัวอย่างวัสดุในการทดสอบ 43

4.3 การทดสอบการหาอัตราส่วนวัสดุมวลรวมเพื่อปรับปรุงโครงสร้างชั้นพื้นทาง 44

4.4 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength 48

4.5 วิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดสอบ 51

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 63

5.1 สรุปผลการวิจัย 63

5.2 ข้อเสนอแนะ 64

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ค

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลลักษณะความเสียหาย 21
ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลระดับความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อชั้นพื้นทาง 22
ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลปริมาณความเสียหายทุกๆระยะทาง 1 กิโลเมตร 23
ตารางที่ 3.4 ตาราการเลือกใช้วัสดุมวลรวมในการทดสอบ 28
ตารางที่ 3.5 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมในตัวอย่างทดสอบ , กรัม 29
ตารางที่ 3.6 ตารางบันทึกผลการทดสอบค่า Optimum Moisture Content 30
ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างในการทดสอบ 31
ตารางที่ 4.1 ตารางการตรวจสอบพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12
ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – 280+000 36
ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์ค่าความเสียหายถึงชั้นพื้นทางเปรียบเทียบกับ
ความเสียหายทั้งหมดในภาคสนาม 36
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นบนระยะทาง 1 กิโลเมตร 38
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทดสอบค่า Optimum Moisture Content และ
Maximum Dry Density 46
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงปริมาณฝ้าที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ 47
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength 49
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบลักษณะและพื้นที่ความเสียหายในสนาม 51
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบพื้นที่เสียหายถึงชั้นโครงสร้างพื้นทางกับพื้นที่เสียหายในสนาม 52
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่เสียหายถึงโครงสร้างชั้นพื้นทางกับกายภาพของถนน 56
ตารางที่ 4.10 แสดงรูปแบบที่ค่า Unconfined Compressive Strength
ที่การบ่ม 7 วัน ที่ผ่านมาตรฐาน 57
ตารางที่ 4.11 แสดงรูปแบบค่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน และ
การบ่มที่ 28 วัน ที่ผ่านเกณฑ์เพื่อเลือกใช้เป็นอัตราส่วนผสมในการปรับปรุง 59
ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบราคาวัสดุในการปรับปรุงทั้ง 6 รูปแบบ 62

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย 1

รูปที่ 2.1 โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) 3

รูปที่ 2.2 การกระจายน้ำหนักของโครงทางทางแบบ Flexible Pavement 4

รูปที่ 2.3 การกระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทาง 4

รูปที่ 2.4 รอยแตกรอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack) 7

รูปที่ 2.5 ร่องล้อ (Rutting) 7

รูปที่ 2.6 การปูดนูน (Shoving) 8

รูปที่ 2.7 ทรายสภาพหลวมเริ่มต้น 12

รูปที่ 2.8 ทรายสภาพแน่นเริ่มต้น 12

รูปที่ 2.9 แสดงสถานะStress โดย Mohr’s Circle 13

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟในการหาค่า (Optimum Moisture Content)
และ (Maximum Dry Density) 15

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 17

รูปที่ 3.2 แผนที่ขอบเขตโครงการ ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย
ระหว่าง กม250+000 – 280+00 19

รูปที่ 3.3 ลักษณะและชนิดของความเสียหายบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 20

รูปที่ 3.4 ลักษณะการวัดพื้นที่ความเสียหาย 20

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างผังจำแนกความเสียหาย 24

รูปที่ 3.6 แผนผังระดับ Profile ความละเอียดทุกๆระยะ 500 เมตร 24

รูปที่ 3.7 วัสดุดินซีเมนต์ชั้นทางเดิม 25

รูปที่ 3.8 วัสดุหินคลุก (Crushed Rock) 25

รูปที่ 3.9 วัสดุกากยาง (Milling Asphalt) 26

รูปที่ 3.10 ผังแสดงความสัมพันธ์วัสดุในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง 27

รูปที่ 3.11 การเลือกใช้วัสดุในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง 28

รูปที่ 4.1 รูปแสดงความเสียหายแบบรอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack) ในภาคสนาม 34

รูปที่ 4.2 รูปแสดงความเสียหายแบบการปูดนูน (Shoving) ในภาคสนาม 35

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 รูปแสดงความเสียหายแบบร่องล้อ (Rutting) ในภาคสนาม 35
รูปที่ 4.4 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.251+000 – 253+000 39
รูปที่ 4.5 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.253+000 – 255+000 40
รูปที่ 4.6 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.267+000 – 269+000 41
รูปที่ 4.7 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.277+000 – 279+000 42
รูปที่ 4.8 การเก็บตัวอย่างวัสดุชั้นทางดินผสมซีเมนต์ที่เกิดความเสียหาย 43
รูปที่ 4.9 การเก็บตัวอย่างวัสดุหินคลุกเพื่อใช้ในการทดสอบ 43
รูปที่ 4.10 การเก็บตัวอย่างวัสดุวัสดุกากยางแอสฟัลต์ (Milling Asphalt) เพื่อใช้ในการทดสอบ 44
รูปที่ 4.11 รูปการเตรียมตัวอย่างวัสดุ 45
รูปที่ 4.12 การทดสอบ Standard Proctor Test 45
รูปที่ 4.13 กราฟการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) และ ค่า Water Content (%) 46
รูปที่ 4.14 การเก็บตัวอย่างก้อนทดสอบ Unconfined Compressive Strength 47
รูปที่ 4.15 รูปการแช่ตัวอย่างการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ก่อนนำไปทดสอบ 2 ชั่วโมง 48
รูปที่ 4.16 การทดสอบ Unconfined Compressive Strength 48
รูปที่ 4.17 แผนที่แบ่งช่วงระยะทาง ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – กม.260+000 53
รูปที่ 4.18 แผนที่แบ่งช่วงระยะทาง ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.260+000 – กม.270+000 54
รูปที่ 4.19 แผนที่แบ่งช่วงระยะทาง ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.270+000 – กม.280+000 55
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน 57

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน 58

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน , 7 วัน และ 28 วัน 59

รูปที่ 4.23 รูปแผนที่แสดงระยะขนส่งวัสดุหินคลุกจากโรงโม่ อ.ทองแสนขัน ถึง กม.265+000 ระยะทาง 110 กิโลเมตร 61

รูปที่ 4.24 รูปแผนที่แสดงระยะขนส่งวัสดุหินคลุกจากโรงโม่ อ.ทองแสนขัน ถึง กม.265+000 ระยะทาง 6 กิโลเมตร 61

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ทางหลวงแผ่นดินปัจจุบันได้มีการก่อสร้างขยายเพิ่มเส้นทางในการรองรับการจราจรที่เพิ่มขึ้นโดยเพื่อให้เหมาะสมกับเส้นทางที่มีปริมาณการจราจรค่อนข้างมากปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันมากกว่า 10,000 คันต่อวัน ส่วนใหญ่การออกแบบผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) นั้นชั้นพื้นทาง (Base) จะนิยมใช้เป็นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) หรือ หินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) แต่จะมีบางสายทางที่จำเป็นต้องดำเนินการก่อสร้างให้ได้ระยะทางตามต้องการในวงเงินงบประมาณที่จำกัดซึ่งทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย เป็นหนึ่งในโครงการที่ก่อสร้างโดยงบประมาณที่จำกัดแต่ต้องการระยะทางเพื่อให้ครอบคลุมระยะทาง 4 ช่องจราจรจาก จังหวัดพิษณุโลก ไป จังหวัดเพชรบูรณ์

ปัจจุบันทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย กม.250+000 - กม.280+000 ระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร ตั้งอยู่ที่ อ.วังทอง จ.พิษณุโลก ได้มีการขยายเพิ่มช่องจราจรจากเดิม 2 ช่องจราจรเป็น 4 ช่องจราจรและออกแบบชั้นทางเป็น ดินผสมปูนซีเมนต์ (Soil Cement Base) ซึ่งทางหลวงดังกล่าวมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันถึง 20,000 คันต่อวัน ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างชั้นพื้นทางอย่างรวดเร็วหลังดำเนินการก่อสร้างเสร็จ ดัง**รูปที่ 1.1** ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย

รูปที่ 1.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย

จึงจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงเส้นทางดังกล่าวแต่งบประมาณโครงการก่อสร้าง ซ่อมแซมทางหลวงประจำปีนั้นไม่เพียงพอที่จะสามารถแก้ไขปัญหาทั้งหมดตลอดเส้นทางได้ทำให้หน่วยงานในกรมทางหลวงที่มีหน้าที่ซ่อมบำรุงเส้นทางอย่างหมวดทางหลวงต้องทำการแก้ไขและดูแลเส้นทางดังกล่าวเพื่อเป็นการชะลอและบรรเทามิให้ความเสียหายเกิดการลุกลามไปมากกว่ากว่าที่เป็นอยู่ แต่เนื่องจากวัสดุที่ใช้ซ่อมบำรุงและงบประมาณของหมวดทางหลวงที่มีจำกัด ทำให้สามารถวัสดุในการซ่อมบำรุงได้หลากหลายนักรวม ปัจจุบันมีเพียงแค่ หินคลุก (Crushed Rock) และ กากยางแอสฟัลต์ (Milling Asphalt) ที่เป็นวัสดุในการซ่อมบำรุงหลักและยังไม่มีคู่มือ หรือ วิธีการทางวิชาการและหลักวิศวกรรมในการซ่อมบำรุง ชั้นพื้นทางดินผสมปูนซีเมนต์จึงทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะทำให้การซ่อมบำรุงที่จะทำให้เกิดความเสียหายและสิ้นเปลืองวัสดุและงบประมาณหากมีการซ่อมบำรุงที่ไม่ถูกต้อง

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.1.1 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายและระดับความเสียหายบนชั้นพื้นทางบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย

1.1.2 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถนนที่ส่งผลกระทบกับความเสียหายที่เกิดขึ้นบนชั้นพื้นทาง

1.1.3 เพื่อหาอัตราส่วนผสมในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

1.1.4 เพื่อจัดทำแนวทางปฏิบัติในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1.2.1 การประเมินลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ตามคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง , สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบปี 2550 กรมทางหลวง

1.2.2 การประเมินความเสียหายเฉพาะส่วนที่เป็นโครงสร้างทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) เท่านั้น

1.2.3 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นวัสดุเดียวกันกับที่ใช้งานจริงในงานซ่อมบำรุงทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง - เข็กน้อย

1.2.4 หลักเกณฑ์การประเมินค่าความแข็งแรงของชั้นพื้นทางใช้ตามมาตรฐาน ทล.-ม.203/2556 และ ทล.-ม.204/2556 ของกรมทางหลวงเป็นการประเมินค่าความแข็งแรงของชั้นพื้นทาง

1.3 ประโยชน์ที่น่าจะได้รับจากการศึกษา

1.3.1 สามารถนำข้อมูลเพื่อนำไปประกอบจัดทำแผนการซ่อมบำรุงทางหลวงหมายเลข 12ตอน วังทอง – เข็กน้อย ในอนาคตต่อไปได้

1.3.2 ทำให้ทราบแนวทางเลือกวัสดุที่มีจำกัดในการซ่อมบำรุงชั้นพื้นทางดินผสมซีเมนต์ทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อยได้อย่างเหมาะสมและถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

1.4 คำถามการศึกษา

1.4.1 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเสียหายมีปัจจัยอะไรบ้าง

1.4.2 การพิจารณาค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่เหมาะสมแก่การใช้ปรับปรุงควรอยู่ที่เท่าไร

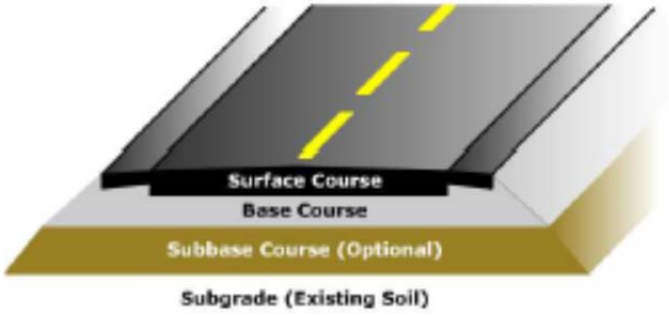
1.4.3 รูปแบบที่เหมาะสมในการใช้ปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย กม.250+000 - กม.280+000 มีกี่รูปแบบ และ มีเหตุผลในการเลือกใช้อย่างไร

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาหาแนวทางในการปรับปรุงชั้นทางโดยใช้วัสดุที่มีอยู่จำกัดจำเป็นต้องหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับปรุงโดยจะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับชั้นโครงสร้างทางแบบยืดหยุ่น การประเมินและตรวจสอบความเสียหายของงานถนน ,คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง และทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบมาใช้เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาการทำโครงงานในครั้งนี้

2.1 โครงสร้างชั้นทาง

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างชั้นทางแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) และโครงสร้างชั้นทางแบบแกร่งตัว (Rigid Pavement) ซึ่งในโครงงานนี้จะศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของโครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว ได้แก่ ถนนลาดยาง ประกอบด้วยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหรือเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ชั้นพื้นทาง ชั้นรองพื้นทาง ชั้นวัสดุคัดเลือก ตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement)

- **ชั้นวัสดุคัดเลือก (Select Material Course)**

ชั้นที่ก่อสร้างอยู่บนชั้นวัสดุดินเดิม (Subgrade Course) โดยวัสดุที่ใช้นำมาปรับปรุงคุณภาพจะก้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยจะใช้ลูกรังหรือทรายในการปรับปรุงคุณภาพดิน

- **ชั้นรองพื้นทาง (Sub Base Course)**

ชั้นที่ก่อสร้างอยู่บนชั้นวัสดุคัดเลือก (Select Material Course) วัสดุมวลรวม ต้องเป็นวัสดุที่มีความคงทน มีส่วนหยาบผสมกับส่วนละเอียดที่มี คุณภาพเป็นวัสดุเชื้อประสานที่ดีปราศจากก้อนดินเหนียว และวัชพืช วัสดุที่ใช้นำมาปรับปรุงคุณภาพจะก้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25% ชั้นรองพื้นทางทำหน้าที่ในการป้องกันความชื้นจากดินสู่ชั้นพื้นทาง

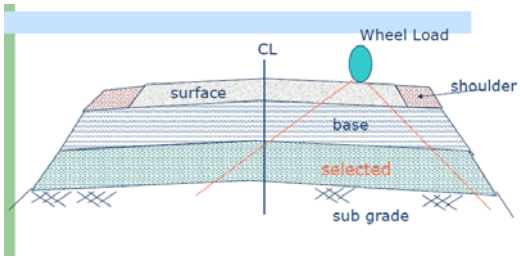
- **ชั้นพื้นทาง (Base Course)**

ชั้นที่ก่อสร้างอยู่ใต้ผิวทางทำหน้าที่รับแรงโดยตรงจากผิวทางโดยทั่วไปจะใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงและมีคุณภาพสูงในการก่อสร้าง เช่น หินคลุก (Crushed Rock) และยังสามารถเพิ่มกำลังของวัสดุโดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ เช่น ดินซีเมนต์ (Soil Cement) หินคลุกผสมซีเมนต์ (Modified Crushed Rock) วัสดุที่ใช้นำมาปรับปรุงคุณภาพจะก้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80% ชั้นพื้นทางทำหน้าที่ในการป้องกันความชื้นจากดินสู่ชั้นพื้นทาง

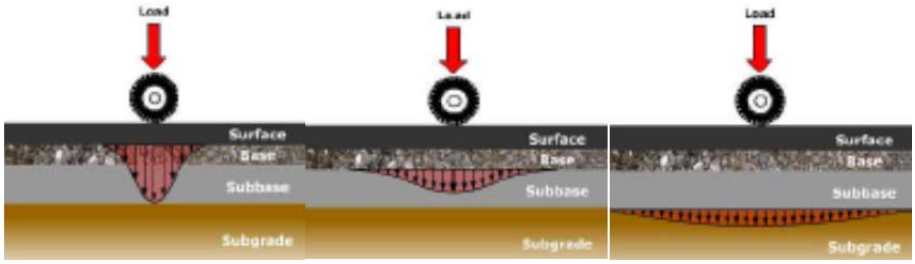
- **ชั้นผิวทาง (Surface Treatment)**

ชั้นผิวทางเป็นชั้นที่ก่อสร้างไว้ด้านบนสุดของชั้นโครงสร้างแบบ Flexible Pavement โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นวัสดุที่สามารถป้องกันมิให้น้ำซึมผ่านชั้นโครงสร้างได้ รวมถึงสามารถรับน้ำหนักเพื่อให้สามรถถ่ายเทลงไปสู้ชั้นโครงสร้างอื่นๆได้ โดยทั่วไปจะเรียกชั้นผิวทางบนสุดของชั้นโครงสร้างแบบ Flexible Pavement ว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphaltic Concrete)

การถ่ายเทน้ำหนักของโครงสร้างทางแบบ (Flexible Pavement) นั้นจะเป็นการกระจายแรงทำมุม 45 องศากับแรงที่กระทำ ตามรูปที่ 2.2 ส่งถ่ายแรงไปยังชั้นพื้นทาง (Base) และ ชั้นรองพื้นทาง (Sub base) เพื่อเป็นการกระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินต่อไป ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การกระจายน้ำหนักของโครงทางทางแบบ Flexible Pavement



รูปที่ 2.3 การกระจายน้ำหนักลงสู่ชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทาง

2.2 การตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง Flexible Pavement

ตามคู่มือการตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทาง[1] ความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีหลายประเภท หลายชนิด แต่ละชนิดความเสียหายอาจเกิดจากสาเหตุเดียวหรือหลายสาเหตุ สาเหตุเดียวอาจทำให้เกิดความเสียหายหลายชนิดได้ บางชนิดความเสียหายอาจเลือกวิธีการซ่อมบำรุงรักษาได้หลายวิธี การตัดสินใจเลือกวิธีซ่อมบำรุงรักษา จึงต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ มาประกอบกัน เช่น คุณสมบัติของชั้นวัสดุ การระบายน้ำบนผิวทาง การระบายน้ำข้างทาง ระดับน้ำใต้ดิน สภาพไหล่ทาง ตลอดจนประวัติการซ่อมบำรุงรักษา

2.2.1 การประเมินลักษณะและชนิดความเสียหายของผิวทาง Flexible Pavement

ข้อมูลสภาพความเสียหายของทางถือว่าเป็นข้อมูลหลักในการพิจารณากำหนดวิธีการซ่อมบำรุงรักษา วิเคราะห์สาเหตุความเสียหาย และทำการปรับปรุงซ่อมแซมได้อย่างถูกต้อง การตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายนี้ ใช้วิธีประเมินด้วยสายตา (Visual Inspection) ตามคำจำกัดความของความเสียหายแต่ละชนิดซึ่งจะอธิบายลักษณะและสาเหตุของความเสียหาย โดยใช้เครื่องมือ ประกอบ เช่น เทปวัดระยะทาง ไม้บรรทัดยาว 2 เมตร (Straight Edge) ลิ่มวัดความลึก (Wedge) เป็นต้น การวัดปริมาณให้ทำการวัดปริมาณตามบริเวณครอบคลุมพื้นที่ความเสียหาย เช่น

- ความยาว (เมตร)
- พื้นที่ (ตารางเมตร)
- ร้อยละของพื้นที่ความเสียหายต่อพื้นที่ที่สำรวจ
- นับเป็นจำนวน,จุด,แห่ง,พื้นที่เสียหาย

การจำแนกประการเสียหายที่เกิดบนผิวทางและความเสียหายที่เกิดจนถึงชั้นโครงสร้าง โดยการจำแนกประเภทความเสียหายต่างๆ ลักษณะความเสียหายของผิวทาง Flexible Pavement แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักคือ

- รอยแตก (Crack)
    - รอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack)
    - รอยแตกตามขอบ (Edge Crack)
    - รอยแตกสะท้อน (Reflection Crack)
    - รอยแตกเป็นตาราง หรือ รอยแตกจากการหดตัว (Block Crack or Shrinkage Crack)
    - รอยแตกเลื่อนไถล (Slippage Crack)
    - รอยแตกตรงขอบรอยต่อ (Edge Joint Crack)

- **การเสียรูปร่าง หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Distortion or Deformation)**
    - ร่องล้อ (Rutting)
    - ผิวขรุขระเป็นลูกคลื่นคล้ายลูกระนาด (Corrugation)
    - การปูดนูน (Shoving)
    - การบวมตัว (Swell or Upheaval)
    - การยุบตัวเป็นแอ่ง (Depression)
    - การทรุดตัวขุดฝังสาธารณูปโภค (utility Cut Depression)
- **รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)**
    - ผิวมวลรวมถูกขัดสีเป็นมัน (Polished Aggregate)
    - การเยิ้ม (Bleeding)
    - การหลุดล่อน (Raveling)
    - หลุมบ่อ (Pot Hole)
    - รอยปะซ่อม (Patching)
- **ความเสียหายอื่นๆ (Miscellaneous Distress)**
    - ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration)
    - การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop off)

2.2.2 ระดับความรุนแรงของความเสียหายบนผิวทาง Flexible Pavement

การวัดปริมาณการขยายตัวของความเสียหาย ความลึก การทรุดตัว ความกว้างของรอยแตกหรือรอยต่อ การบิ่นกะเทาะ คุณภาพในการขับขี่ตามความเสียหายที่ เกิดขึ้น ซึ่งระดับความรุนแรงนี้จะเป็นตัวชี้ถึงการลุกลามความเสียหายที่พัฒนาขึ้นเรื่อยๆโดยมีการแบ่งระดับความเสียหายได้ดังนี้

- เล็กน้อย (Low)
- ปานกลาง (Medium)
- สูง (High)

ลักษณะความเสียหายที่ทำให้เกิดความเสียหายจนถึงชั้นโครงสร้างพื้นทางนั้นจะวิเคราะห์ความเสียหายที่มีผลกระทบจนถึงชั้นพื้นทางนั้นจะกัดอยู่ใน**ระดับความรุนแรงที่ “ขั้นสูง”** จำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุง หรือปรับปรุงอย่างเร่งด่วนมิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายลุกลามเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และความเสียหายที่เกิดขึ้นจากปริมาณการจราจรและการเสียรูปจากน้ำหนักแบกทานมากจนเกินไปตามทฤษฎีจะมีอยู่ 3 ประเภท ดังนี้

- **รอยแตกรอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack)**

รอยแตกหนังจระเข้เป็นรอยแตกต่อเนื่อง (Interconnecting Crack) เนื่องจากความล้าของวัสดุชั้นผิวทางแอสฟัลต์หรือชั้นพื้นทาง โดยน้ำหนักกระทำซ้ำๆของปริมาณการจราจร รอยแตกชนิดนี้จะเริ่มเกิดขึ้นที่ชั้นพื้นทางซึ่งมีความเครียดและความเค้นสูง ภายใต้การกระทำของน้ำหนักของล้อรถ หรือ ความหนาของชั้นโครงสร้างไม่เพียงพอ รอยแตกจะขยายตัวขึ้นมาปรากฏที่ผิวทางหนึ่งเส้นหรือ มากกว่านานกันตามแนวยาว จากนั้นจะเกิดรอยแตกเชื่อมต่อกันเป็นตารางเล็กๆคล้ายหนังจระเข้ ตามรูปที่ 2.4 โดยระดับความเสียหายที่ทำให้เสียหายถึงชั้นพื้นทาง อยู่ในระดับ “ขั้นสูง” จะมีลักษณะความเสียหายเป็นรอยแตกเชื่อมต่อกันจนเป็นตาราง ขยายตัวลุกลามอย่างต่อเนื่องแยกออกเป็นชิ้นส่วนได้ชัดเจนที่ขอบของรอยแตกมีการบิ่นกะเทาะและมีการหลุดล่อน

รูปที่ 2.4 รอยแตกรอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack)

- **ร่องล้อ (Rutting)**

ร่องล้อเป็นผิวจราจรยุบตัวเป็นร่องตามรอยของล้อรถ (Wheel Paths) ตามรูปที่ 2.5 ภายใต้น้ำหนักจราจรหรืออาจจะมีการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Lateral Movement) โดยอาจปรากฏผิวจราจรปูดที่บริเวณขอบของร่องดังกล่าวในคราวเดียวกันมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรของโครงสร้างชั้นทาง ระดับความเสียหายที่ทำให้เสียหายถึงชั้นพื้นทาง อยู่ในระดับ “ขั้นสูง” จะมีลักษณะความเสียหาย ร่องล้อลึกเฉลี่ยมากกว่า 25 มิลลิเมตรขึ้นไป

รูปที่ 2.5 ร่องล้อ (Rutting)

- **การปูดนูน (Shoving)**

การปูดนูนมีลักษณะเป็นรอยนูนหรือรอยทรุดเป็นแอ่งเฉพาะที่ เป็นการเคลื่อนตัวอย่างถาวร (Plastic Movement) ของผิวทางแอสฟัลต์ไปด้านข้างหรือตามขวางตามรูปที่ 2.6 มักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการหยุดรถหรือเริ่มเคลื่อนตัว ตามบริเวณทางแยก บริเวณทางโค้งอันตราย (Sharp Curve) หรือบริเวณลงเนินที่รถยนต์มักจะห้ามล้อบ่อยๆ ในบางกรณีอาจเกิดเป็นบริเวณแนวยาว จะสังเกตเห็นเส้นจราจรคดเคี้ยวไปมา ระดับความเสียหายที่ทำให้เสียหายถึงชั้นพื้นทาง อยู่ในระดับ “ขั้นสูง” จะมีลักษณะความเสียหาย ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือนรุนแรง ความเร็วถูกลดลงอย่างมากเพื่อความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการขับขี่ และหรือการปูดนูนหรือการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทำให้

รูปที่ 2.6 การปูดนูน (Shoving)

2.3 วัสดุชั้นพื้นทาง

ตามคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง [2] วัสดุพื้นทางจะต้องมีความแข็งแรงและมีคุณภาพสูงในการรับน้ำหนัก และ จะต้องมีค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 โดยวัสดุที่ใช้ในการทำชั้นพื้นทางแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ วัสดุที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพ เช่น หินคลุก (Crushed Rock) และ วัสดุที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพแล้ว โดยมาตรฐานชั้นพื้นทางที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพแล้วนั้นจะต้องมีค่า Unconfined Compressive Strength ไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมแรง ต่อตารางเซนติเมตร ในดินซีเมนต์ (Soil Cement) และโดยมาตรฐานชั้นพื้นทางที่ทำการปรับปรุงคุณภาพแล้วนั้นจะต้องมีค่า Unconfined Compressive Strength ไม่น้อยกว่า 24.5 กิโลกรัมแรง ต่อตารางเซนติเมตรในหินคลุกผสมซีเมนต์ (Modified Crushed Rock) ด้วย

- **วัสดุชั้นทางที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพ**

หมายถึงวัสดุที่ยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการผสม เปลี่ยนแปลง หรือ เพิ่มเติมวัสดุมวลรวมอื่นๆเพื่อทำให้สามารถรับกำลังได้ดีขึ้น

หินคลุก เป็นวัสดุหินโม่มวลรวม (Crushed Rock Soil Aggregate Type) ที่มีเนื้อแข็งเหนียว สะอาด ไม่ผุ และปราศจากวัสดุอื่นเจือปนมีค่าความสึกหรอเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองตามวิธี Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

- **วัสดุชั้นทางที่ทำการปรับปรุงคุณภาพ**

หมายถึงวัสดุที่ผ่านขั้นตอนการผสม เปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติมวัสดุมวลรวมอื่นๆเพื่อทำให้สามารถรับกำลังได้ดีขึ้นโดยส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ในการทำให้สามารถรับกำลังได้มากขึ้น

ปูนซีเมนต์ (Portland cement) ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นชนิดปอร์ตแลนด์ที่มีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐาน มอก.15 ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจบรรจุอยู่ในไซโลหรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อนปนอยู่มาใช้งาน

ดินซีเมนต์ (Soil Cement) เป็นการผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับดินละเอียดหรือวัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่ และเมื่อรวมตัวกันและบดอัดจนได้ความหนาแน่นที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ น้ำ ที่ใช้ผสมกับดินนั้น ขึ้นอยู่กับการทดลองหากำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ โดยการทดสอบหากำลังอัดด้วยวิธี Unconfined Compressive Strength เมื่อถูกบดอัดด้วยวิธี Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าเท่ากับ 17.5 กิโลกรัมแรง ต่อตารางเซนติเมตร (250 ปอนด์แรง ต่อตารางนิ้ว)

หินคลุกผสมซีเมนต์ (Modified Crushed Rock) เป็นการผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับหินคลุก เมื่อรวมตัวกันและบดอัดจนได้ความหนาแน่นที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ น้ำ ที่ใช้ผสมกับหินคลุก นั้น ขึ้นอยู่กับการทดลองหากำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ โดยการทดสอบหากำลังอัดด้วยวิธี Unconfined Compressive Strength เมื่อถูกบดอัดด้วยวิธี Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าเท่ากับ 24.5 กิโลกรัมแรง ต่อตารางเซนติเมตร (350 ปอนด์แรง ต่อตารางนิ้ว)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

2.4.1 คุณสมบัติด้านความคงทนและความแข็งแรงของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ (Durability and Strength of Cement-Treated Base Highway Materials)

วสันต์ ปั้นสังข์ และ คณะฯ [3] ได้ทำการศึกษาวัสดุพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ได้ถูก นำมาใช้มากขึ้น เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนวัสดุ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นของการใช้วัสดุประเภทนี้คือการ แตกร้าวที่ผิวทาง สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากการ ละเลยสมบัติด้านกายภาพของวัสดุ และ ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพงานระหว่างการก่อสร้าง ดังนั้นการวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษา ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการใช้ปรับปรุงวัสดุ ชั้นพื้นทางสำหรับหินคลุกและดิน จาก 6 แหล่งวัสดุในประเทศไทย วัสดุตัวอย่างถูกนำมาทดสอบ ในด้านกำลังรับน้ำหนักบรรทุกรวมทั้งความคงทน ของวัสดุในห้องปฏิบัติการ ซึ่งอัตราส่วนของ ซีเมนต์อยู่ในช่วง 1-8% โดยน้ำหนัก ผลการวิจัย ทำให้สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความ คงทนกับค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุขึ้นมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมใน การออกแบบส่วนผสมของดินซีเมนต์ให้กำลังรับ น้ำหนักที่เพียงพอและทนทานต่อสภาวะการใช้งาน

เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานกรม ทางหลวง ปริมาณซีเมนต์ของวัสดุจากจังหวัด กาญจนบุรี(CR) นครราชสีมา (CR) อุตรดิตถ์ (CR) ต้องการปริมาณซีเมนต์ที่ 2.0 1.8 และ 2.3% ตามลำดับ และวัสดุจากจังหวัดเพชรบุรี (AG) ปราจีนบุรี (AG) เพชรบูรณ์ (AG) ต้องการปริมาณซีเมนต์ที่ 3.3 1.1 และ 3.0% ตามลำดับ และ การทดสอบความคงทนโดยวิธี Wetting and Drying Test แสดงให้เห็นว่าค่าความหลุด ร่อนของวัสดุผสมซีเมนต์มีค่าน้อยลงตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ที่ ระดับประมาณ 20% เมื่อมีปริมาณซีเมนต์ 1% และมีค่าน้อยลงจนระดับความหลุดร่อนต่ำกว่า 5% เมื่อปริมาณซีเมนต์สูงขึ้น ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างทางโดยใช้วัสดุที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์คือ การแตกร้าวที่ผิวทางเมื่อเปิดการจราจรได้ไม่นานทั้งนี้สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากการละเลยคุณสมบัติ ด้านกายภาพของวัสดุและประสิทธิภาพในการ ควบคุมคุณภาพงานระหว่างการก่อสร้าง กรณีที่ใส่ปูนซีเมนต์มากเกินไป (มากกว่า 7 %) ทำให้เกิดการแตกร้าวของชั้นพื้นทาง (shrinkage crack) และเกิดการแตกสะท้อนขึ้นไปยังชั้นผิวทาง (reflective cracks)

2.4.2 การปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์ คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์(PAVEMENT REMEDIATON USING SOIL – CEMENT BASE ADMIXED WITH RECYCLED ASPHALT CONCRETE STABILIZATION)

ธงชัย รุ่งเรือง [4] ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้กาลังอัดแกนเดียวตามต้องการ โดยหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทาการศึกษามีอัตราส่วนผสม 3 อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วนผสม 3 ต่อ 1 อัตราส่วนผสม 1 ต่อ 1 และอัตราส่วนผสม 1 ต่อ 3 โดยเปลี่ยนปริมาณปูนซีเมนต์ ในช่วงร้อยละ 2 ถึง 6 ผลการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ และการใช้อัตราส่วนระหว่างน้าหนักน้ากับปูนซีเมนต์ ให้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่กาลังรับแรงอัดแกนเดียว เท่ากันทุกประการ อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างน้าหนักน้ากับปูนซีเมนต์ มีความเหมะสมกว่าในแง่ของปริมาณตัวอย่างที่จะต้องนามาทดสอบ และเมื่อพิจารณาการพัฒนากาลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ปรับปรุงแล้วพบว่า หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่อัตราส่วน 1 ต่อ 3 ไม่เหมาะที่จะนามาใช้เป็นวัสดุมวลรวมเนื่องจากการพัฒนากาลังตามระยะบ่มมีค่าน้อยมาก

2.5 ทฤษฎีในการออกแบบการทดสอบการปรับปรุงชั้นโครงสร้างพื้นทาง

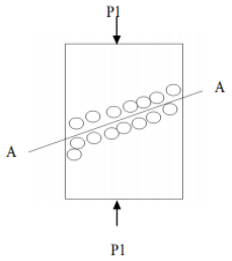
โดยการออกแบบการทดสอบการปรับปรุงโครงสร้างชั้นพื้นทางในโครงงานนี้จะมุ่งเน้นไปที่ค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength ในการรับน้ำหนักของชั้นพื้นทางที่ได้รบการปรับปรุงแล้วเป็นหลักแต่จะต้องทำการเตรียมตัวอย่างซึ่งจะต้องหาค่าความชื้นที่เหมาะสม Optimum Moisture Content ของแต่ละวัสดุที่ใช้ในการทดสอบจึงจำเป็นต้องอ้างอิงทฤษฎีของการบดอัดแบบมาตรฐาน Compaction Test (Standard Proctor) โดยอ้างอิงทฤษฎีดังต่อไปนี้

- **ทฤษฎีแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength)**

Bardet, J. P., Experimental Soil Mechanics [5] ได้นิยามไว้ความแข็งแรงหรือกำลังของดินทั่วไปจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือดินไม่มีแรงเหนี่ยวนำ ซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า-เคมีระหว่างเม็ดดิน แรงเสียดทานซึ่งเกิดจากการขัดตัวระหว่างเม็ดดิน และความฝืดระหว่างผิวของเม็ดดิน ส่วนการทดสอบแท่งดินชนิดมีแรงเหนี่ยวนำ โดยไม่มีวัสดุอื่นใด มาห่อหุ้มแท่งดินตัวอย่าง ให้นำ ดินตัวอย่างมาเข้าเครื่องกดทดสอบแบบธรรมดา ซึ่งได้ถูกทดสอบมานานแล้ว และต่อมาก็เป็นที่ยอมรับกันว่า การที่นำแท่งดินมาทดสอบแบบนี้สามารถที่จะหาความต้านทานแรงเฉือนของดินโดยประมาณได้อย่างรวดเร็ว จากการเขียน Mohr’ s Circle หรือ จากการคำนวณอย่างง่ายๆ ค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินประเภทมีแรงเหนี่ยวนำ คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินนั้นเอง ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็นตัว (c) ดินจำพวกมีแรงเหนี่ยวนำ ได้แก่ดินเหนียว เมื่อดินได้รับแรงกดจะเกิดความเค้นขึ้นที่ผิวสัมผัส

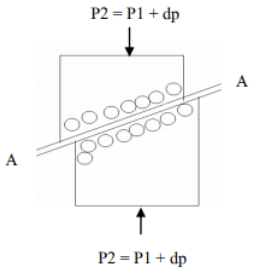
ถ้าดินอยู่ในสภาพหลวมจะทำให้ดินจับตัวกันแน่น ลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินลงแต่ถ้ามีแรงเพิ่มขึ้นอีกจนกระทั่งไม่มีช่องว่างของเม็ดดินเหลืออยู่หรือแรงกระทำเพิ่มมากอย่างรวดเร็วจนทำให้พื้นที่สัมผัสระหว่างเม็ดดินเพิ่มขึ้นไม่ทัน ก็จะทำให้เกิดแรงศักย์ขึ้นภายในมวลดินนั้น ดินก้อนอยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่จะทำให้มวลดินเกิดการพิบัติ และระนาบของการพิบัติเรียกว่าระนาบการเลื่อนไหลความแข็งแรงเฉือนของดิน คือค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ดินจะทนได้ประกอบด้วย

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินเป็นแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเช่น เกิดจากแรงดึงดูดของประจุไฟฟ้าการเกาะต่อเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีเรียกสมบัติของดินนี้ว่า ดินมีความเชื่อมแน่น



รูปที่ 2.7 ทรายสภาพหลวมเริ่มต้น

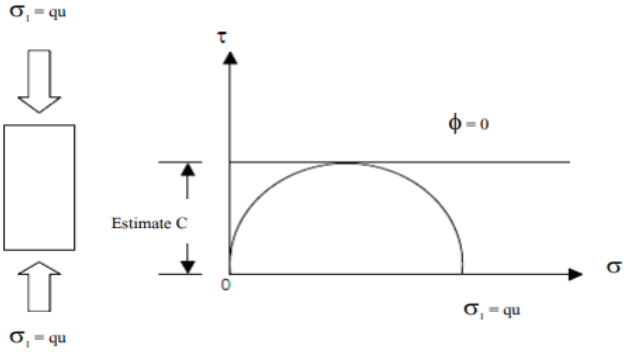
แรงเสียดทานเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ระหว่างเม็ดดิน แรงต้านทานส่วนนี้เรียกว่า แรงเสียดทานภายในจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงกดที่กระทำกับมวลดิน และวัดค่าได้ด้วยค่ามุมเสียดทานของดินภายใน



รูปที่ 2.8 ทรายสภาพแน่นเริ่มต้น

การทดลอง Unconfined Compressive Strength นี้เป็นการทดลองแบบไม่มีการอัดตัวคายน้ำ และไม่มีการระบายน้ำนิยมใช้กับการทดลองกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยความดันรอบข้างมีค่าเป็น ศูนย์แรงในแนวดิ่งกระทำต่อดินตัวอย่างอย่างรวดเร็วการทดลองนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่จะหากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำ SU.โดยถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำใน

มวลดินในระหว่างการทดลอง โดยวิธีการทดลองแบบนี้ไม่สามารถหาค่ามุมเสียดทานภายใน (มุม ϕ) ได้ เนื่องจากการทดลองนี้จะทำแบบเร็วและน้ำยังไม่มีโอกาสระบายออกไปได้ค่ากำลังต้านทานต่อแรงเฉือนจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงกดสูงสุดคือ $\frac{S_U}{2}$ เมื่อ S_U คือกำลังต้านทานแรงกดแบบ Unconfined Compressive Strength และในบางครั้งจะใช้สัญลักษณ์เป็นตัว(c)ก็จะมีค่าเท่ากับ c = $\frac{q_U}{2}$ เมื่อ **qu** = ความต้านทานต่อแรงอัดสูงสุดของดินแบบไม่ถูกจำกัด



รูปที่ 2.9 แสดงสถานะStress โดย Mohr's Circle

ผลที่ได้ก็คือค่า cohesion โดยประมาณของดินนั้น

$$\text{Estimate C} = \frac{\sigma}{2} \qquad (2.1)$$

หรือ

$$= \frac{F_{V\,(MAX)}}{2\,A_C} \qquad (2.2)$$

การหาค่าความต้านทางแรงเฉือนดินโดยวิธีนี้ค่าที่ได้เป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้น ไม่ใช่ค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินที่แท้จริง ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าวิธีการทดสอบมีข้อบกพร่องบางประการเช่น

- แรงดันด้านข้างของดินตัวอย่างที่นำมาทดลองไม่มีจึงทำให้คุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิมเมื่ออยู่ตามธรรมชาติและความชั้นในดินอันเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดแรงตึงผิว ซึ่งจะทำให้แรงที่ยึดรอบ ๆ แท่งตัวอย่างสูญเสียไป (ถ้าภายในห้องทดลองไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ)

- สภาพภายในของดิน (ค่าขีดความอิ่มตัวภายใต้สภาวะที่รับน้ำ หนักระหว่างทดสอบ, และผลของการเปลี่ยนแปลงค่าขีดความอิ่มตัวที่ไม่สามารถควบคุมได้

- แรงเสียดทานระหว่างดินกับโลหะที่ปลายทั้งสองข้างของแท่งทดลองซึ่งทำให้เกิดแรงดันด้านข้างที่ปลายทั้งสองข้าง ทำให้ความเค้นภายในเปลี่ยนแปลงไปและไม่สามารถทราบได้

การทดลองแบบ Unconfined Compressive Strength ตามมาตรฐาน กรมทางหลวงที่ ทล.-ท. 105-2515 **[6]** เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการทดลองดินประเภทดินเหนียว เพราะสามารถทำได้รวดเร็วและประหยัด ค่าที่ออกมาค่อนข้างจะเป็นค่าที่มีความปลอดภัยสูงกว่าที่หาได้จากวิธีการอื่นเมื่อนำค่านั้นมาใช้งานในการทดสอบของส่วนวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) ใช้เครื่องกดแบบให้กำลังอัตโนมัติเพื่อเป็นการเหมาะสมแก่การวิจัยที่มีตัวอย่างจำนวนมากมีรายละเอียดและสูตรการคำนวณเพื่อหาค่า Unconfined Compressive Strength ดังรายการดังต่อไปนี้

- **การหาพื้นที่หน้าตัด**

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \qquad (2.3)$$

เมื่อ A = หน้าตัดรับแรงกด , cm^2

d = เส้นผ่าศูนย์กลางแผ่น Plate รับแรงกด , cm.

- **การหาแรงกด (เครื่องให้แรงอัตโนมัติ)**

$$P = \frac{(Dial\ Reading\ x\ 18.9) - (15)}{2.204} \qquad (2.4)$$

เมื่อ P = แรงกด , kg

- **การหา Unconfined Compressive Strength**

$$\sigma c = \frac{P}{A} \qquad (2.5)$$

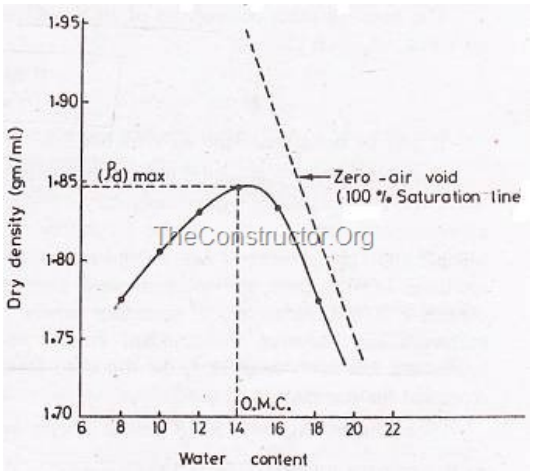
เมื่อ σc = Unconfined Compressive Strength

P = แรงกด

A = พื้นที่หน้าตัด

- **การทดสอบหาค่า Optimum moisture Content**

เพื่อเป็นการหาตัวแปรอิสระในส่วนของ ความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture Content) ในการผสมวัสดุจะต้องทำการทดสอบกำลังอัดแบบมาตรฐาน Standard Proctor Test ตามมาตรฐาน กรมทางหลวง ที่ ทล.-ท.107-2517 [7] การวิจัยในครั้งนี้ใช้ Mold ขนาด 4 นิ้ว ในการเตรียมตัวอย่างจำแนกตามวัสดุโดยการทดสอบใช้น้ำหนักเป็นตัวประเมินโดยเตรียมวัสดุให้ได้น้ำหนักที่ 3,000 กรัม โดยวัสดุมวลรวมหยาบต้องร่อนผ่านตะแกรงขนาด ¾ นิ้ว และ ทำการเพิ่มน้ำประมาณ 2-3% ทำการบดอัดด้วยค้อน ขนาด 10 ปอนด์ ระยะตก 18 นิ้ว แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำมาทดสอบใหม่โดยการเพิ่มน้ำเข้าไปแล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ ตาม**ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง**เพื่อทำการหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) และ ความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) ของวัสดุในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟในการหาค่า (Optimum Moisture Content) และ (Maximum Dry Density)

โดยมีสูตรในการคำนวณตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

- **การหาค่าปริมาณร้อยละของน้ำในดิน**

$$w = \frac{(M1-M2)}{M2} \times 100 \qquad (2.6)$$

เมื่อ w = ปริมาณร้อยละของน้ำในดิน

M1 = มวลดินเปียก ,กรัม

M2 = มวลดินแห้ง ,กรัม

- **การคำนวณหาความหนาแน่นเปียก (Wet Density)**

$$\rho_t = \frac{A}{V} \qquad (2.7)$$

เมื่อ ρ_t = ความหนาแน่นเปียก ,กรัมต่อมิลลิเมตร

A = มวลดินเปียกที่บดอัดแน่นใน Mold ,กรัม

V = ปริมาตรของ Mold ,มิลลิลิตร

- **การคำนวณหาความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)**

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}} \qquad (2.8)$$

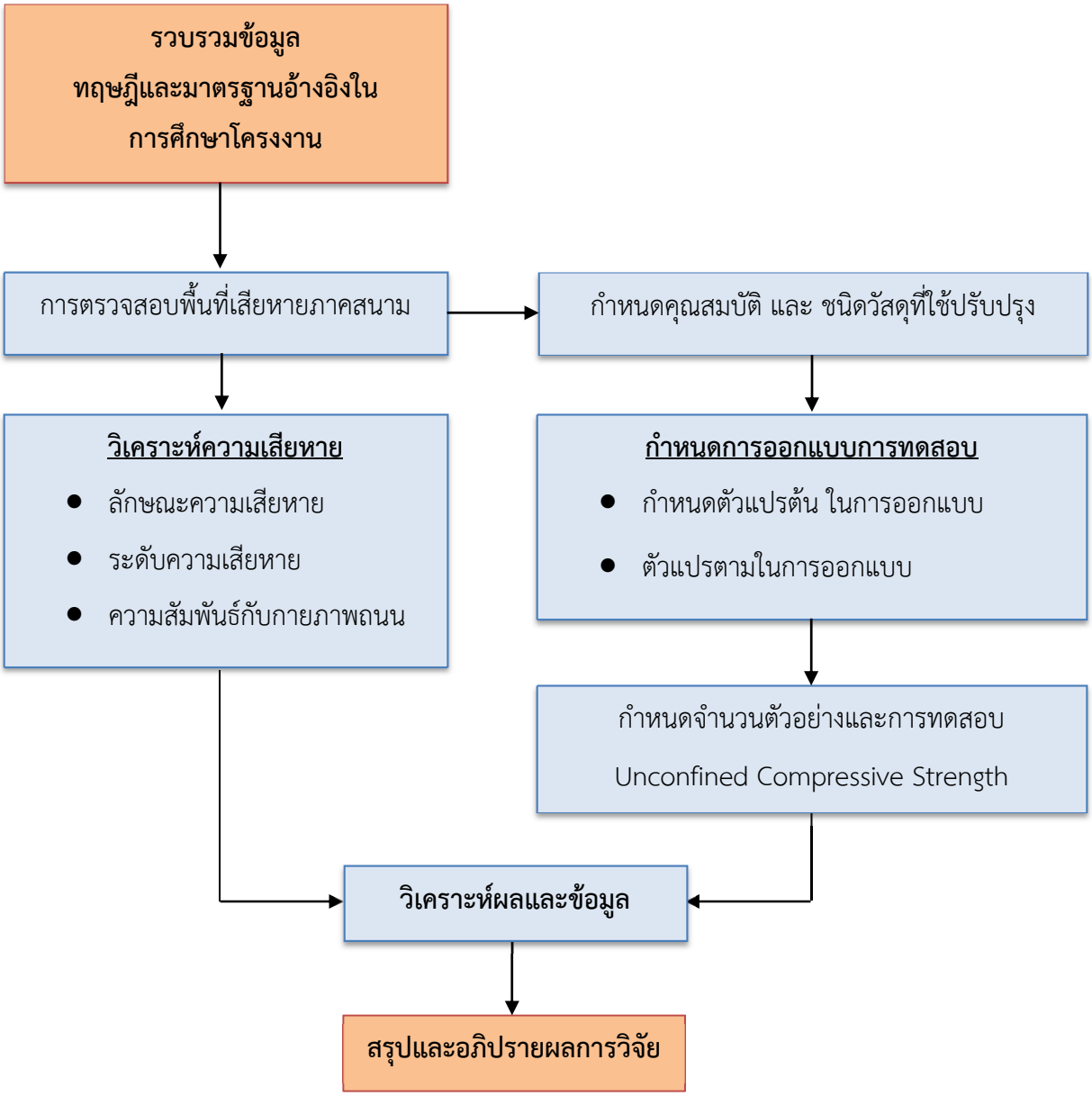
เมื่อ ρ_d = ความหนาแน่นแห้ง ,กรัมต่อมิลลิเมตร

ρ_t = ความหนาแน่นเปียก ,กรัมต่อมิลลิเมตร

w = ปริมาณร้อยละของน้ำในดิน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการโครงการ

ในบทนี้กล่าวถึงการดำเนินการวิธีการศึกษาของโครงงานโดยเริ่มจากการศึกษาหาข้อมูลทฤษฎีที่ใช้ในการตรวจสอบความเสียหายจนไปถึงการทดสอบเพิ่มหาอัตราส่วนผสมระหว่างดินซีเมนต์เดิมที่เกิดความเสียหายกับวัสดุมวลรวมหยาบที่เพิ่มเข้าไปเพื่อเป็นการหากำลังอัดที่เหมาะสมในการปรับปรุงชั้นพื้นทางบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย โดยแบ่งขั้นตอนในการดำเนินการดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 รวบรวมข้อมูลทฤษฎีและมาตรฐานอ้างอิงในการศึกษาโครงงาน

ทฤษฎีและกิจกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวิธีการปรับปรุงชั้นทางแบ่งเป็น 2 ส่วนทั้งในส่วนของเอกสารประกอบทางวิชาการและคู่มือการปฏิบัติภาคสนามรวมไปถึงการทดลองต่างๆโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การตรวจสอบและวิเคราะห์พื้นที่เสียหาย

เอกสาร / คู่มือ

- คู่มือการตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทาง ปี 2550 , กรมทางหลวง
- คู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ปี 2549, กรมทางหลวง
- คู่มือหลักเกณฑ์การดำเนินการการคำนวณงานทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ปี 2561 , กรมบัญชีกลาง

3.1.2 การทดสอบหาอัตราส่วนของวัสดุมวลรวมต่างๆ

มาตรฐานในการทดสอบ

- มาตรฐานที่ ทล.ม.203/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์
- มาตรฐานที่ ทล.ม.204/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางดินซีเมนต์
- มาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.105-2515 การทดสอบกำลังอัดแกนเดี่ยว Unconfined Compressive Strength
- มาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.107-2517 การทดสอบกำลังอัดแบบมาตรฐาน Standard Proctor Test

3.2 การตรวจสอบและวิเคราะห์พื้นที่เสียหายในสนาม

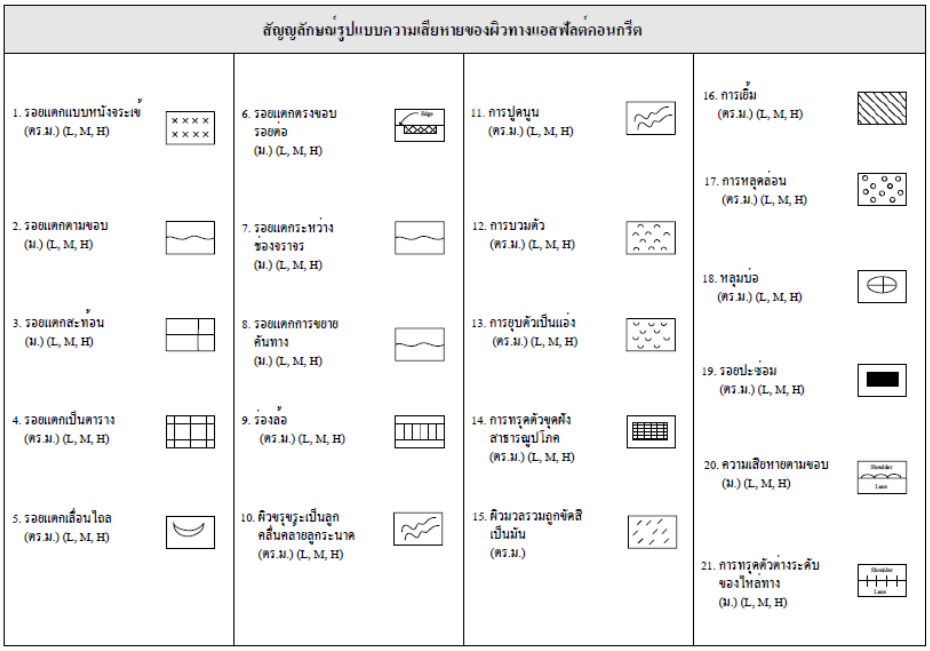
ในการตรวจสอบพื้นที่ความเสียหายบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม. 250+000 - กม.280+000 ระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร ตามรูปที่ 3.2 นั้นจะทำการประเมินความเสียหายตามคู่มือ “การตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทาง ปี 2550” ของกรมทางหลวง โดยจะสำรวจพื้นที่ความเสียหายตามรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 3.2 แผนที่ขอบเขตโครงการ ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย
ระหว่าง กม250+000 – 280+000

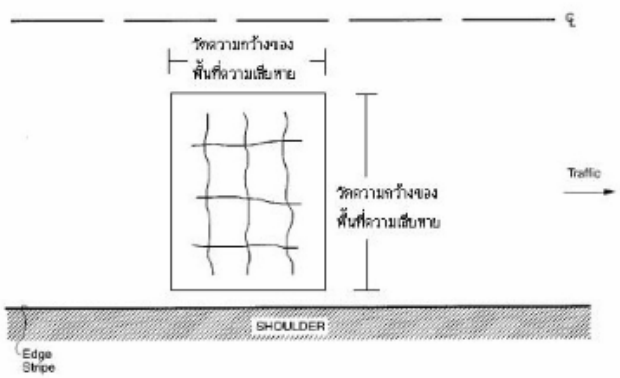
3.2.1. การตรวจสอบลักษณะความความเสียหาย

สำรวจความเสียหายที่เกิดขึ้นบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม. 250+000 - กม.280+000 ทั้งหมดที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน โดยสำรวจลักษณะ หรือ ชนิดของความเสียหายบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ตามรูปที่ 3.3 ว่าจัดอยู่ในประเภทลักษณะหรือชนิดใด

ทำการวัดขนาดพื้นที่เสียหายทั้งด้านกว้าง และด้านยาว ตามรูปที่ 3.4 ทำการบันทึกข้อมูลจำแนกชนิดของความเสียหายที่เกิดขึ้น และทำการหาร้อยละของความเสียหายแต่ละชนิด ตามตารางที่ 3.1 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ระดับความเสียหายและไปจัดทำแผนผังความเสียหายเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เสียหายกับกายภาพถนน



รูปที่ 3.3 ลักษณะและชนิดของความเสียหายบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 3.4 ลักษณะการวัดพื้นที่ความเสียหาย

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลลักษณะความเสียหาย

ชนิดความเสียหายที่	**ลักษณะความเสียหาย**	**พื้นที่ความเสียหายบนผิวทาง**	**หน่วย**	**ร้อยละจากความเสียหายทั้งหมด**
1	ลักษณะความเสียหาย -1-		ตร.ม.	
2	ลักษณะความเสียหาย -2-		ตร.ม.	
3	ลักษณะความเสียหาย -3-		**ตร.ม.**	
4	ลักษณะความเสียหาย -4-		ตร.ม.	
	รวม		**ตร.ม.**	

3.2.2. การวิเคราะห์ระดับความเสียหายที่มีผลกระทบต่อชั้นโครงสร้างพื้นทาง

จากข้อมูลในสนามที่ได้ทำการเก็บรวมรวมลักษณะความความเสียหายนำมาทำการ จำแนกระดับความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อชั้นโครงสร้างพื้นทางโดยอ้างอิงจากตามคู่มือ “การตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทาง ปี 2550” ของกรมทางหลวง ในการวัดระดับความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่อยู่ใน **“ขั้นสูง”** ตามคำนิยามของลักษณะและชนิดความเสียหายที่ได้ตรวจสอบในภาคสนาม ทำการบันทึกข้อมูลระดับความเสียหายที่มีผลกระทบต่อชั้นพื้นทางเพื่อนำไปเปรียบเทียบหาร้อยละความเสียหายที่มีผลกระทบต่อชั้นพื้นทางกับพื้นที่เสียหายทั้งหมด ตามตารางที่ 3.2 เพื่อนำข้อมูลไปจำแนกความเสียหายทั่วไป กับ ความเสียหายถึงชั้นโครงสร้างชั้นพื้นทาง และใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เสียหายกับกายภาพถนน และสุ่มเลือกเป็นพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างวัสดุในการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลระดับความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อชั้นพื้นทาง

ชนิดความเสียหายที่	ลักษณะความเสียหาย	พื้นที่ความเสียหายบนผิวทาง	หน่วย	พื้นที่เสียหายระดับ “ขั้นสูง”	หน่วย	ร้อยละที่เสียหายถึงชั้นพื้นทาง	ร้อยละต่อเสียหายทั้งหมด
1	ลักษณะความเสียหาย -1-		ตร.ม.		ตร.ม.		
2	ลักษณะความเสียหาย -2-		ตร.ม.		ตร.ม.		
3	ลักษณะความเสียหาย -3-		ตร.ม.		ตร.ม.		
4	ลักษณะความเสียหาย -4-		ตร.ม.		ตร.ม.		
	รวม		**ตร.ม.**		**ตร.ม.**		

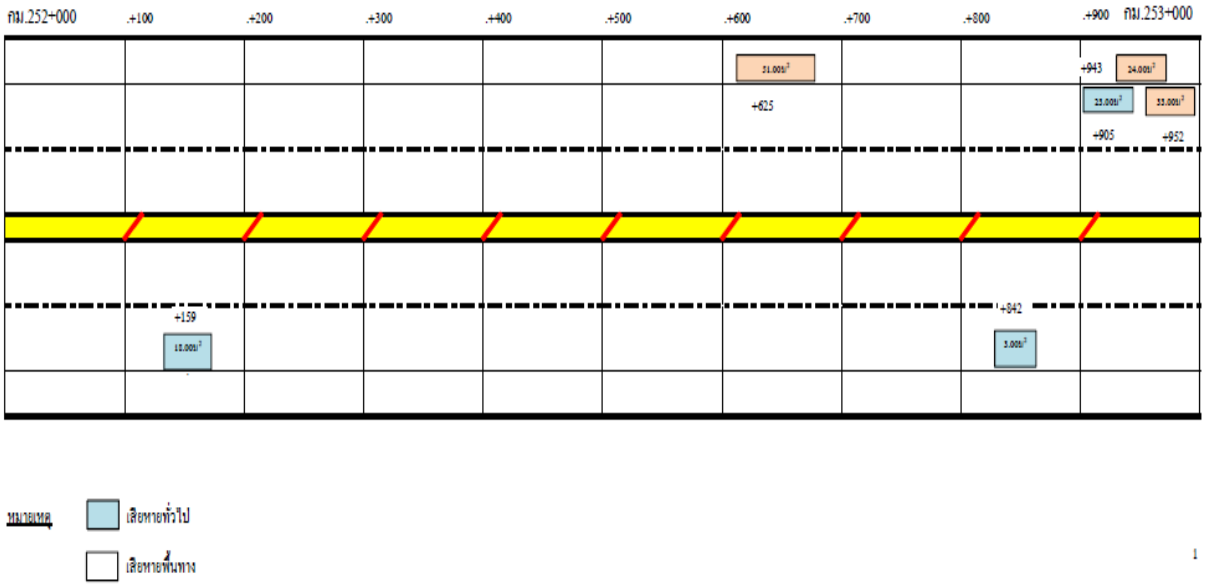
3.2.3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ความเสียหายกับกายภาพถนน

หลังจากการจำแนกข้อมูลความเสียหายทั่วไป และ ความเสียหายที่มีผลต่อชั้นโครงสร้างชั้นพื้นทาง แล้วนำมาจัดทำผังความเสียหายทุกๆ 1 กิโลเมตร โดยแบ่งแยก สีของความเสียหายทั้ง 2 ประเภทให้ชัดเจน ตามรูปที่ 3.5 จากนั้นสรุปข้อมูลพื้นที่ความเสียหายทุก 1 กิโลเมตร ตามตารางที่ 3.3 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่ภูมิประเทศทุกๆระยะ 1 กิโลเมตร แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์พื้นที่ความเสียหายกับลักษณะทางกายภาพโดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

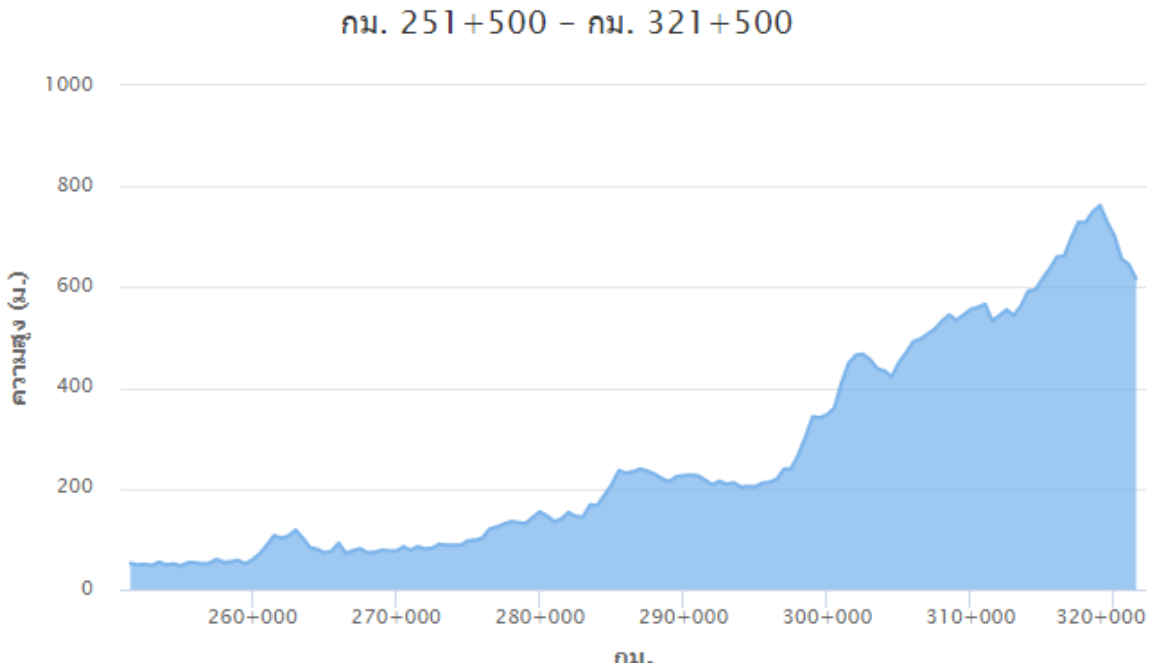
- **วิเคราะห์ตามแนวขวาง (Cross Section Area)** พิจารณาพื้นที่ความเสียหายถึงชั้นพื้นทางที่เกิดขึ้นตามความเสียหายระดับ “ขั้นสูง” เพื่อนำพื้นที่เสียที่ส่งผลถึงชั้นพื้นทาง โดยแบ่งความเสียหายตามช่องจราจรเป็นตัวกำหนด ทำการบันทึกผลที่ได้ในตารางที่ 3.4 ทำการวิเคราะห์พื้นที่ความเสียหายเพื่อหาความสัมพันธ์ของช่องจราจรกับกายภาพถนนอย่างไร
- **พื้นที่วิกฤติ (Critical Area)** พิจารณาพื้นที่ความเสียหายถึงชั้นพื้นทางที่เกิดขึ้นตามความเสียหายระดับ “ขั้นสูง” เพื่อนำพื้นที่เสียที่ส่งผลถึงชั้นพื้นทางในช่วงต่อความยาว ช่วง 1 กิโลเมตร ที่มีจำนวนมากกว่า 200 ตารางเมตร นำไปเปรียบเทียบกับ ค่าระดับ Profile ตามรูปที่ 3.6 เพื่อความสัมพันธ์กายภาพถนนตามแนวดิ่งว่าเป็น ขึ้น-ลง และ นำไปเปรียบเทียบกับแผนที่ภูมิประเทศในช่วงเดียวกันเพื่อพิจารณาตามแนวราบว่าอยู่ในบริเวณกายภาพถนนลักษณะใด

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลปริมาณความเสียหายทุกๆระยะทาง 1 กิโลเมตร

ช่วง กม. - กม.	**ความเสียหายชั้นพื้นทาง , ตร.ม.**							**รวมพื้นที่ความเสียหายตามยาว , ตร.ม.**
	ไหล่ทางด้านซ้าย	**ด้านซ้ายทางช่องที่ 2**	**ด้านซ้ายทางช่องที่ 1**	**เกาะกลาง**	**ด้านขวาทางช่องที่ 1**	**ด้านขวาทางช่องที่ 2**	**ไหล่ทางด้านขวา**	
250+000 - 251+000								
251+000 - 252+000								
252+000 - 253+000								
...								
...								
...								
...								
...								
...								
...								
...								
...								
...								
...								
279+000 - 280+000								
รวมพื้นที่ความเสียหายตามการแบ่งช่องจราจร , ตร.ม.								



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างผังจำแนกความเสียหาย



รูปที่ 3.6 แผนผังระดับ Profile ความละเอียดทุกๆระยะ 500 เมตร[9]

3.3 กำหนดคุณสมบัติ และ ชนิดวัสดุที่ใช้ปรับปรุงในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

จากการสำรวจความเสียหายในภาคสนามในการซ่อมแซมโดยอ้างอิงจาก คู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ปี 2549, กรมทางหลวง จำเป็นจะต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมือนวัสดุเดิม หรือดีกว่าวัสดุเดิมในการซ่อมแซม โดยทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 - กม.280+000 ชั้นโครงสร้างพื้นทางที่ได้รับความเสียหายนั้นเป็นดินซีเมนต์ ซึ่งไม่ได้มีระบุไว้ตามคู่มือดังกล่าว จำเป็นต้องหาแนวทางในการซ่อมแซม ปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมสมกับสภาพในสนามมากที่สุด โดยมีวัสดุซ่อมแซมที่ได้รับการจัดหาในการซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงเป็นปกติทั้งหมด 4 ชนิด ตามรายละเอียดดังนี้

- **วัสดุดินซีเมนต์ชั้นทางเดิม**

ในการปรับปรุงตามงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงเชิงบำรุงรักษาจึงมุ่งเน้นในเรื่องของการนำวัสดุเดิมกลับมาใช้ใหม่ให้มากที่สุด โดยใช้วัสดุชั้นทางดินซีเมนต์เดิมที่ไม่สามารถรับกำลังได้แล้วนำมาปรับปรุง โดยทำการร่อนผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว เป็นการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ ตามรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 วัสดุดินซีเมนต์ชั้นทางเดิม

- **หินคลุก (Crushed Rock)**

เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการซ่อมบำรุงชั้นพื้นทางโดยจะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแหล่งที่มาจาก อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์ โดยทำการร่อนผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว เป็นการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ ตามรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 วัสดุหินคลุก (Crushed Rock)

- **กากยาง (Milling Asphalt)**

วัสดุเหลือทิ้งจากการขูดไสผิวทางจากโครงการก่อสร้างภายใน อ.วังทอง จ.พิษณุโลก เป็นวัสดุมวลรวมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการปรับปรุงคุณภาพชั้นทาง โดยทำการร่อนผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว เป็นการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ ตามรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 วัสดุกากยาง (Milling Asphalt)

- **ปูนซีเมนต์**

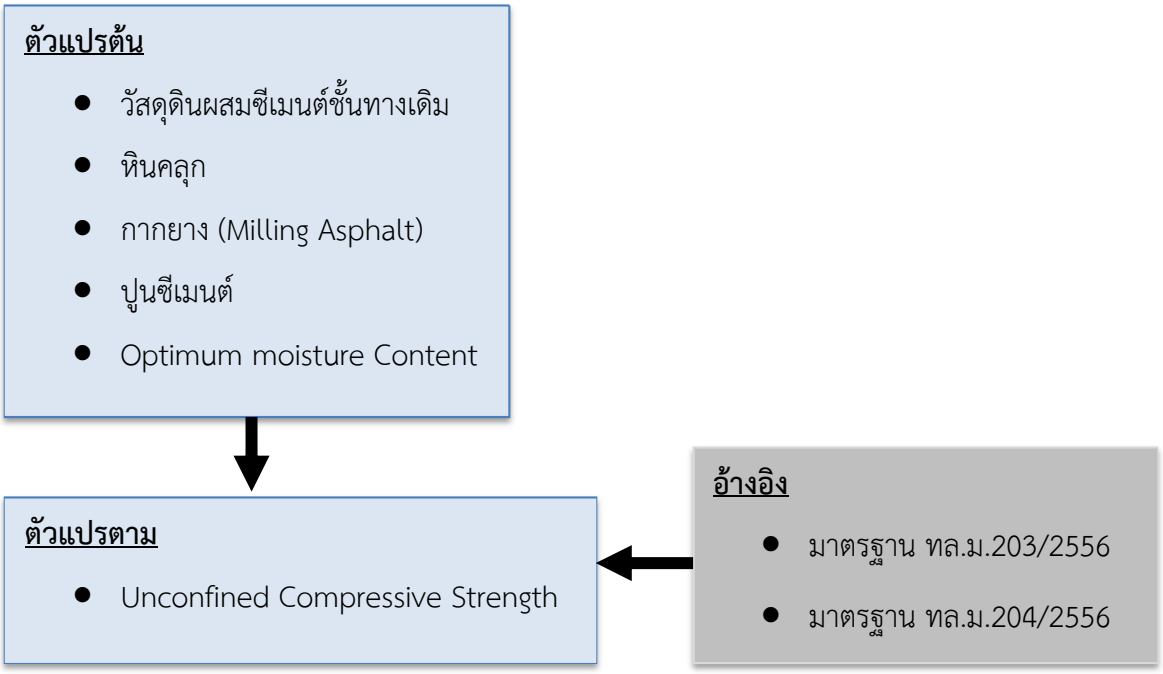
ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 บรรจุถุง 50 กิโลกรัม โดยซื้อขายภายในพื้นที่ จ.พิษณุโลก

3.4 กำหนดการออกแบบอัตราส่วนและวิธีการในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

การปรับปรุงโครงสร้างชั้นพื้นทางตามคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ปี 2549, กรมทางหลวง การขุดซ่อมผิวทาง (Deep Patching) คือ การซ่อมแซมความเสียหายของถนนที่ความเสียหาย เกิดขึ้นในระดับที่ลึกกว่าชั้นผิวทาง ดังนั้นจึงต้องขุดลงไปซ่อมแซมชั้นทางที่เสียหายนั้นก่อน วัสดุก่อสร้างชั้นทางใดให้เป็นไปตามมาตรฐานของชั้นทางนั้น **“การเลือกใช้วัสดุสามารถใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีกว่านำมาทดแทนวัสดุของชั้นทางนั้นๆได้”** ดังนั้นการซ่อมแซมชั้นโครงสร้างทางที่เป็นดินผสมซีเมนต์ จำเป็นต้องใช้ ปูนซีเมนต์ เป็นตัวเพิ่มกำลังให้วัสดุมีสภาพที่เหมือนเดิมหรือดีกว่าเดิมโดยอ้างอิงมาตรฐาน ทล.ม.203/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ และ มาตรฐานที่ ทล.ม.204/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ จะใช้มีวัสดุที่เป็นตัวตั้งต้นอยู่ 4 ชนิด และ ค่า Optimum Moisture Content จากการทดสอบ Compaction Test (Standard Proctor) (ตัวแปรต้น) ได้แก่

- วัสดุชั้นทางดินผสมซีเมนต์เดิม
- หินคลุก (Crushed Rock)
- กากยาง (Milling Asphalt)
- ปูนซีเมนต์ (Cement)
- Optimum Moisture Contents

ทั้งนี้การเลือกใช้วัสดุผสมจำเป็นต้องเลือกจากวัสดุที่ใช้หน้างานจริงทั้ง 5 ชนิดโดยจะมีการเปลี่ยนอัตราส่วน ตามรูปที่ 3.10

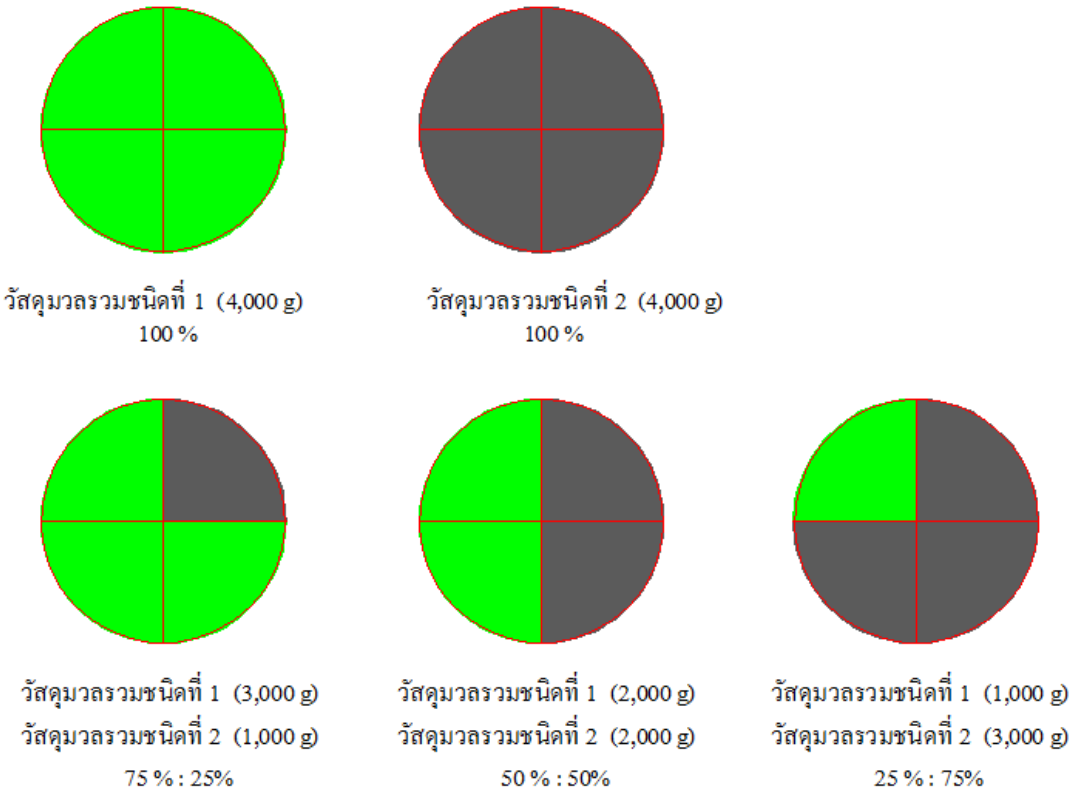


รูปที่ 3.10 ผังแสดงความสัมพันธ์วัสดุในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

จากมาตรฐานอ้างอิงจะใช้ค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength ที่อายุการบ่ม 7 วันแช่น้ำ 2 ชั่วโมง เป็นตัวกำหนดในการปรับปรุงชั้นพื้นทางในโครงงานนี้ โดยในการออกแบบนั้นจะกำหนดการออกแบบในการทดสอบตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การกำหนดตัวแปรต้นในการออกแบบ

ในการกำหนดตัวแปรต้นในการออกแบบการทดสอบนั้นคือการกำหนดอัตราส่วนและวิธีการออกแบบการปรับปรุงชั้นพื้นทางเนื่องจากมีทั้งวัสดุมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่ใช้ในการปรับปรุงชั้นพื้นทางจะเน้นการทำงานในส่วนของงานซ่อมบำรุงเพื่อให้ทำงานได้ง่ายจะแบ่งเป็นการใช้อัตราส่วนผสมวัสดุในการทดสอบ โดยแบ่งวัสดุแต่ละชนิดในน้ำหนักที่เท่ากัน ที่ 4,000 กรัม และทำการแบ่งเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 1,000 กรัม หรือ คิดเป็น ร้อยละ 25 ของวัสดุนั้นๆ ดังแสดงในรูป รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การเลือกใช้วัสดุในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

ในการทดสอบหาอัตราส่วนผสมนั้นจะทำการแบ่งอัตราส่วนเป็น 4 ส่วน โดยกำหนด 1 ส่วน เท่ากับร้อยละ 25 ของน้ำหนักวัสดุทั้งหมด จะแบ่งเป็นวัสดุต่างๆเป็นทั้งหมด 7 รูปแบบตามตารางที่ 3.4 แหล่งที่มาของวัสดุจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไงโดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.4 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมในตัวอย่างทดสอบ , กรัม

TYPE	วัสดุชั้นทางเดิม	หินคลุก	Milling	Cement (%)	Water
1	✓			✓	✓
2	✓	✓		✓	✓
3	✓	✓		✓	✓
4	✓	✓		✓	✓
5	✓		✓	✓	✓
6	✓		✓	✓	✓
7	✓		✓	✓	✓

- **วัสดุชั้นทางดินซีเมนต์เดิม**

เนื่องจากในการปรับปรุงตามงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงเชิงบำรุงรักษาจึงมุ่งเน้นในเรื่องของการนำวัสดุเดิมกลับมาใช้ใหม่ให้มากที่สุด โดยใช้วัสดุชั้นทางดินซีเมนต์เดิมที่ไม่สามารถรับกำลังได้แล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยกำหนดอัตราส่วนของวัสดุดินเดิมในการตั้งต้นอยู่ที่ 100 % , 75% , 50% และ 25% ตามลำดับ โดยในส่วนที่เหลือจะเป็นวัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

- **หินคลุก (Crushed Rock)**

เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการซ่อมบำรุงชั้นพื้นทางโดยจะใช้ในการปรับปรุงคุณภาร่วมกับวัสดุเดิมโดยจะไปแทนที่ในอัตราส่วนที่เหลือในอัตราส่วนที่ 25% , 50% และ 75% ในส่วนที่เหลือของวัสดุชั้นทางเดิม

- **กากยาง (Milling Asphalt)**

ภายในพื้นที่ จ. พิษณุโลก โดยมีส่วนผสมของวัสดุยางแอสฟัลต์และมวลรวมหยาบโดยยังไม่มีการศึกษาถึงคุณสมบัติที่นำแทนทำวัสดุอื่นๆจึงเป็นที่น่าสนใจในการนำมาเป็นวัสดุเพิ่มคุณภาพให้กับชั้นทางในงานวิจัยนี้ โดยอัตราส่วนจะอยู่ที่ 25% , 50% และ 75% ในส่วนที่เหลือของวัสดุชั้นทางเดิม

- **ปูนซีเมนต์**

อัตราส่วน ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 5 ของน้ำหนักวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทดสอบที่น้ำหนักมวลรวม 4,000 กรัม กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมในตัวอย่างทดสอบ ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมในตัวอย่างทดสอบ , กรัม

Cement %) / TYPE	1	2	3	4	5
1	40	80	120	160	200
2	40	80	120	160	200
3	40	80	120	160	200
4	40	80	120	160	200
5	40	80	120	160	200
6	40	80	120	160	200
7	40	80	120	160	200

- **น้ำ (Water)**

จะต้องดำเนินการหา ความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture Content) ในการผสมวัสดุจะต้องทำการทดสอบกำลังอัดแบบมาตรฐาน Standard Proctor Test ตามมาตรฐาน กรมทางหลวงที่ ทล.-ท.107-2517 เทียบเท่ามาตรฐาน AASHTO T 180 เพื่อใช้ในการทดสอบของทั้ง 7 รูปแบบ โดยทำการบันทึกค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture Content) ในตารางที่ 3.6 เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ Unconfined Compressive Strength ต่อไป

ตารางที่ 3.6 ตารางบันทึกผลการทดสอบค่า Optimum Moisture Content

รูปแบบการทดสอบ	**Optimum Moisture Content (OMC) , %**
Type 1 วัสดุชั้นทางเดิม 100%	
Type 2 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + หินคลุก 25%	
Type 3 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + หินคลุก 50%	
Type 4 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + หินคลุก 75%	
Type 5 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + กากยาง 25%	
Type 6 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + กากยาง 50%	
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	

3.4.2 การกำหนดการออกแบบตัวแปรตาม

งานวิจัยโครงงานนี้ต้องการทราบถึงค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength (ตัวแปรตาม) ที่มีค่าเหมาะสมในการปรับปรุงชั้นพื้นทางโดยอยู่ระหว่าง 17.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร อ้างอิงมาตรฐาน ทล.ม.204/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางดินซีเมนต์[9] และจะต้องไม่เกินถึง 24.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร อ้างอิงมาตรฐาน ทล.ม.203/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์[8]

โดยเตรียมตัวอย่างทั้ง 7 รูปแบบ แล้วทำการเพิ่ม ปูนซีเมนต์เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพ ในอัตราส่วนร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 5 ของน้ำหนักวัสดุมวลรวม

3.5 การกำหนดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบ Unconfined Compressive Strength

เมื่อทำการเตรียมตัวอย่างตามหัวข้อที่ 3.4.1 ทั้งหมดแล้วจากนั้นดำเนินการเตรียมตัวอย่างวัสดุตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.105-2515 การทดสอบ Unconfined Compressive Strength ของกรมทางหลวง โดยแบ่งเป็นอัตราส่วนวัสดุ และจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ตามรายละเอียดในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างในการทดสอบ

TYPE	Cement (%)	วัสดุชั้นทางเดิม	หินคลุก	Milling	Water	จำนวนชุดตามตามปริมาณปูน	ตัวอย่างต่อชุด	ตัวอย่างต่อวันทดสอบ	รวมตัวอย่างทั้งหมด
1	1,2,3,4,5	100% 4000 g.	-	-	OMC ml.	5	3	3	**45**
2	1,2,3,4,5	75% 3000 g.	25% 1000 g.	-	OMC ml.	5	3	3	**45**
3	1,2,3,4,5	50% 2000 g.	50% 2000 g.	-	OMC ml.	5	3	3	**45**
4	1,2,3,4,5	25% 1000 g.	75% 3000 g.	-	OMC ml.	5	3	3	**45**
5	1,2,3,4,5	75% 3000 g.	-	25% 1000 g.	OMC ml.	5	3	3	**45**
6	1,2,3,4,5	50% 2000 g.	-	50% 2000 g.	OMC ml.	5	3	3	**45**
7	1,2,3,4,5	25% 1000 g.	-	75% 3000 g.	OMC ml.	5	3	3	**45**
รวม									**315**

โดยแต่ละตัวอย่างจะต้องดำเนินการเก็บตัวอย่าง 3 ตัวอย่างเพื่อทำการเฉลี่ยจะใช้ตัวอย่างที่ทำการบ่ม 3 วัน จำนวน 105 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ทำการบ่ม 7 วัน จำนวน 105 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างที่ทำการบ่ม 28 วัน จำนวน 105 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 315 ตัวอย่าง

3.6 วิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดสอบ

จากการสำรวจข้อมูลในสนามและทำการทดสอบหาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมในรูปแบบต่างๆจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดสอบที่ได้ดังนี้

3.6.1 วิเคราะห์ความเสียหายพื้นที่ในสนาม

- วิเคราะห์ความลักษณะและชนิดของพื้นที่เสียหายแต่ละชนิดที่สำรวจได้ กับ พื้นที่ที่เกิดความเสียหายทั้งหมด คำนวณออกเป็นร้อยละของความเสียหาย
- วิเคราะห์พื้นที่ของระดับความเสียหายที่มีผลต่อชั้นพื้นทาง กับ พื้นที่ที่เกิดความเสียหายทั้งหมด คำนวณออกเป็นร้อยละของความเสียหาย
- วิเคราะห์พื้นที่เสียหายกับลักษณะของกายภาพถนนจำแนกพื้นที่เสียหายตามรายละเอียดดังนี้
    - ช่วงที่เสียหายเมื่อวิเคราะห์ตามแนวขวาง (Cross Section Area) สรุปความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องจราจรเป็นร้อยละ ต่อความเสียหายถึงชั้นพื้นทางทั้งหมด ที่ประเมินตามความเสียหายระดับ “ขั้นสูง” ตามข้อมูลที่ได้จากข้อ 3.2.2
    - ช่วงพื้นที่วิกฤต นั้นเกิดขึ้น ระหว่าง กม. – กม. สรุปพื้นที่ความเสียหายตามแนวยาวในระยะ 1 กิโลเมตร และ จำแนกความเสียหายโดยแบ่งช่องจราจรเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายว่าเกิดขึ้นในช่องใดมากที่สุด

3.6.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength

- วิเคราะห์ผลการทดสอบรูปแบบตัวอย่างทดสอบที่สามารถรับกำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน แช่น้ำ 2 ชั่วโมง ที่รับกำลังอัดผ่านตามมาตรฐานที่ ทล.ม.204/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ และ มาตรฐานที่ ทล.ม.203/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ โดยมีค่า Unconfined Compressive Strength ระหว่าง 17.5 ksc ถึง 24.5 ksc

- จากตัวอย่างที่ผ่านมาตรฐาน Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน นำมาพิจารณาค่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน โดยมีค่า Unconfined Compressive Strength ที่ต้องการอยู่ที่ ระหว่าง 17.5 ksc ถึง 24.5 ksc เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานจริง และทำการวิเคราะห์ค่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 28 วัน จะต้องมีกำลังอัดที่ไม่น้อยไปกว่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน ของรูปแบบเดียวกัน

3.6.3 วิเคราะห์ราคาต้นทุนและระยะทางขนส่งวัสดุ

จากข้อมูลรูปแบบที่ผ่านตามการวิเคราะห์ข้อ 3.5.2 แล้ว นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าต้นทุนคู่มือหลักเกณฑ์การดำเนินการการคำนวณงานทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ปี 2561[10] ในการปรับปรุงของแต่ละรูปแบบโดยพิจารณารายละเอียดดังต่อไปนี้

- ราคาต้นทุนวัสดุจากแหล่งผลิต หรือ ราคาต้นทุนที่ทำการสั่งซื้อ
- ราคาค่าขนส่งวัสดุจากแหล่งผลิต หรือ แหล่งเก็บกองวัสดุ โดยระยะทางขนส่ง โดยคิดที่กึ่งกลางของระยะทางในการปรับปรุง (กม.265+000)
- ราคาที่ใช้จะเปรียบเทียบเป็นค่างานต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

3.7 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคาะห์ความเสียหายจะได้ทราบถึงพื้นที่ และการหาอัตราส่วนวัสดุที่เหมาะสมที่มีค่า Unconfined Compressive Strength ตามมาตรฐานกำหนด จากนั้นพิจารณาราคาต้นทุน ค่าขนส่ง เพื่อหาวัสดุมวลรวมที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง - เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – กม.280+000 ได้อย่างคุ้มค่าและถูกต้องตามหลักทางวิชาการต่อไป

บทที่ 4
ผลการดำเนินการโครงการ

ในการดำเนินการงานวิจัยโครงงานนี้เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงชั้นพื้นทางบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – กม.280+000 ระยะทาง 30 กิโลเมตร โดยแบ่งการศึกษางานวิจัยเป็น 2 ส่วน คือ 1.) การวิเคราะห์พื้นที่เสียหายในสนาม 2.)การทดสอบหาอัตราส่วนของวัสดุมวลรวมโดยใช้ค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength เป็นตัวกำหนดๆ โดยนำทั้ง 2 ส่วนมาวิเคราะห์ต้นทุนและระยะทางขนส่งวัสดุเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงต่อไป

4.1 การตรวจสอบและวิเคราะห์พื้นที่เสียหายในสนาม

ในการตรวจสอบพื้นที่ความเสียหายบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม. 250+000 - กม.280+000 ระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตรนั้นจะทำการประเมินความ เสียหายตามคู่มือ “การตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทาง ปี 2550” ของกรมทาง หลวง โดยจะสำรวจพื้นที่ความเสียหายตามรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การตรวจสอบลักษณะความเสียหาย

ในการตรวจสอบพื้นที่ภาคสนามได้ทำการตรวจสอบโดยใช้รถตรวจการ วิ่งตรวจสอบด้วยสายตาก่อนแล้วจึงทำการวัดและจำแนกประเภทความเสียหายตาม “คู่มือการตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทางปี2550” ของกรมทางหลวง โดยใช้วิธีประเมินด้วยสายตา (Visual Inspection) จำแนกลักษณะการเกิดความเสียหายเป็นประเภทต่างๆโดยในการสำรวจภาคสนามจำแนกได้ 4 ประเภท 1).การเสียหายแบบรอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack) ตามรูปที่ 4.1 2).การเสียหายแบบปูดนูน (Shoving) ตามรูปที่ 4.2 และ 3).ความเสียหายแบบร่องล้อ Rutting) 4).ส่วนความเสียหายประเภทอื่นๆในภาคสนามนั้น จากการประเมินไม่ได้เกิดจากความเสียหายจากการรับน้ำหนักบรรทุก เช่น ไหล่ทางทรุด ความเสียหายจากการทรุดตัวของท่อระบายน้ำ

รูปที่ 4.1 รูปแสดงความเสียหายแบบรอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack) ในภาคสนาม

รูปที่ 4.2 รูปแสดงความเสียหายแบบการปูดนูน (Shoving) ในภาคสนาม

รูปที่ 4.3 รูปแสดงความเสียหายแบบร่องล้อ (Rutting) ในภาคสนาม

จากการลงพื้นที่สำรวจความเสียหายได้ดำเนินการเก็บข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งหมดจำแนกตามลักษณะความเสียหายทั้งหมดบนทางหลวงหมายเลข 12 วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – กม. 280+000 ระยะทาง 30 กิโลเมตร เป็นถนนแบบ 4 ช่องจราจรแบบประหยัด (เกาะสี) ความกว้างช่องจราจรช่องละ 3.50 เมตร ไหล่ทางข้างละ 2.50 เมตร เกาะกลางกว้าง 5.00 เมตร รวมความกว้าง 24.00 เมตร คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 720,000 ตารางเมตร (ไม่รวมส่วนขยายโค้ง) พิจารณาลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นประเมินตามคู่มือการตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทาง ปี 2550 ของกรมทางหลวง แบ่งเป็นลักษณะความความเสียหายได้ 4 ชนิด ได้ตามรายการดังตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางการตรวจสอบพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – 280+000

ชนิดความเสียหายที่	ลักษณะความเสียหาย	พื้นที่ความเสียหายบนผิวทาง	ชนิดความเสียหายที่
1	รอยแตกหนังจระเข้	2,526.97	ตร.ม.
2	ปูดนูน	290.20	ตร.ม.
3	ร่องล้อ	4,370.55	ตร.ม.
4	อื่นๆ	290.00	ตร.ม.
	รวม	**7,477.72**	**ตร.ม.**

4.1.2 การวิเคราะห์ระดับความเสียหายที่มีผลกระทบต่อชั้นโครงสร้างพื้นทาง

จากข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่ภาคสนาม ตามตารางที่ 4.1 เมื่อทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายตามคู่มือการตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทาง ปี 2550 ของกรมทางหลวง ตามข้อมูลใช้การประเมิน **ระดับความเสียหายที่ทำให้เสียหายถึงชั้นพื้นทาง อยู่ในระดับ "สูง"** จะสรุปข้อมูลได้ตาม ตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์ค่าความเสียหายถึงชั้นพื้นทางเปรียบเทียบกับความเสียหายทั้งหมดในภาคสนาม

ชนิดความเสียหายที่	ลักษณะความเสียหาย	พื้นที่ความเสียหายบนผิวทาง	หน่วย	พื้นที่เสียหายระดับ "ขั้นสูง"	ชนิดความเสียหายที่
1	รอยแตกหนังจระเข้	2,526.97	ตร.ม.	2,435.87	ตร.ม.
2	ปูดนูน	290.20	ตร.ม.	92.00	ตร.ม.
3	ร่องล้อ	4,370.55	ตร.ม.	-	ตร.ม.
4	อื่นๆ	290.00	ตร.ม.	-	ตร.ม.
	รวม	**7,477.72**	**ตร.ม.**	**2,527.87**	**ตร.ม.**

4.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยด้านกายภาพของถนนที่มีผลต่อการเสียหาย

เมื่อนำข้อมูลความเสียหายมาจำแนกเป็นความเสียหายทั่วไปและความเสียหาที่มีผลต่อชั้นพื้นทางโดยการจัดทำผังความเสียหายจะเป็นพื้นที่ๆเกิดความเสียหาย จากนั้นจำแนกความเสียหายโดยแบ่งพื้นที่ตามช่องจราจร ตามตารางที่ 4.3

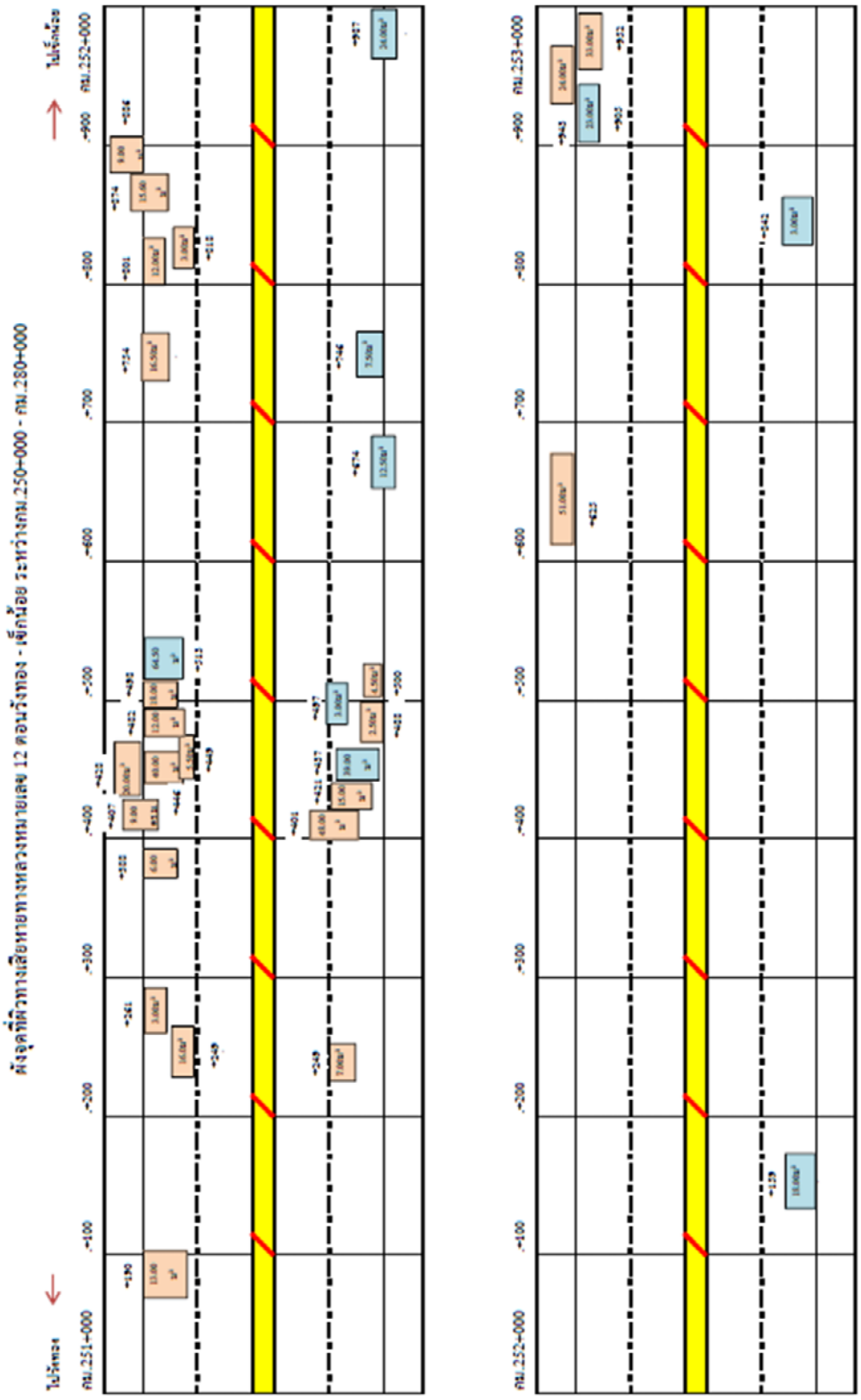
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นบนระยะทาง 1 กิโลเมตร

ช่วง กม. - กม.	ความเสียหายชั้นพื้นทาง , ตร.ม.							รวมพื้นที่ความเสียหายตามระยะทาง , ตร.ม.
	ไหล่ทางด้านซ้าย	ด้านซ้ายทางช่องที่ 2	ด้านซ้ายทางช่องที่ 1	เกาะกลาง	ด้านขวาทางช่องที่ 1	ด้านขวาทางช่องที่ 2	ไหล่ทางด้านขวา	
250+000 - 251+000	-	-	-		-	-	-	-
251+000 - 252+000	29.00	169.00	-		-	77.00	-	275.00
252+000 - 253+000	75.00	33.00	-		-	-	-	108.00
253+000 - 254+000	-	3.00	-		-	14.00	-	17.00
254+000 - 255+000	-	214.00	-		-	46.00	-	260.00
255+000 - 256+000	-	7.00	-		-	8.00	-	15.00
256+000 - 257+000	-	95.00	-		-	24.00	8.00	127.00
257+000 - 258+000	-	3.00	-		-	11.00	-	14.00
258+000 - 259+000	-	-	-		-	-	-	-
259+000 - 260+000	-	-	-		-	-	-	-
260+000 - 261+000	-	-	-		-	15.00	-	15.00
261+000 - 262+000	-	59.00	-		-	0.00	-	59.00
262+000 - 263+000	-	67.50	-		-	75.80	-	143.30
263+000 - 264+000	-	-	-		-	-	-	-
264+000 - 265+000	-	4.50	-		-	-	-	4.50

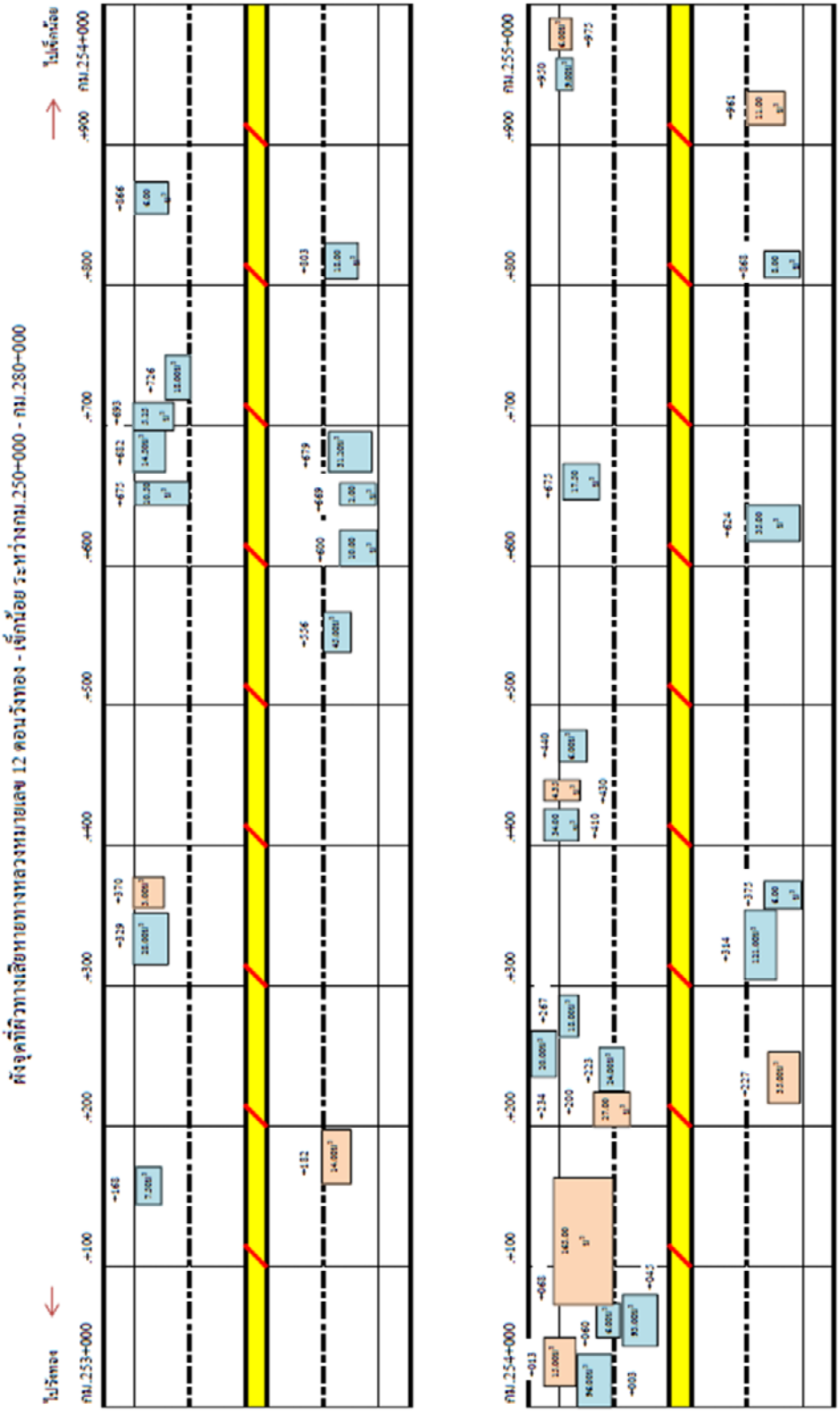
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นบนระยะทาง 1 กิโลเมตร (ต่อ)

ช่วง กม. - กม.	**ความเสียหายชั้นพื้นทาง , ตร.ม.**							**รวมพื้นที่ความเสียหายตามระยะทาง , ตร.ม.**
	ไหล่ทางด้านซ้าย	**ด้ายซ้ายทางช่องที่ 2**	**ด้ายซ้ายทางช่องที่ 1**	**เกาะกลาง**	**ด้ายขวาทางช่องที่ 1**	**ด้ายขวาทางช่องที่ 2**	**ไหล่ทางด้านขวา**	
265+000 - 266+000	-	-	-		-	12.07	-	12.07
266+000 - 267+000	-	-	-		-	-	-	-
267+000 - 268+000	-	10.00	-		-	5.00	-	15.00
268+000 - 269+000	8.20	178.00	38.00		10.00	39.50	-	273.70
269+000 - 270+000	9.00	74.50	-		-	42.40	-	125.90
270+000 - 271+000	-	-	-		-	-	-	-
271+000 - 272+000	-	51.00	-		3.00	45.00	-	99.00
272+000 - 273+000	-	15.00	-		-	56.50	-	71.50
273+000 - 274+000	-	85.00	-		-	-	-	85.00
274+000 - 275+000	-	-	-		-	-	-	-
275+000 - 276+000	-	-	-		-	97.90	-	97.90
276+000 - 277+000	-	-	-		-	12.00	-	12.00
277+000 - 278+000	-	430.00	-		-	-	-	430.00
278+000 - 279+000	-	200.50	-		-	-	-	200.50
279+000 - 280+000	-	-	-		-	67.50	-	67.50
รวมพื้นที่ความเสียหายตามช่องจราจร , ตร.ม.	**121.20**	**1,699.00**	**38.00**		**13.00**	**648.67**	**8.00**	**2,527.87**

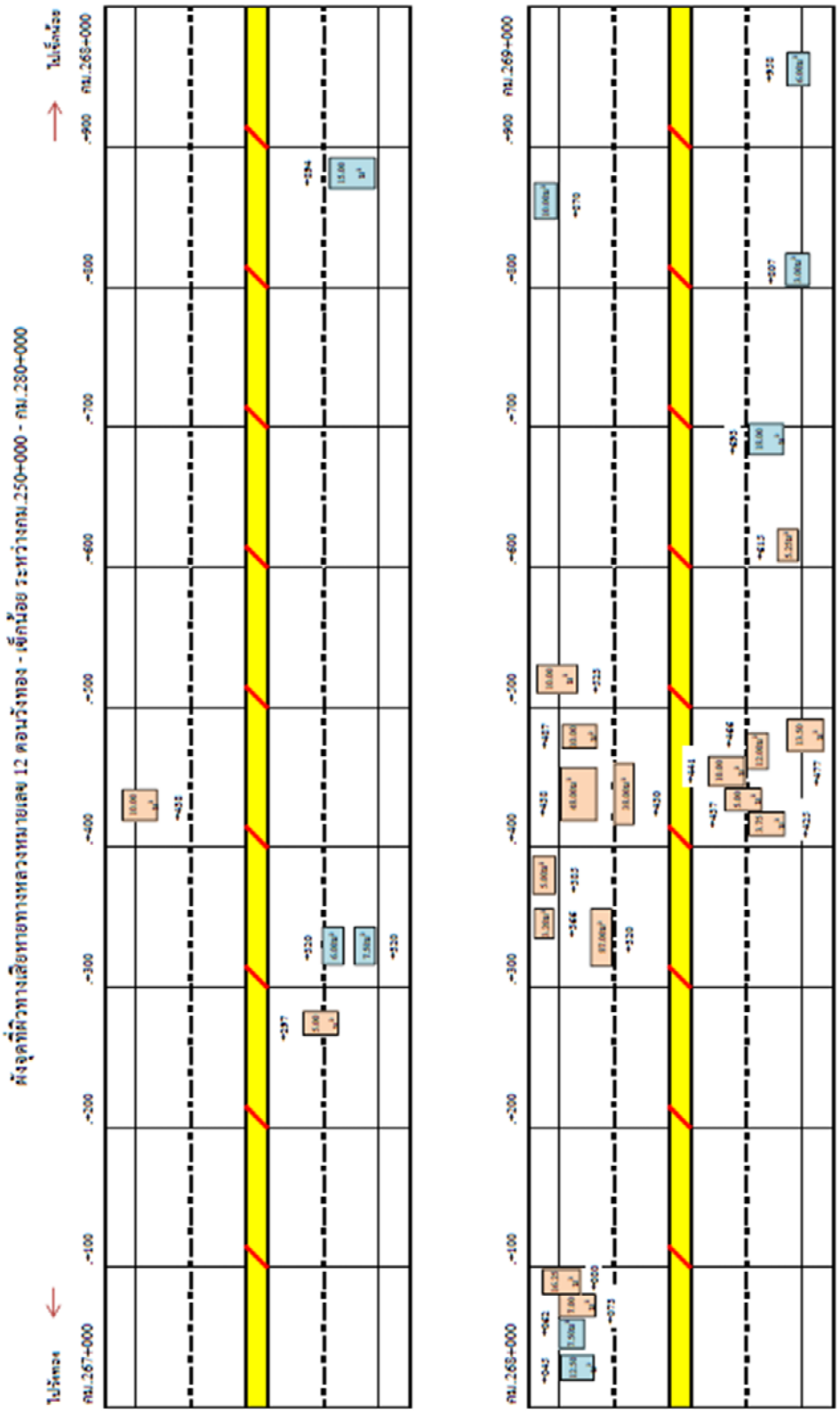
จากข้อมูลผังความเสียหายจะเกิดความเสียหายเป็น พื้นที่วิกฤต (Critical Area) ที่มีพื้นที่เสียหายเกิน 200 ตารางเมตร ต่อ ระยะทาง 1 กิโลเมตร เกิดขึ้นทั้งหมด 5 ช่วง ที่เกิดขึ้นบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย พื้นที่ความเสียหายตามรายละเอียดผังความเสียหาย ตามรูปที่ 4.4 ถึง รูปที่ 4.7 และรายละเอียดทั้งหมดตาม ภาคผนวก ก.



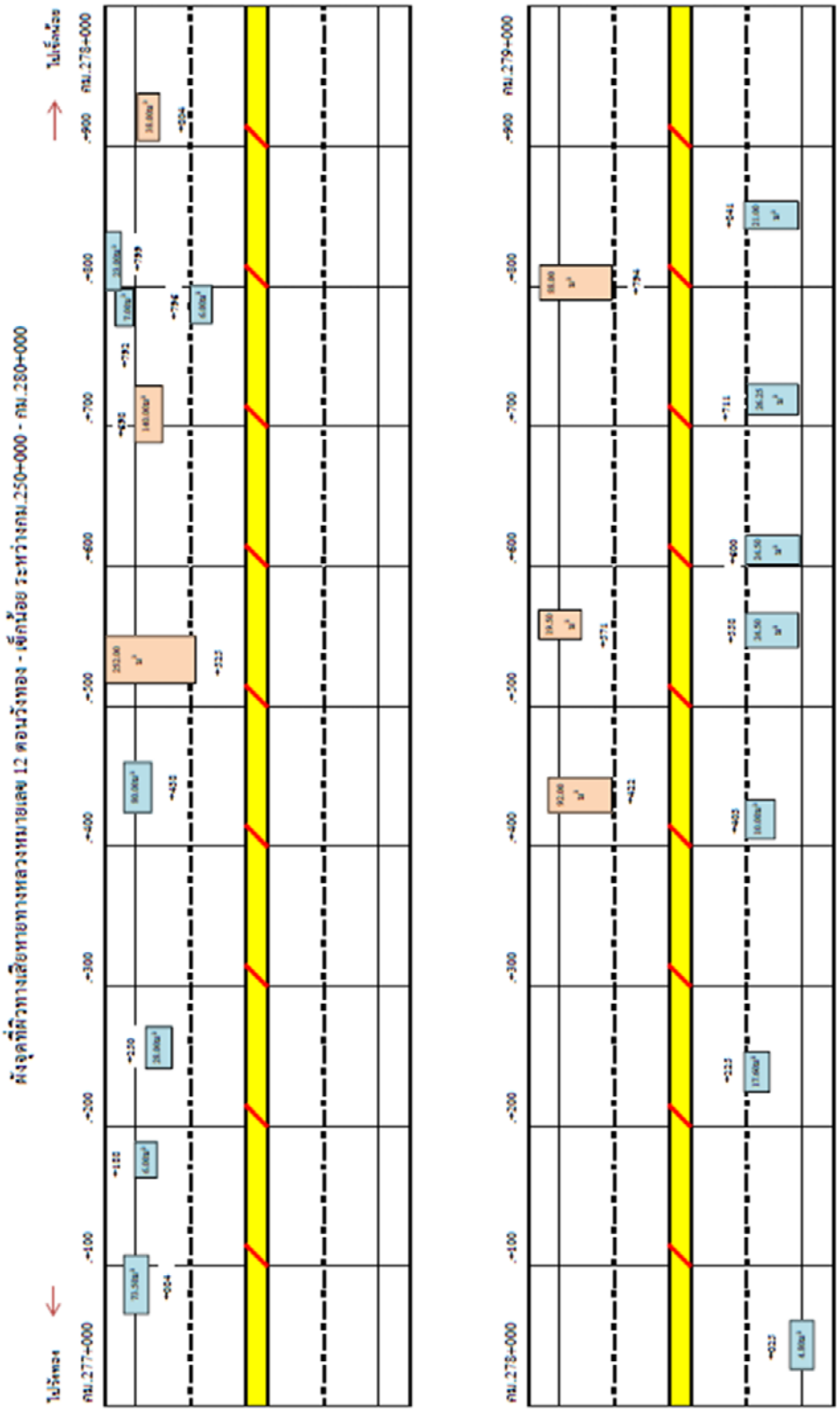
รูปที่ 4.4 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.251+000 – 253+000



รูปที่ 4.5 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.253+000 – 255+000



รูปที่ 4.6 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.267+000 – 269+000



รูปที่ 4.7 ผังแสดงพื้นที่ความเสียหาย ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.277+000 – 279+000

4.2 การเก็บตัวอย่างวัสดุในการทดสอบ

การพิจารณาเลือกวัสดุในการใช้เพื่อหาอัตราส่วนผสมในการปรับปรุงชั้นโครงสร้างพื้นทางนั้นจะทำการเก็บจากวัสดุที่ใช้ในสนามจริงโดยแบ่งเป็นรายละเอียดวัสดุดามรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัสดุชั้นทางเดิม - สุ่มเก็บตัวอย่างทั้งหมดจากระยะทาง 30 กิโลเมตร ตั้งแต่ กม.250+000 – กม. 280+000 ในพื้นที่ความเสียหายถึงชั้นโครงสร้างพื้นทาง ตามรูปที่ 4.8 โดยจะเก็บวัสดุชั้นทางดินผสมซีเมนต์ที่เสียหายเป็นวัสดุเริ่มต้น

รูปที่ 4.8 การเก็บตัวอย่างวัสดุชั้นทางดินผสมซีเมนต์ที่เกิดความเสียหาย

วัสดุหินคลุก – ใช้หินคลุกจากแหล่งใน อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ซ่อมบำรุงเส้นทางนี้มีการขนส่งทาจากโรงโม่ใน จังหวัดอุตรดิตถ์ และ เก็บกองไว้ในหน่วยงานซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงที่ใกล้เคียง ตามรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 การเก็บตัวอย่างวัสดุหินคลุกเพื่อใช้ในการทดสอบ

วัสดุกากยางแอสฟัลต์ (Milling Asphalt) – ใช้วัสดุกากยางแอสฟัลต์ที่ขูดไสจากโครงการก่อสร้างในพื้นที่ จังหวัดพิษณุโลก โดยจะเลือกวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมจริงในสนาม ตามรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 การเก็บตัวอย่างวัสดุวัสดุกากยางแอสฟัลต์ (Milling Asphalt) เพื่อใช้ในการทดสอบ

4.3 การทดสอบการหาอัตราส่วนวัสดุมวลรวมเพื่อปรับปรุงโครงสร้างชั้นพื้นทาง

หลังจากทำการเก็บตัวอย่างวัสดุจะที่ใช้ในการทดสอบเรียบร้อยแล้วจะต้องเตรียมการนำวัสดุที่จะทำการทดสอบไปทำการตากแห้งเพื่อให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งหรือใกล้เคียงมากที่สุดเพื่อเป็นการจำลองสถานะของวัสดุเพื่อใช้ในการทำงานจริงโดยแบ่งเป็น

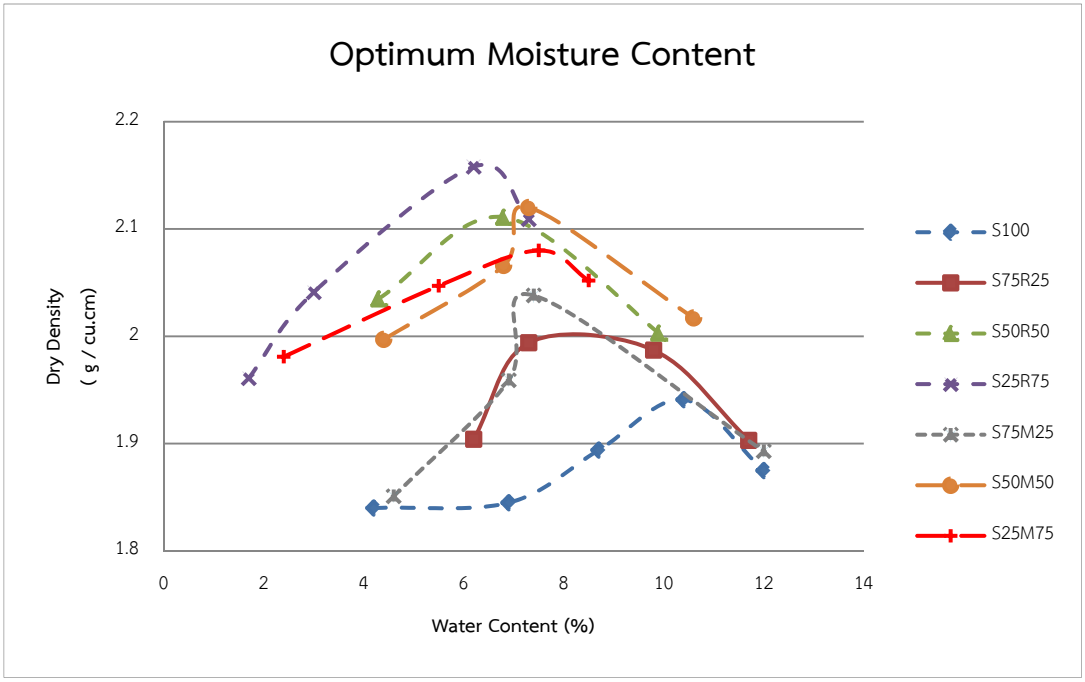
4.3.1 การทดสอบหาค่า Optimum moisture Content

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นจะต้องเตรียมวัสดุทั้งหมดผ่านตะแกรง เบอร์ ¾ นิ้ว ตามรูปที่ 4.11 ในการเตรียม 1 ตัวอย่างทดสอบจะต้องใช้วัสดุมวลรวมทั้งหมด 4,000 กรัม จะต้องใช้วัสดุจากน้ำหนักของดิน.แบ่งอัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 7 รูปแบบ ทุกรูปแบบจะต้องนำไปทดสอบกำลังอัดแบบมาตรฐาน Standard Proctor Test ตามมาตรฐาน กรมทางหลวงที่ ทล.-ท.107-2517 โดยแต่ละรูปแบบจะทำการสุ่มปริมาณน้ำเพื่อหาค่า “ความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content)” ทั้ง 7 รูปแบบ ตามรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.11 รูปการเตรียมตัวอย่างวัสดุ

รูปที่ 4.12 การทดสอบ Standard Proctor Test

จากการทดสอบการบดอัดการทดสอบ Compaction Test แบบมาตรฐาน (Standard Proctor) ตามภาคผนวก ข. นำ ไปเขียนกราฟ โดยให้แกน Y เป็นค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) และ แกน X เป็นค่า Water Content (%) ตามรูปที่ 4.13 จะได้ค่า Optimum Moisture Content และ Maximum Dry Density ของแต่ละรูปแบบตามตารางที่ 4.5 โดยค่าที่ได้จะนำไปเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการเก็บก้อนตัวอย่างสำหรับทดสอบ Unconfined Compressive Strength ที่อายุ 3,7 และ 28 วัน



รูปที่ 4.13 กราฟการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) และ ค่า Water Content (%)

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทดสอบค่า Optimum Moisture Content และ Maximum Dry Density

รูปแบบการทดสอบ	Optimum Moisture Content (OMC) , %	Maximum Dry Density, g/cu.cm.
Type 1 วัสดุชั้นทางเดิม 100%	10.4	1.941
Type 2 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + หินคลุก 25%	8.4	2.010
Type 3 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + หินคลุก 50%	6.8	2.111
Type 4 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + หินคลุก 75%	5.3	2.161
Type 5 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + กากยาง 25%	8.8	2.090
Type 6 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + กากยาง 50%	7.9	2.140
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	7.0	2.080

4.3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบแรงอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength

การทดสอบแรงอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength เริ่มจากการเตรียมวัสดุผสมตามรูปแบบที่ 1 – รูปแบบที่ 7 ปูนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 5 และ ปริมาณน้ำตามที่ได้ทำการทดสอบ Compaction Test โดยสรุปปริมาณน้ำได้ตามตารางที่ 4.5 นำวัสดุบดอัดลงในโมลด์ขนาด 4 นิ้ว โดยทำการบดอัดแบ่งเป็น 3 ชั้น ใช้ค้อนน้ำหนัก 2 ปอนด์ กระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง แล้วปาดหน้าให้เรียบ โดย 1 รูปแบบการผสมจะทำการเก็บตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการหาค่าเฉลี่ยในการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ตามรูปที่ 4.14 โดยทำการบ่มตัวอย่างที่ทำการเก็บไว้ในถุงพลาสติกเป็นเวลา 3 วัน, 7วัน และ 28 วัน

รูปที่ 4.14 การเก็บตัวอย่างก้อนทดสอบ Unconfined Compressive Strength

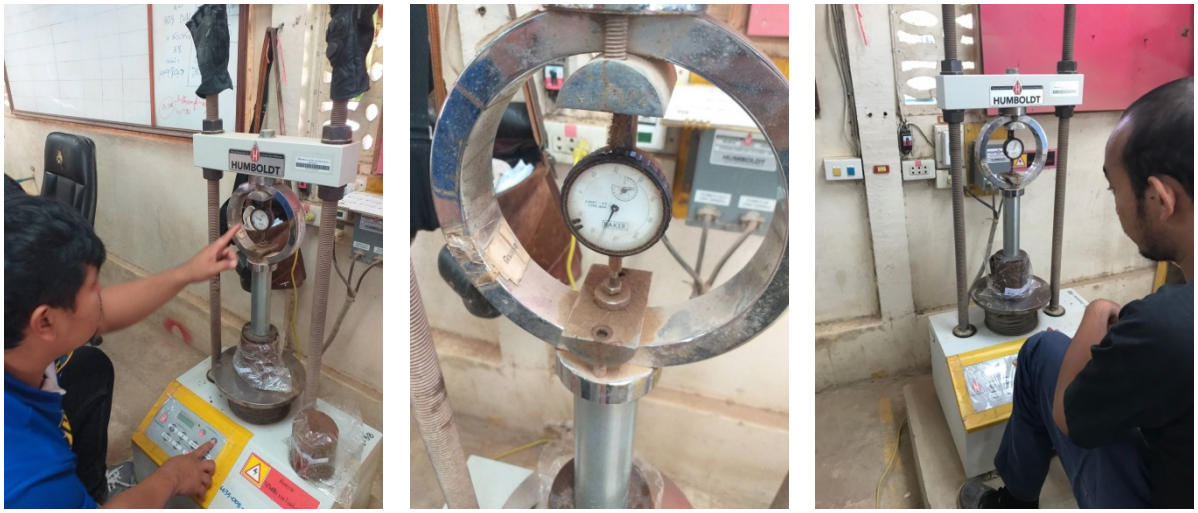
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

รูปแบบตัวอย่าง	ปริมาณน้ำ , ml (W)
Type 1 วัสดุชั้นทางเดิม 100%	416.00
Type 2 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + หินคลุก 25%	336.00
Type 3 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + หินคลุก 50%	272.00
Type 4 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + หินคลุก 75%	212.00
Type 5 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + กากยาง 25%	352.00
Type 6 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + กากยาง 50%	316.00
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	280.00

4.4 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength

เมื่ออายุครบตามกำหนดก่อนนำมาทดสอบรับน้ำหนักจะต้องนำก้อนตัวอย่างออกจากถุงบ่ม แช่น้ำไว้ 2 ชั่วโมงตาม มาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.105-2515 การทดสอบกำลังอัดแกนเดี่ยว Unconfined Compressive Strength ของกรมทางหลวง ตามรูปที่ 4.17 หลังจากนั้นนำก้อนตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ จากนั้นอ่านค่า Dial Gauge โดยเครื่องทดสอบจะอ่านค่า แรงกด (P) ,ปอนด์ (lb.) และนำไปคำนวณตามสมการที่ 3.8 จะได้ค่า แรงกด (P) , กิโลกรัม (kg.) จากนั้นคำนวณตามสมการที่ 3.10 โดยให้ค่า A = 81.07 ตารางเซนติเมตร เนื่องจากเครื่องทดสอบเป็นแบบให้แรงอัตโนมัติการเปลี่ยนแปลงของหน้าตัดจึงเกิดขึ้นน้อย จึงให้ใช้หน้าตัดของเพลททดลองที่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4.18 จากการทดสอยทั้งหมดได้ผลกรทดสอบตามตารางที่ 4.6 และรายละเอียดการทดสอบทั้งหมดตามภาคผนวก ค.

รูปที่ 4.15 รูปการแช่ตัวอย่างการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ก่อนนำไปทดสอบ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.16 การทดสอบ Unconfined Compressive Strength

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength

Type	Cement , %	3 Day	7 Day	28 Day
1	1	11.45	6.90	12.62
	2	17.37	18.74	22.97
	3	19.06	20.15	24.77
	4	22.97	25.16	26.36
	5	23.08	31.05	30.59
2	1	8.55	8.62	8.59
	2	15.92	22.06	17.05
	3	20.29	23.89	33.87
	4	23.61	24.84	42.01
	5	23.26	34.57	45.93
3	1	9.96	17.72	13.88
	2	15.73	24.84	32.18
	3	25.48	29.07	41.91
	4	28.65	36.94	43.28
	5	34.50	38.84	44.87
4	1	11.55	12.61	17.90
	2	15.04	18.81	30.06
	3	18.96	28.93	32.71
	4	22.13	28.16	36.94
	5	28.47	35.84	43.28
5	1	10.49	11.59	14.20
	2	15.78	14.94	24.24
	3	23.71	22.66	32.18
	4	27.84	26.89	33.23
	5	31.44	35.35	42.23

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength (ต่อ)

Type	Cement , %	3 Day	7 Day	28 Day
6	1	9.44	8.73	11.55
	2	11.02	10.42	23.19
	3	18.11	23.19	30.59
	4	26.36	24.46	32.71
	5	31.65	32.00	43.81
7	1	9.96	7.85	15.78
	2	13.03	11.55	20.01
	3	17.37	18.36	29.53
	4	20.54	23.15	40.85
	5	22.41	23.82	42.75

4.5 วิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดสอบ

จากการสำรวจข้อมูลในสนามและทำการทดสอบหาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมในรูปแบบต่างๆ จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดสอบที่ได้ดังนี้

4.5.1 วิเคราะห์ความเสียหายพื้นที่ในสนาม

- วิเคราะห์ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – 280+000 รายละเอียดตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบลักษณะและพื้นที่ความเสียหายในสนาม

ชนิดความเสียหายที่	ลักษณะความเสียหาย	พื้นที่ความเสียหายบนผิวทาง	หน่วย	ร้อยละจากความเสียหายทั้งหมด
1	รอยแตกหนังจระเข้	2,526.97	ตร.ม.	33.79%
2	ปูดนูน	290.20	ตร.ม.	3.88%
3	**ร่องล้อ**	**4,370.55**	**ตร.ม.**	**58.45%**
4	อื่นๆ	290.00	ตร.ม.	3.88%
	รวม	**7,477.72**	**ตร.ม.**	

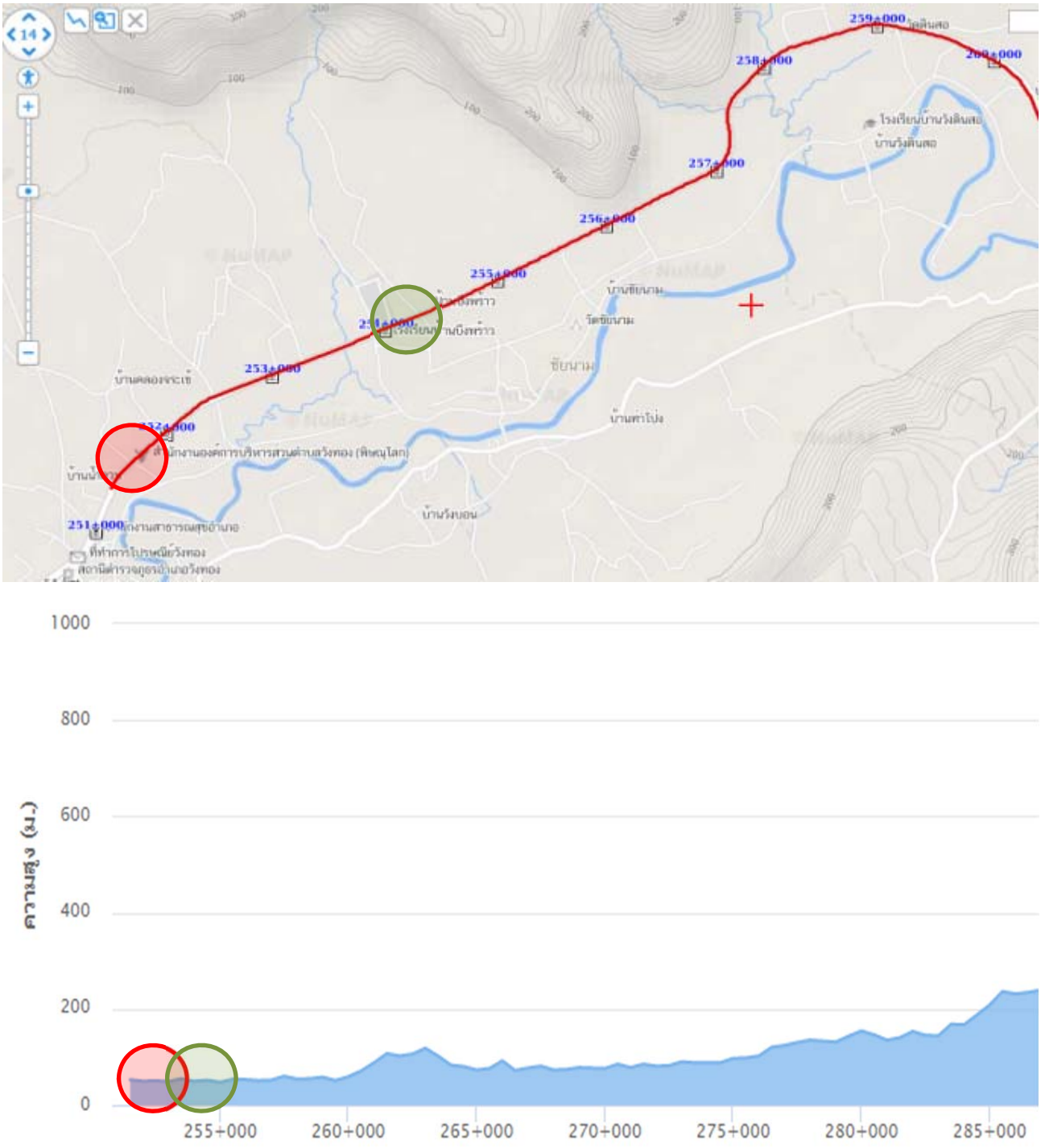
จากข้อมูลตารางที่ 4.7 สรุปพื้นที่ความเสียหายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในสนามทั้งหมด 7,477.72 ตารางเมตร จำแนกตามลักษณะความเสียหายได้ 4 ชนิด ได้แก่ ความเสียหายชนิดรอยแตกหนังจระเข้ จำนวน 2,526.97 ตารางเมตร ความเสียหายชนิดปูดนูน จำนวน 290.20 ตารางเมตร ความเสียหายชนิดร่องล้อ 4,370.55 ตารางเมตร และ ความเสียหายอื่นๆ (ทรุดตัว แตกร้าว ยุบตัวจากไหล่ทาง) จำนวน 290 ตารางเมตร โดยมีความเสียหายมากที่สุดในสนามคือ ความเสียหายชนิดร่องล้อ คิดเป็นร้อยละ 58.45 ของพื้นที่ความเสียหายในสนามทั้งหมด

- วิเคราะห์พื้นที่ของระดับความเสียหายที่มีผลต่อชั้นพื้นทาง จากข้อมูลตารางที่ 4.2 นำมาพิจารณาระดับความเสียหายที่มีผลต่อชั้นพื้นทาง จะเห็นได้ว่าลักษณะความเสียหายที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อชั้นพื้นทางมากที่สุดคือลักษณะความเสียหายชนิดรอยแตกหนังจระเข้ ซึ่งมีพื้นที่ความเสียหายจำนวน 2,526.97 ตารางเมตร แต่มีพื้นที่ความเสียหายที่มีผลต่อชั้นโครงสร้างพื้นทางมากถึง 2,435.87 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 96.39 ของพื้นที่ลักษณะความเสียหายชนิดเดียวกัน และ คิดเป็นร้อยละ 32.58 ของพื้นที่ความเสียหายในสนามตามตารางที่ 4.8

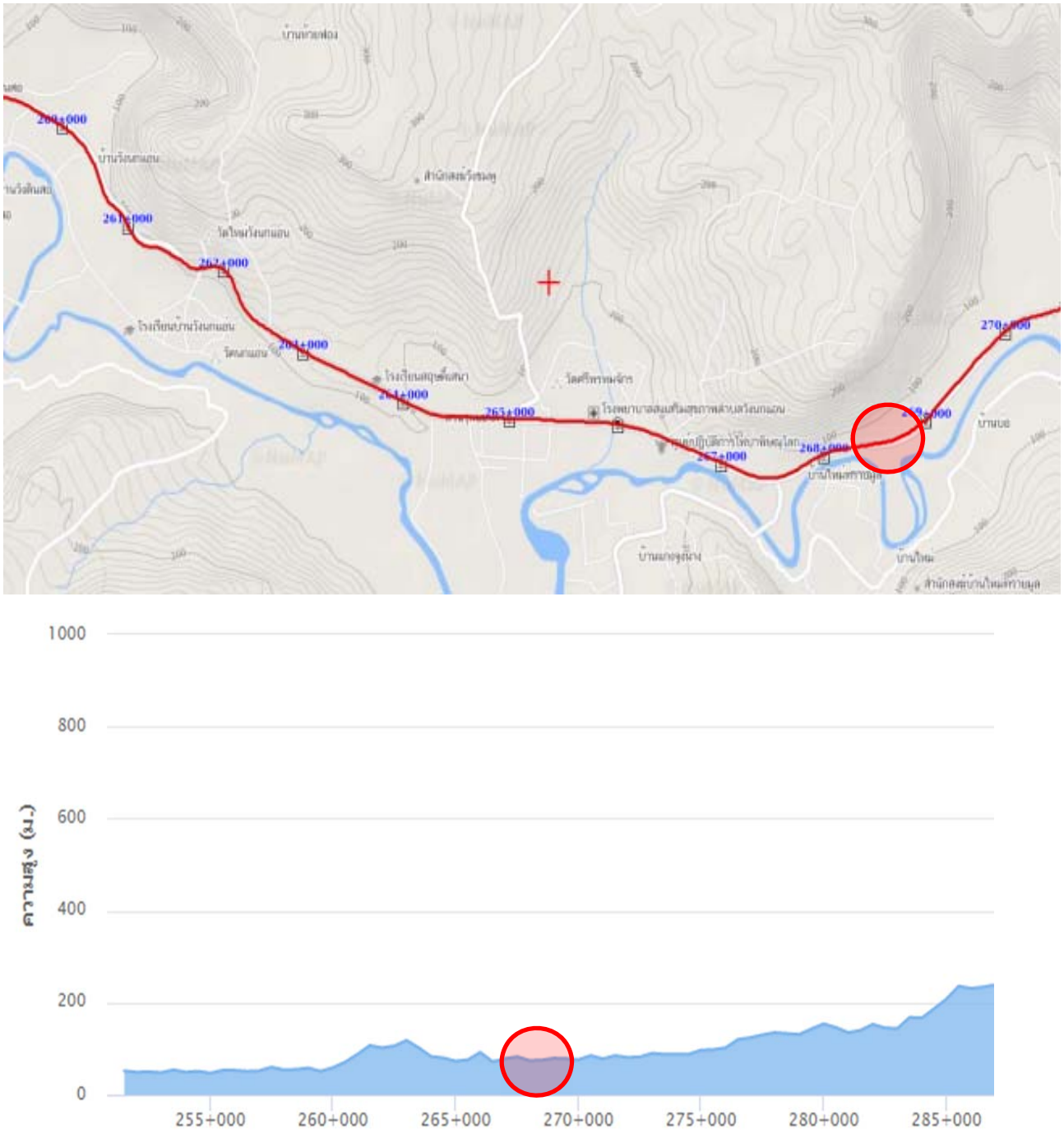
ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบพื้นที่เสียหายถึงชั้นโครงสร้างพื้นทางกับพื้นที่เสียหายในสนาม

ชนิดความเสียหายที่	ลักษณะความเสียหาย	พื้นที่ความเสียหายบนผิวทาง	หน่วย	พื้นที่เสียหายระดับ “ขั้นสูง”	หน่วย	ร้อยละที่เสียหายถึงชั้นพื้นทาง	ร้อยละต่อเสียหายทั้งหมด
1	**รอยแตกหนังจระเข้**	**2,526.97**	**ตร.ม.**	**2,435.87**	**ตร.ม.**	**96.39%**	**32.58%**
2	ปูดนูน	290.20	ตร.ม.	92.00	ตร.ม.	31.70%	1.23%
3	ร่องล้อ	4,370.55	ตร.ม.	-	ตร.ม.	-	-
4	อื่นๆ	290.00	ตร.ม.	-	ตร.ม.	-	-
	รวม	**7,477.72**	**ตร.ม.**	**2,527.87**	**ตร.ม.**		**33.81%**

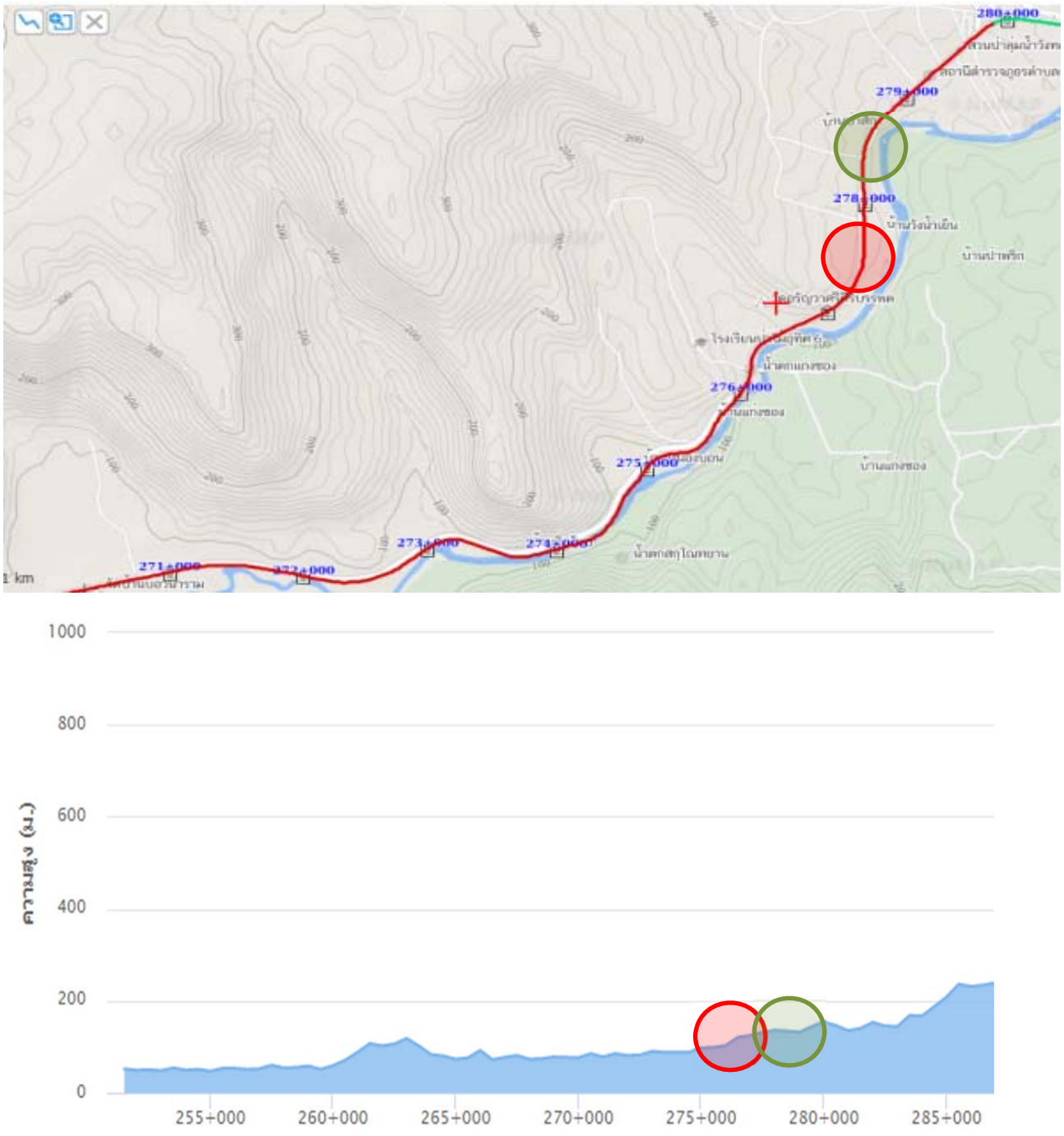
- วิเคราะห์พื้นที่เสียหายกับลักษณะของกายภาพถนนจากข้อมูลตารางที่ 4.3 ได้พื้นที่วิกฤต (Critical Area) ที่มีพื้นที่ความเสียหายมากกว่า 200 ตารางเมตร ใน ระยะทาง 1 กิโลเมตร ได้ทั้งหมด 5 ช่วง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับบริเวณตำแหน่งในแนวราบในแผนที่ภูมิประเทศและเปรียบเทียบกับแผนที่ Profile ตามรูปที่ 4.17 ถึง รูปที่ 4.19 เพื่อหาตำแหน่งในแนวดิ่ง จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.9 เป็นข้อมูลสรุปตำแหน่งและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางกายภาพถนนกับพื้นที่ความเสียหายที่ส่งผลถึงชั้นโครงสร้างพื้นทาง



รูปที่ 4.17 แผนที่แบ่งช่วงระยะทาง ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – กม.260+000



รูปที่ 4.18 แผนที่แบ่งช่วงระยะทาง ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.260+000 – กม.270+000



รูปที่ 4.19 แผนที่แบ่งช่วงระยะทาง ทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.270+000 – กม.280+000

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์พื้นที่เสียหายถึงโครงสร้างชั้นพื้นทางกับกายภาพของถนน

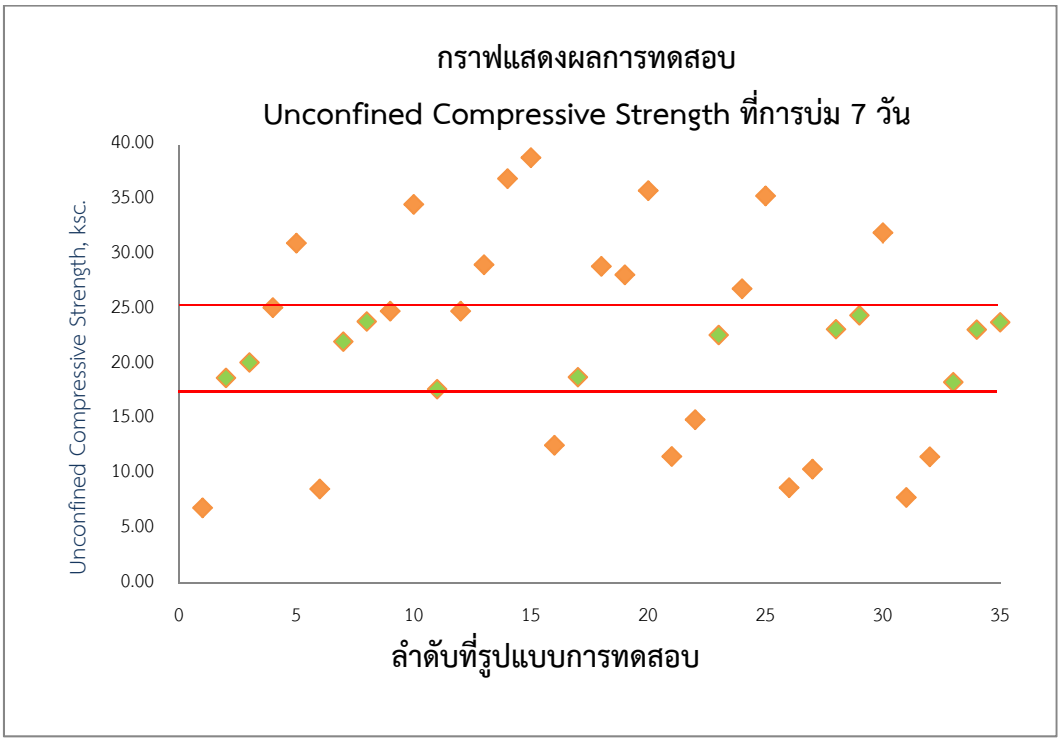
ลำดับ	ช่วง กม. - กม.	ความเสียหายมากที่สุด		ลักษณะกายภาพถนน (แนวราบ)	ลักษณะกายภาพถนน (แนวดิ่ง)
		ช่องจราจร	พื้นที่ , ตร.ม.		
1	251+000 - 252+000	ซ้ายช่องที่ 2	275.00	ทางโค้ง	ทางราบ
2	254+000 - 255+000	ซ้ายช่องที่ 2	260.00	ทางแยก	ทางราบ
3	268+000 - 269+000	ซ้ายช่องที่ 2	273.70	ทางโค้ง	ทางราบ
4	277+000 - 278+000	ซ้ายช่องที่ 2	430.00	ทางโค้ง	ทางขึ้นเนิน
5	278+000 - 279+000	ซ้ายช่องที่ 2	200.50	ทางโค้ง	ทางขึ้นเนิน

จากตารางที่ 4.9 สรุปได้ว่าพื้นที่ที่เกิดความเสียหายส่วนใหญ่นั้นจะเกิดขึ้นบนช่องจราจรฝั่งซ้ายช่องที่ 2 ซึ่งเป็นช่องที่มีรถบรรทุกหนักวิ่งผ่าน และจะเกิดความเสียหายมากขึ้นเมื่อเป็นบริเวณก่อนเข้าทางโค้ง และทางแยก ในส่วนของทางขึ้นเขาจะส่งผลให้เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

4.5.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

- **วิเคราะห์ค่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน**

จากผลการทดสอบค่า Unconfined Compressive Strength ที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบ ให้แกน Y คือค่า Unconfined Compressive Strength และ แกน X คือ จำนวนตัวอย่าง เมื่ออ้างอิงตามมาตรฐานที่ ทล.ม.204/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ที่ต้องการค่า Unconfined Compressive Strength หลังจากทำการบ่ม 7 วัน แช่น้ำ 2 ชั่วโมง อยู่ที่ 17.5 ksc. และ มาตรฐานที่ ทล.ม.203/2556 มาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ต้องการค่า Unconfined Compressive Strength หลังจากทำการบ่ม 7 วัน แช่น้ำ 2 ชั่วโมง อยู่ที่ 24.5 ksc. ตามรูปที่ 4.20 จะมีตัวอย่างอัตราส่วนผสมที่อยู่ในช่วงของทั้ง 2 มาตรฐานอยู่ทั้งหมด 12 รูปแบบ โดยสรุปค่า Unconfined Compressive Strength ได้ตามตารางที่ 4.6



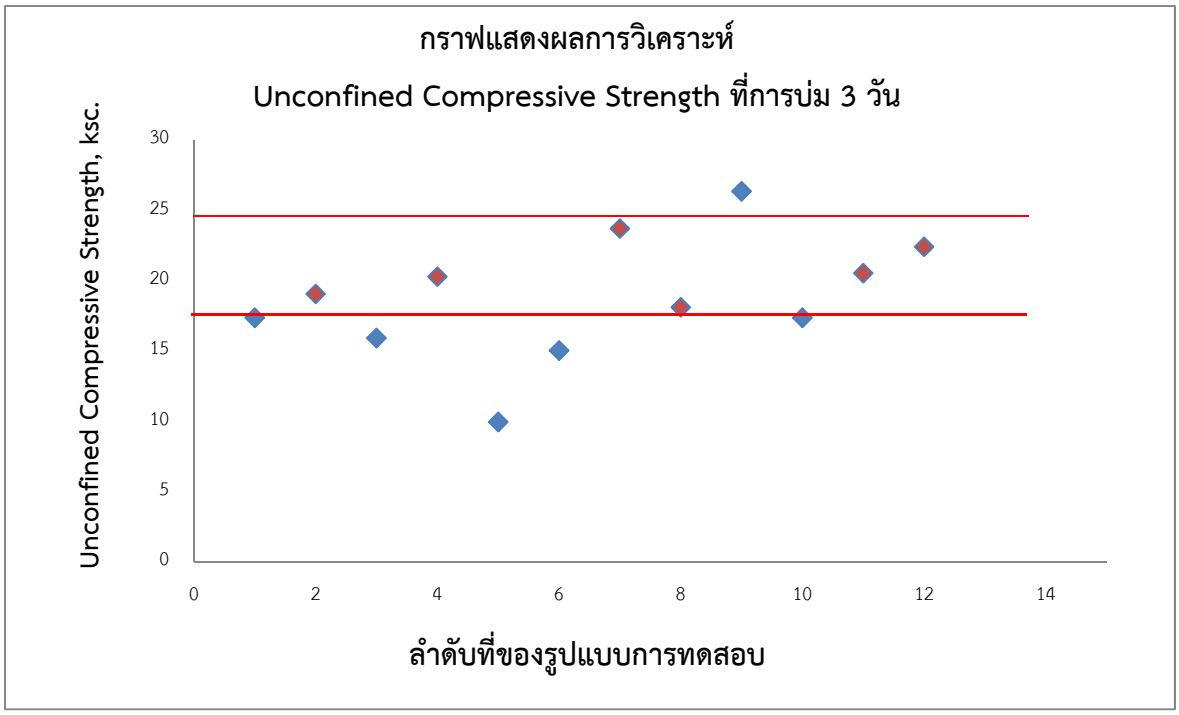
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน

ตารางที่ 4.10 แสดงรูปแบบที่ค่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน ที่ผ่านมาตรฐาน

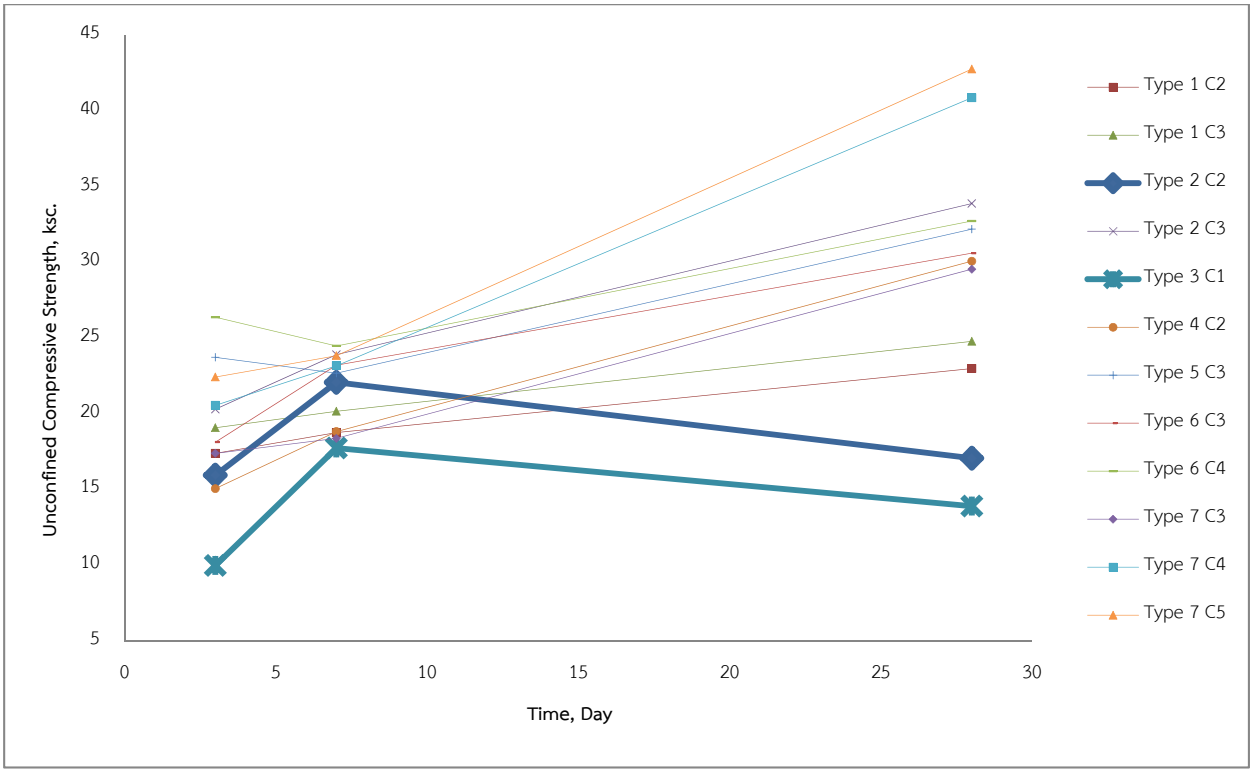
Type	Cement , %	7 Day	3 Day	28 Day
Type 1 วัสดุชั้นทางเดิม 100%	2	18.74	17.37	22.97
Type 1 วัสดุชั้นทางเดิม 100%	**3**	**20.15**	**19.06**	**24.77**
Type 2 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + หินคลุก 25%	2	22.06	15.92	17.05
Type 2 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + หินคลุก 25%	**3**	**23.89**	**20.29**	**33.87**
Type 3 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + หินคลุก 50%	1	17.72	9.96	13.88
Type 4 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + หินคลุก 75%	2	18.81	15.04	30.06
Type 5 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + กากยาง 25%	**3**	**22.66**	**23.71**	**32.18**
Type 6 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + กากยาง 50%	**3**	**23.19**	**18.11**	**30.59**
Type 6 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + กากยาง 50%	4	24.46	26.36	32.71
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	3	18.36	17.37	29.53
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	**4**	**23.15**	**20.54**	**40.85**
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	**5**	**23.82**	**22.41**	**42.75**

- **วิเคราะห์ค่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน และ การบ่มที่ 28 วัน**

เมื่อพิจารณารูปแบบที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบในสถานการณ์ใช้ปรับปรุงจริงในสนาม โดยให้แกน Y คือค่า Unconfined Compressive Strength และ แกน X คือ จำนวนตัวอย่าง เพื่อพิจารณาเลือกอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมที่ใช้ปรับปรุงโครงสร้างชั้นพื้นทางจากการวิเคราะห์ข้อมูลได้ข้อมูล ตามรูปที่ 4.21 และ ผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 28 วันจะต้องไม่ลดลงน้อยกว่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 7 วัน ตามรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน , 7 วัน และ 28 วัน

เมื่อนำผลกำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่ 3 วัน เพื่อนำไปใช้งานในการปรับปรุงในสนามจริง และ Unconfined Compressive Strength ที่ 28 วัน ที่กำลังรับแรงอัด Unconfined Compressive Strength ไม่ต่ำกว่ากำลังอัดที่ 7 วัน เข้าไปร่วมพิจารณาจะมีรูปแบบที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง ทั้งหมด 6 รูปแบบ ตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงรูปแบบค่า Unconfined Compressive Strength ที่การบ่ม 3 วัน และ การบ่มที่ 28 วัน ที่ผ่านเกณฑ์เพื่อเลือกใช้เป็นอัตราส่วนผสมในการปรับปรุง

รูปแบบ	ปูนซีเมนต์ , %	3 วัน	7วัน	28 วัน
Type 1 วัสดุชั้นทางเดิม 100%	3	19.06	20.15	24.77
Type 2 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + หินคลุก 25%	3	20.29	23.89	33.87
Type 5 วัสดุชั้นทางเดิม 75% + กากยาง 25%	3	23.71	22.66	32.18
Type 6 วัสดุชั้นทางเดิม 50% + กากยาง 50%	3	18.11	23.19	30.59
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	4	20.54	23.15	40.85
Type 7 วัสดุชั้นทางเดิม 25% + กากยาง 75%	5	22.41	23.82	42.75

4.5.3 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนวัสดุที่ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

เมื่อนำข้อมูลรูปแบบวัสดุที่เหมาะสมจะใช้ปรับปรุงชั้นพื้นทาง ตามการวิเคราะห์กำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength นำไปพิจารณาในส่วนของ ค่าต้นทุน โดยพิจารณาแหล่งวัสดุที่ใช้จากหน้างานในสนามจริงโดยพิจารณาราคาน้ำมัน ณ วันที่ 20 เมษายน 2562 ที่ 27.50 บาท

- **ราคาวัสดุชั้นทางเดิม** เป็นการขุดตักขึ้นจากบริเวณหน้างานโดยจะคิดค่างานตามค่าดำเนินการตามคู่มือหลักเกณฑ์การดำเนินการการคำนวณงานทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ของกรมบัญชีกลางโดยคิดค่างานวัสดุชั้นทางเดิมตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

คิดค่าดำเนินการตัก	= 8.04 บาท / ลบ.ม.
คิดค่าดำเนินการขุด + ตัด	= 21.52 บาท / ลบ.ม.
รวมราคาวัสดุดินเดิม	**= 29.56 บาท / ลบ.ม.**

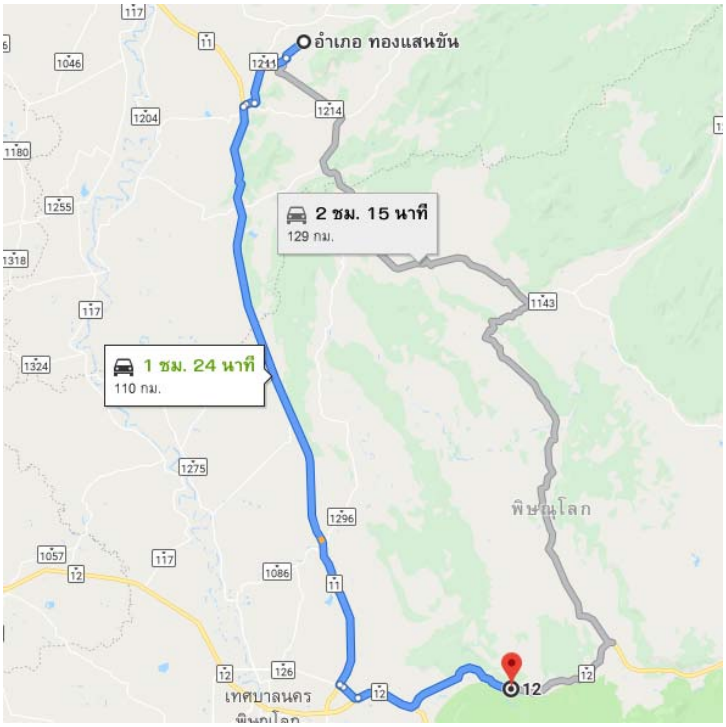
- ราคาหินคลุก เป็นวัสดุที่สั่งซื้อจากโรงโม่หิน อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์ ขนส่งโดยวิธีใช้รถบรรทุก 10 ล้อจากโรงโม่ไปที่บริเวณหน้างาน ระยะทางขนส่งตามรูปที่ 4.23 ในสนามมีรายลเอียดการคิดคำนวณราคาตามคู่มือหลักเกณฑ์การดำเนินการการคำนวณงานทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ของกรมบัญชีกลางโดยคิดค่างานวัสดุชั้นทางเดิมตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ราคาหินคลุกหน้าโรงโม่หิน	= 180 บาท / ลบ.ม.
คิดค่าดำเนินการตัก	= 8.04 บาท / ลบ.ม.
รวมราคาวัสดุหินคลุก	**= 188.04 บาท / ลบ.ม.**
ราคาค่าขนส่งวัสดุ – หน้างาน (110 กิโลเมตร)	= 369.13 บาท / ลบ.ม.

- ราคากากยาง (Milling Asphalt) เป็นวัสดุที่ทำการขุดรื้อจากโครงการก่อสร้างบริเวณใกล้เคียงภายใน จ.พิษณุโลก โดยวัสดุที่ใช้ในสนามกองเก็บที่ แขวงทางหลวงพิษณุโลกที่ 2 (วังทอง) อ.วังทอง จ.พิษณุโลก ขนส่งโดยวิธีใช้รถบรรทุก 10 ล้อจากสถานที่กองเก็บไปที่บริเวณหน้างานในสนาม ระยะทางขนส่งตามรูปที่ 4.24 มีรายลเอียดการคิดคำนวณราคาตามคู่มือหลักเกณฑ์การดำเนินการการคำนวณงานทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ของกรมบัญชีกลางโดยคิดค่างานวัสดุชั้นทางเดิมตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

คิดค่าดำเนินการตัก	= 8.04 บาท / ลบ.ม.
รวมราคาวัสดุกากยาง	**= 8.04 บาท / ลบ.ม.**
ราคาค่าขนส่งวัสดุ – หน้างาน (6 กิโลเมตร)	= 23.31 บาท / ลบ.ม.

จากข้อมูลจะสรุปค่าต้นทุนของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงชั้นพื้นทางทั้ง 6 รูปแบบ ตามตารางที่ 4.12 และ ระยะทางในการขนส่งจากแหล่งวัสดุจนถึงพื้นที่กึ่งกลางพื้นที่หน้างานในสนาม (กม.265+000) รวมถึงค่าขนส่ง ตามตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.23 รูปแผนที่แสดงระยะขนส่งวัสดุหินคลุกจากโรงโม่ อ.ทองแสนขัน ถึง กม.265+000 ระยะทาง 110 กิโลเมตร

รูปที่ 4.24 รูปแผนที่แสดงระยะขนส่งวัสดุกากยางจากแขวงทางหลวงพิษณุโลกที่ 2 (วังทอง) ถึง กม.265+000 ระยะทาง 6 กิโลเมตร

- ราคาปูนซีเมนต์ ใช้ราคาพาณิชย์จังหวัดพิษณุโลก เดือน กุมภาพันธ์ 2562 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ราคา 1,495.33 บาท / ตัน

ราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม = 1,600 บาท / ตัน

= 1.6 บาท / กก.

เมื่อพิจารณาน้ำหนักของวัสดุ (Density) ที่นำมาใช้ตามการทดสอบ Compaction Test ตามตารางที่ 4.4 เมื่อนำไปคิดปริมาณปูนซีเมนต์ ทั้ง 6 รูปแบบ จะได้น้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากนั้นนำราคาปูนซีเมนต์ต่อกิโลกรัมเพื่อไปหาราคา ต่อ ลูกบาศก์เมตร

หลังจากได้ข้อมูลราคา ค่าวัสดุ ค่าขนส่ง ค่าดำเนินการนำวัสดุมาใช้ในการปฏิบัติงานบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย กม.250+000 – กม.280+000 นั้นจะได้รายละเอียดค่าวัสดุที่นำมาใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ทั้ง 6 รูปแบบตามตารางที่ 4.12 รายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบราคาวัสดุในการปรับปรุงทั้ง 6 รูปแบบ

Type	Cement , %	ราคาวัสดุชั้นทางเดิม (บาท)	หินคลุก (บาท)	กากยาง (บาท)	ค่าขนส่ง (บาท/ลบ.ม.)	ราคาปูนซีเมนต์ บาท/ลบ.ม.	ราคาวัสดุที่ใช้ปรับปรุง (บาท / ลบ.ม.)
1	3	29.56			-	93.16	122.72
2	3	22.17	47.01		396.13	96.48	561.79
5	3	22.17		2.01	23.31	100.32	147.81
6	3	14.78		4.02	23.31	102.72	144.83
7	4	7.39		6.03	23.31	133.12	169.85
7	5	7.39		6.03	23.31	166.4	203.13

โดยการเลือกใช้วัสดุในการปรับปรุงชั้นพื้นทางบนทางหลวงหมายเลข 12 ตอน วังทอง – เข็กน้อย ระหว่าง กม.250+000 – กม.280+000 ตามโครงงานนี้ตามทฤษฎีการทดสอบแล้ว รูปแบบที่ 1 โดยการเพิ่มปูนซีเมนต์ ร้อยละ 3 ก็สมารถรับกำลัดอัด แต่ในการปฏิบัติงานหน้างานในสนามจริงนั้นวัสดุชั้นพื้นทางเดิมจะเกิดความสูญเสียเนื่องจากความเสียหาย และ การขุดออกไประหว่างซ่อมแซม ประมาณร้อยละ 20 ถึง ร้อยละ 40 ของวัสดุชั้นทางเดิมที่เสียหายในการทดสอบตามโครงการนี้เป็นการคุ้มค่าในการประหยัดต้นทุนมากที่สุด จึงแนะนำ รูปแบบที่ 5 วัสดุชั้นทางเดิมร้อยละ 75 กับ กากยางร้อยละ 25 และรูปแบบที่ 6 วัสดุชั้นทางเดิมร้อยละ 50 กับ กากยางร้อยละ 50 โดยทั้ง 2 รูแบบเติมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักมวลรวม

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการทดสอบตามวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัยจะสามารถสรุปผลการดำเนินการโดยแบ่งเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

5.1.1 บนทางหลวงหมายเลข 12 ตอนวังทอง – เข็กน้อย กม.250+000 – กม.280+000 ระยะทาง 30 กิโลเมตร เป็นทางหลวงขนาด 4 ช่อง เกิดความเสียหายทั้งหมด 7,447.72 ตารางเมตร จำแนกตามลักษณะความเสียหายได้ 4 ชนิด ได้แก่ รอยแตกหนังจระเข้ 2,526.97 ตารางเมตร ปูดนูน 290.20 ตารางเมตร ร่องล้อ 4,370.55 ตารางเมตร และ อื่นๆ 290.00 ตารางเมตร เมื่อประเมินความเสียหายทั้งหมดโดยอ้างอิงการเกิดระดับความเสียหาย **“ขั้นสูง”** ตามคู่มือคู่มือการตรวจสอบและประเมินผลความเสียหายของผิวทางรอยแตกหนังจระเข้มีคามเสียหายมากที่สุดจำนวน 2,435.87 ตารางเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 96.39 ของพื้นที่เสียหายชนิดเดียวกัน และคิดเป็นร้อยละ 32.58 ของพื้นที่ความเสียหายทั้งหมด

5.1.2 เมื่อนำมาวิเคราะห์พื้นที่เสียหายตามแนวขวาง (Cross Section) จะเกิดความเสียหายมากที่สุดบริเวณช่องจราจรฝั่งซ้ายช่องที่ 2 จำนวน 1,699.00 ตารางเมตร และ ช่องจราจรฝั่งขวาทางช่องที่ 2 จำนวน 648.67 ตารางเมตร ตาลำดับ จากนั้นพิจารณาข้อมูลช่วงความเสียหายทุก 1 กิโลเมตร ที่มีพื้นที่วิกิฤต (Critical Area) ที่เสียหายมากกว่า 200 ตารางเมตร เปรียบเทียบกับแผนที่ภูมิประเทศ และ Profile ความสูงของกายภาพถนนจะพบว่ามีทั้งหมด 5 ช่วง จะเกิดความเสียหายก่อนเข้าช่วงทางโค้งและทางแยก และจะมีความเสียหายเพิ่มขึ้นเมื่อเขาสู่ทางขึ้นทางลาดชัน

5.1.3 จากการทดสอบค่าอัตราส่วนผสมในการปรับปรุงโดยพิจารณาถึงการรับกำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength โดยอ้างอิงหลักเกณฑ์การประเมินค่าความแข็งแรงของชั้นพื้นทางใช้ตามมาตรฐาน ทล.-ม.203/2556 และ ทล.-ม.204/2556 ของกรมทางหลวงเป็นการประเมินค่าความแข็งแรงของชั้นพื้นทางจากทั้งหมด 7 รูปแบบ 35 อัตราส่วนผสม มีอัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 วัน อยู่ระหว่างค่า Unconfined Compressive Strength ที่ 17.5 ksc. ถึง Unconfined Compressive Strength ที่ 24.5 ksc. ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จำนวน 6 อัตราส่วนผสม

5.1.4 เพื่อจัดทำแนวทางปฏิบัติในการปรับปรุงชั้นพื้นทางได้รูปแบบที่พิจารณาค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength ที่ 3 วัน และ 28 วัน และทำการประเมินราคา ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ได้รูปแบบที่เหมาะสมในการปรับปรุงอยู่ 2 รูปแบบคือรูปแบบที่ 5 วัสดุชั้นทางเดิมร้อยละ 75 กับ กากยางร้อยละ 25 และรูปแบบที่ 6 วัสดุชั้นทางเดิมร้อยละ 50 กับ กากยางร้อยละ 50 โดยทั้ง 2 รูแบบเติมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักมวลรวม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการที่ผ่านมา ผู้วิจัยขอนำเสนอข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางเกี่ยวกับในการดำเนินการศึกษาและวิจัยต่อยอดดังต่อไปนี้

5.2.1 งานวิจัยนี้เป็นการหาความเหมาะสมเพื่อทดสอบและใช้งานจริงหากต้องการให้เป็นงานทางวิชาการแนะนำให้หาอัตราส่วนคละ (Sieve Analysis) ของวัสดุมวลรวมที่ใช้ทดสอบเพื่อให้เป็นค่ามาตรฐานในการทดสอบอื่นๆต่อไป

5.2.2 ควรมีการศึกษาเรื่องของการขยายตัวของวัสดุกากยาง (Milling Asphalt) ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้เกิดรอยแตกจากการขยายตัวของวัสดุที่ไม่เท่ากันได้