การศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุที่เหมาะสมสำหรับงาน PAVEMENT IN-PLACE RECYCLING กรณีทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344

ทวีศักดิ์ เจียมรัตโนภาส

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ทวีศักดิ์ เจียมรัตโนภาส ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวีชัย สำราญวานิช)

.....กรรมการ
(ดร. นพคุณ บุญกระพือ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่ 15 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ข้าพเจ้า นายทวีศักดิ์ เจียมรัตโนภาส ในนามผู้วิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อานนท์ วงษ์แก้ว ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ให้กำลังใจ ติดตามให้ข้าพเจ้าทำงานนิพนธ์กระทั่งสำเร็จ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความหวังดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. นพคุณ บุญกระพือ และกรรมการสอบงานนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวีชัย สำราญวานิช ที่ได้กรุณาให้กำลังใจ แนะนำและแก้ไขให้งานนิพนธ์สำเร็จ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และมหาวิทยาลัยบูรพา ที่เป็นสถานที่สำคัญให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาศึกษา ทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้ สังคม และประสบการณ์ที่ดีมากมาย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อวิเชษฐ์ และคุณแม่ฐิติพร เจียมรัตโนภาส บิดาและมารดาของข้าพเจ้า ที่ให้กำลังใจ แนะนำ และการสนับสนุนที่ดีตลอดมา และขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้าที่เข้าใจ ให้กำลังใจ และสนับสนุนด้วยดีตลอดมาเช่นกัน

คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น และขอมอบให้เป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติตลอดไป

ทวีศักดิ์ เจียมรัตโนภาส

53920997: สาขาวิชา: เทคโนโลยีวิศวกรรม; วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม)
คำสำคัญ: การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ (Pavement in-place recycling)/
วิธีใช้เครื่อง SAW (Sawing machine)/ วิธีใช้กากผิว (Reclaimed asphalt pavement)/
วิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรใช้งานจริง (Direct in-situ method)
ทวีศักดิ์ เจียมรัตโนภาส: การศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุที่เหมาะสมสำหรับงาน PAVEMENT IN PLACE RECYCLING กรณีทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344 (A STUDY FOR SUITABLE SAMPLING METHODS FOR THE PAVEMENT IN-PLACE RECYCLING: A CASE STUDY OF PAVEMENT IN-PLACE RECYCLING PROCESS ON HIGHWAY NO. 344) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: อานนท์ วงษ์แก้ว, Ph.D., 71 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานนิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมของส่วนผสมสำหรับงานก่อสร้างผิวทางด้วยวิธี Pavement in-place recycling การศึกษาดำเนินการเปรียบเทียบค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีใช้เครื่อง SAW (Sawing machine) และวิธีใช้กากผิว (Reclaimed asphalt pavement) กับวิธีเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง (Direct in-situ method) วิศวกรสามารถคำนวณหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อการทำงานได้แม่นยำกว่าการกำหนดปริมาณซีเมนต์ที่ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากเชิงประสบการณ์และเป็นค่าที่นิยมใช้ในการกำหนดปริมาณซีเมนต์ในงานก่อสร้างผิวทางด้วยวิธีนี้ในปัจจุบัน ตัวอย่างวัสดุทั้งหมดจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 วิธี จะถูกทดสอบตามมาตรฐานงานทางของกรมทางหลวง โดยใช้ค่าขนาดคละ ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และค่ากำลังอัด จากนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้หาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อไป

ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมของส่วนผสมจากวิธีการใช้เครื่อง SAW วิธีใช้กากผิว และวิธีที่เก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.7 ร้อยละ 3.6 และร้อยละ 3.5 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 วิธี มีค่าปริมาณซีเมนต์น้อยกว่าร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก และเมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบด้านราคาต้นทุนก่อสร้างของทั้ง 3 วิธี เปรียบเทียบกับวิธีเชิงประสบการณ์แล้ว พบว่า ราคาต้นทุนลดลงร้อยละ 7.5 ร้อยละ 10.0 และร้อยละ 12.5 ตามลำดับ ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าวิธีการในการเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีใช้เครื่อง SAW และวิธีใช้กากผิว สามารถใช้เป็นวิธีในการเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการทำงาน Pavement in-place recycling ของโครงการก่อสร้างทางผิวทางประเภทนี้ของกรมทางหลวงได้ต่อไป

53920997: MAJOR: MASTER OF ENGINEERING; M.Eng. (ENGINEERING TECHNOLOGY)
KEYWORDS: PAVEMENT IN-PLACE RECYCLING/ SAWING MACHINE METHOD/ RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT METHOD/ DIRECT IN-SITU METHOD

TAWEESAK JIAMRATTANOPAS: A STUDY FOR SUITABLE SAMPLING METHODS FOR THE PAVEMENT IN-PLACE RECYCLING: A CASE STUDY OF PAVEMENT IN-PLACE RECYCLING PROCESS ON HIGHWAY NO. 344. ADVISORY COMMITTEE: ARNON WONGKAEW, Ph.D. 71 P. 2017.

This independent project aims to study sampling methods of the raw materials for determining the appropriate amount of cement using in the pavement in-place recycling road reconstruction. By comparing the sampling methods named as Sawing Machine (SAW) and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) with the Direct In-situ Method (Direct) sampling from the pavement in-place recycling machine, engineers can predict the precise amount of cement contents rather than using the cement content of 4.0% by mass of aggregate for every budget estimation. All sample specimens from these three methods are tested in the laboratory under the Department of Highway's standard code of Thailand. Sieve analysis, optimum moisture content, and compressive strength are the analytical data using for optimizing the amount of cement.

Based on the test results, the optimum cement contents are 3.7%, 3.6%, and 3.5% by mass aggregate for SAW, RAP, and Direct, respectively. It can be seen that all three methods result in small cement contents of 4.0% estimating from the experience. This can lead to 7.5%, 10.0%, and 12.50% decreasing in pavement recycling cost comparing between SAW, RAP, Direct, respectively, to experience. It can conclude that SM and RAP can be recommended to use for computing the suitable cement contents of pavement in-place recycling road reconstruction project for the Department of Highway of Thailand.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

สมมติฐานของการศึกษา 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของการศึกษา 5

ขอบเขตของการศึกษา 5

ข้อจำกัดของการศึกษา 6

นิยามศัพท์เฉพาะ 9

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

การจัดทำแผนงานงบประมาณและราคากลางงานก่อสร้าง 10

การทำงาน Pavement in-place recydling 13

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

3 วิธีดำเนินการศึกษา 26

วิธีดำเนินการศึกษาหาค่าปริมาณซีเมนต์ 29

การเปรียบเทียบราคากลางค่าก่อสร้าง 42

4 ผลการศึกษา 45

ผลการศึกษา 45

วิเคราะห์ผลการศึกษา 57

การเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง 58

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการศึกษา	66
สรุปผลการศึกษา	67
ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ประวัติย่อของผู้วิจัย	71

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3-1 การเก็บตัวอย่างวัสดุ 30

4-1 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW 46

4-2 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว 46

4-3 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผิว 47

4-4 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW 50

4-5 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่องกากผิว 51

4-6 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม 52

4-7 ค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW 55

4-8 ค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว 55

4-9 ค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม 55

4-10 ค่า Gradation, Max. Dry density (MDD), Optimum moisture content (OMC) และ Cement content ที่ได้จากการศึกษา 57

4-11 ข้อมูลเปรียบเทียบราคาต้นทุนงาน Pavement in-place recycling 59

4-12 ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์และต้นทุนที่ลดลงได้ (ต่อถนนยาว 1.0 กม. กว้าง 3.5 ม.และความลึก 20 ซม.) 60

4-13 ข้อมูลเปรียบเทียบราคากลางงาน Pavement in-place recycling 61

4-14 ข้อมูลการใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ งาน Pavement in-place recycling เฉพาะโครงการก่อสร้างที่มีสัดส่วนผิวทางเดิมหนา 5 ซม. พื้นทางเดิมหนา 15 ซม 64

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 ตัวอย่างรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ 7
1-2 ตัวอย่างรถขุดผสม 8
1-3 ตัวอย่างรถขูดไส 8
1-4 การทำงาน Pavement in-place recycling 9
2-1 โครงสร้างโดยรวมของหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง 12
2-2 หลักเกณฑ์การคำนวณงานก่อสร้างเป็นราคากลาง 13
2-3 การตั้งค่าการทำงานให้กับเครื่องจักร 18
2-4 ภาพจำลองการขุดไส ผสม และปูเกลี่ย 19
2-5 กระบวนการบดทับและปรับแต่งระดับ 20
3-1 ผังขั้นตอนการดำเนินการศึกษาเรื่องการเก็บตัวอย่างวัสดุ 27
3-2 ที่ตั้งโครงการก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344 ระหว่าง กม. 25+800 – กม.28+740 28
3-3 รูปแบบการก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling 29
3-4 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธี SAW 30
3-5 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีใช้กากผิว 31
3-6 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีใช้รถขุดผสม 32
3-7 การย่อยแผ่นผิวทางเดิมแอสฟัลต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธี SAW 34
3-8 การเตรียมตัวอย่างเพื่อเตรียมดำเนินการทดลอง 35
3-9 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุส่วนค้างตะแกรง # 4 37
3-10 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุส่วนผ่านตะแกรง # 4 38
3-11 การทดลองหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสม 39
3-12 การทำแท่งตัวอย่าง Unconfined 40
3-13 การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด Unconfined compressive strength ของแท่งตัวอย่าง 41
3-14 แผนผังขั้นตอนการคิดราคากลางไปจนถึงการก่อสร้าง 43
4-1 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW 47
4-2 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว 48
4-3 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม 48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-4 ค่าเฉลี่ยของขนาดคละที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละวิธี 49

4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW 53

4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีกากผิว 53

4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม 54

4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW 56

4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว 56

4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม 57

4-11 ภาพประกอบการเปรียบเทียบราคา 62

4-12 ที่ตั้งโครงการก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling เฉพาะโครงการก่อสร้างที่มีสัดส่วนผิวทางเดิมหนา 5 ซม. และพื้นทางเดิมหนา 15 ซม. 65

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน รัฐบาลต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมากในการก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวง โดยเฉพาะในช่วงที่ประเทศอยู่ในช่วงกำลังพัฒนา ได้เกิดโครงการก่อสร้างทางหลวงขึ้นมากมายเพื่อเชื่อมโยงโครงข่ายทางหลวงให้เชื่อมถึงกันครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการเดินทางของคนในประเทศ

จากเหตุผลเรื่องความต้องการใช้งบประมาณเป็นจำนวนมากในการก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวง รวมไปถึงความต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทางซึ่งเริ่มหายากและมีราคาที่สูงขึ้น กรมทางหลวงซึ่งมีหน้าที่ในการกำกับดูแลทางหลวงที่มีอยู่ทั่วประเทศ ได้ทำการศึกษา วิจัย และพัฒนา นำเอาเทคโนโลยีงานทางใหม่ ๆ มาใช้ในงานก่อสร้างและการบำรุงรักษาทางหลวงมาโดยตลอด โดยได้ออกมาตรฐานงานทาง มาตรฐานที่ ทล.-ม. 213/ 2537 มาตรฐานการปรับปรุงชั้นทางเดิมในที่ (Pavement in-place recycling) ขึ้นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2537 และฉบับปรับปรุงในปี พ.ศ. 2543 เพื่อนำมาใช้ในงานบำรุงรักษาทางของกรมทางหลวง โดยคาดหวังว่าจะช่วยลดงบประมาณและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้ ทำให้ประเทศชาติประหยัดงบประมาณในการบำรุงรักษาทางหลวงได้มาก

Pavement recycling คือ วิธีการบูรณะปรับปรุงถนนเดิม โดยการขุดรื้อวัสดุในถนนเดิมกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการผสมกับวัสดุผสมเพิ่มที่ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ชั้นทางมีคุณภาพสูงขึ้น ประเภทของ Pavement recycling แบ่งได้ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ Hot recycling (โดยทั่วไปใช้ปรับปรุงคุณภาพงานชั้นผิวทางเดิม) และ Cold recycling (โดยทั่วไปใช้ปรับปรุงคุณภาพงานชั้นพื้นทางเดิมและผิวทางเดิม ให้เป็นพื้นทางใหม่ก่อนจะปูทับชั้นผิวทางใหม่ลงไป) โดยแต่ละประเภทสามารถแบ่งเป็น In plant และ In place กล่าวคือ วิธีการทำการผสมวัสดุที่ขุดขึ้นมาสามารถนำไปผสมที่โรงผสมหรือผสมในที่ (ในสนาม) ขึ้นอยู่เงื่อนไขของสภาพพื้นที่ที่จะทำการก่อสร้าง

ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีการบูรณะปรับปรุงถนนเดิมแบบผสมในที่ (Pavement in-place recycling) ซึ่งทำให้สะดวกรวดเร็วกว่า ประหยัดเวลาและลดความสูญเสียต่าง ๆ ได้ทั้ง เวลา เงิน พลังงาน ความเสียหายของถนนที่เกิดจากการขนส่งไปมา ปัญหามลพิษ และปัญหาชุมชนตลอดเส้นทางขนส่งถึงหน้างาน Pavement in-place recycling จึงเป็นวิธีการปรับปรุงถนนเดิม โดยการขุด

รื้อวัสดุบนถนนเดิมกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการผสมวัสดุผสมเพิ่มที่ทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพเข้าไปผสมกับวัสดุมวลรวมที่ขุดขึ้นมาในที่นั่นเอง วัสดุผสมเพิ่มที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพอาจใช้ ซีเมนต์ ปูนขาว เถ้าลอย แอสฟัลต์อิมัลชัน โฟมแอสฟัลต์ หรือวัสดุผสมเพิ่มอื่นใดที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพ ในการศึกษาทำงานนิพนธ์นี้ใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุผสมเพิ่ม

ขั้นตอนการทำงาน Pavement in-place recycling นั้นแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนเก็บตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมและพื้นทางเดิมเพื่อมาทดลองและออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสม ขั้นตอนทำงาน และขั้นตอนตรวจสอบคุณภาพของงาน

การเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อทดลองและออกแบบหาปริมาณซีเมนต์ มีประเด็นว่า วิธีการเก็บตัวอย่างที่ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติปัจจุบันนี้ กระทำโดยใช้เครื่องตัดผิวทางตัดผ่าผิวทางเดิมแอสฟัลต์ออกแล้วขุดเก็บเอาพื้นทางเดิมหินคลุก ซึ่งผิวทางแอสฟัลต์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่น ทำให้ต้องไปทำการย่อยเองในห้องทดลอง โดยปัจจุบันใช้วิธีใช้ค้อนทุบและเอาไปอบในตู้อบเพื่อให้ยางแอสฟัลต์เหลว เพื่อให้ผิวทางแอสฟัลต์แยกตัวออกเป็นเม็ดให้ได้มากที่สุด ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยากแต่ใช้เครื่องจักรเล็ก ๆ ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก แต่ตัวอย่างวัสดุที่ได้นั้นมีขนาดเม็ด และขนาดคละไม่เหมือนตัวอย่างวัสดุที่ได้จากการทำงานจริง ซึ่งใช้เครื่องจักรเฉพาะในการทำงาน หากต้องการได้วัสดุที่เป็นตัวแทนที่ตรงกับการทำงานจริง จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรทำงานจริงในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเป็นไปได้ยากมาก เพราะเครื่องจักรมีขนาดใหญ่และมีราคาสูง และกระบวนการทดลองและออกแบบใช้เวลานานประมาณ 2-4 สัปดาห์ และประกอบกับผู้รับจ้างอาจรับงานไว้มากกว่าหนึ่งงาน จึงไม่มีผู้รับจ้างรายใดที่จะยอมขนย้ายเครื่องจักรมาเพื่อเก็บตัวอย่างแล้วย้ายกลับไปทำงานที่อื่นต่อ หรือแม้กระทั่งจะยอมจอดรอเพื่อเริ่มทำงาน เนื่องด้วยปัญหาที่กล่าวมานี้ทำให้ต้องทำการศึกษาถึงความเหมาะสมที่จะเลือกใช้วิธีการใดในการเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อทดลองและออกแบบหาปริมาณซีเมนต์ เพราะขนาดเม็ดและขนาดคละของตัวอย่างวัสดุที่ได้จากการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณซีเมนต์ออกแบบนั่นเอง กล่าวคือ หากวัสดุมวลรวมมีมวลหยาบมากมีฝุ่นน้อยจะได้ปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่สูง ในทางกลับกันวัสดุมวลรวมที่มีมวลหยาบแต่พอเหมาะและมีฝุ่นมากขึ้น คือ มีขนาดคละที่ดี จะมีความต้องการใช้ปริมาณซีเมนต์ที่น้อยกว่า

ดังที่กล่าวในส่วนแรก การที่จะพัฒนาก่อสร้างหรือบำรุงรักษาทางหลวงนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้งบประมาณจากรัฐในการเข้าดำเนินการ โดยการจัดทำแผนงานเสนอเพื่อขอรับงบประมาณ ซึ่งในการจัดทำแผนงานดังกล่าวในงาน Pavement in-place recycling นั้น ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการคำนวณราคากลาง คือ ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการออกแบบจากการเก็บตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น แต่ปัญหาที่มักจะพบคือ ระยะเวลาในการจัดทำแผนงานที่จำกัด รวมไปถึง

ความต้องการใช้ทันทีในขั้นตอนคิดราคากลาง ทำให้ไม่สามารถรอใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้งานจริงของผู้รับจ้างได้ ทางผู้จัดทำแผนงานจึงใช้ค่าเฉลี่ยโดยประมาณที่อาจได้มาจากงานโครงการก่อสร้างที่ผ่านมาที่อยู่ในสายทางเดียวกัน หรือจากข้อมูลเชิงประสบการณ์ของผู้จัดทำแผนงาน ซึ่งโดยส่วนมากแล้วค่าที่ใช้อยู่นั้นมักจะสูงกว่าความเป็นจริงที่ได้จากการออกแบบ ทำให้ราคากลางสูงขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น หากใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงประสบการณ์ของผู้จัดทำแผนงาน ในการคำนวณราคากลาง ค่าก่อสร้างเฉพาะงาน Pavement in-place recycling เป็นเงินประมาณ 100 บาทต่อตารางเมตร แต่หากใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3.5 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ค่าก่อสร้างเป็นเงินประมาณ 90 บาทต่อตารางเมตร โดยการคิดราคากลางเป็นไปตามการคำนวณราคากลางของหน่วยงานราชการ ตามหลักเกณฑ์การคิดราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพานและท่อเหลี่ยมของกรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง พ.ศ. 2555

การที่ไม่สามารถรอใช้ค่าซีเมนต์ที่ได้จากเครื่องจักรที่ทำงานจริงได้นั้น เพราะ ณ เวลาที่อยู่ในขั้นตอนจัดทำเสนอแผนงานหรือการคิดราคากลางนั้น ยังไม่ได้งบประมาณ และยังไม่ได้มีการประกวดราคาจ้างหรือทำสัญญาจ้าง ซึ่งเป็นขั้นตอนต้นกำเนิดงานก่อสร้าง ซึ่งระยะเวลาในจุดนี้จะห่างจากระยะเวลาที่ดำเนินการก่อสร้างเป็นปี กรณีที่แผนงานที่นำเสนอนั้นได้รับงบประมาณหรือ อาจไม่เกิดการก่อสร้างขึ้นเลย ในกรณีที่แผนงานที่นำเสนอนั้นไม่ได้รับงบประมาณ ดังนั้นการที่จะใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้งานจริงมาคิดราคากลางนั้นจึงเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ จำเป็นต้องหาวิธีที่สามารถให้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใกล้เคียงค่าจริง ณ เวลาที่ดำเนินการคิดราคากลาง

ราคากลางที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงอันเนื่องมาจากไม่สามารถหาค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จริง เพราะยังไม่ดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งไม่มีเครื่องจักรจริง ไม่สามารถเก็บตัวอย่างตัวแทนจากเครื่องจักรที่ใช้งานจริงมาออกแบบเพื่อหาปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จริงได้ ทำให้ต้องกำหนดค่าเชิงประสบการณ์ในการคิดราคากลาง ซึ่งใช้ค่าซีเมนต์ในการคำนวณราคากลางที่ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก จากประสบการณ์ของผู้ศึกษา ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จริงส่วนใหญ่มักจะมีค่าไม่ถึงค่ากำหนดดังกล่าว ทำให้ราคากลางสูงกว่าความเป็นจริง หรือกรณีที่ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จริงในตอนก่อสร้างมีค่ามากกว่าร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ก็ทำให้มีปัญหาความคลาดเคลื่อนจากการคิดราคาเกิดขึ้น จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ จึงทำให้เกิดการศึกษาผลงานนำเสนอนี้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการใช้ปริมาณซีเมนต์ในการคิดราคาเทียบกับเมื่อใช้ในการก่อสร้างจริงมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทราบค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุแต่ละวิธีที่ผู้ศึกษานำเสนอเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่เก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง

2. เพื่อทราบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถให้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกับวิธีที่ได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริงหรือไม่ เพื่อสามารถใช้ค่าปริมาณซีเมนต์นั้นในการคิดราคากลางแทนการใช้ค่าที่กำหนดเชิงประสบการณ์ เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยลง เนื่องจากวิธีที่นำเสนอนั้นสามารถดำเนินการได้ตั้งแต่ในขั้นตอนคิดราคากลาง

สมมติฐานของการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อนำมาทดลองและออกแบบหาปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมในส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วย พื้นทางเดิมหินคลุก และผิวทางเดิมแอสฟัลต์นั้น ปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการนำวัสดุมาทดลองและออกแบบนั้น มีแนวโน้มสัมพันธ์กับขนาดเม็ดและขนาดคละของวัสดุมวลรวม ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน โดยสมมติฐานว่า การเก็บตัวอย่างวัสดุ โดยใช้เครื่องตัดผิวทางเดิมแอสฟัลต์ออก แล้วทำการขุดเอาหินคลุกพื้นทางเดิมออกมานั้น ผิวทางเดิมแอสฟัลต์ที่ได้จะเป็นแผ่น ทำให้ต้องย่อยจากแผ่นให้เป็นเม็ดเองโดยใช้ค้อนทุบในห้องทดลอง แล้วนำไปเข้าตู้อบเพื่อทำให้ยางแอสฟัลต์อ่อนตัวและวัสดุจะแยกออกเป็นเม็ด วิธีนี้จะได้วัสดุมวลรวมที่มีมวลหยาบมาก มีฝุ่นละเอียดน้อย ทำให้ปริมาณซีเมนต์ออกแบบมีแนวโน้มมีค่าสูง และเป็นตัวแทนที่ไม่ตรงกับการทำงานจริง สำหรับการเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีการใช้รถขุดผสม โดยทำการขุดวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และหินคลุกพื้นทางเดิมออกมานั้น เป็นวิธีที่ตรงกับการทำงานจริง ได้วัสดุมวลรวมที่ละเอียดขึ้น ไม่ต้องไปย่อยอีก มีฝุ่นละเอียดมากขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มจะได้ปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่น้อยลง

2. ตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์ที่ได้จากการขูดไส ซึ่งอาจได้มาจากถนนสายอื่นใดก็ได้ซึ่งอาจได้มาก่อน และทำการเก็บกองไว้ที่สำนักงาน หรืออาจได้จากสายทางที่จะก่อสร้าง ถือว่ามีคุณสมบัติแตกต่างกันไม่มาก มีผลต่อการออกแบบหาปริมาณซีเมนต์น้อย ทั้งนี้ถือว่าผ่านการขูดไสมาทำให้มีขนาดเม็ดและขนาดคละของวัสดุไม่ต่างกันมากโดยมีเงื่อนไขคือหินที่ใช้ผสมทำผิวทางแอสฟัลต์ของตัวอย่างผิวทางเดิมแอสฟัลต์ที่ได้จากการขูดไสมาจากถนนสายทางอื่นต้องเป็นหินชนิดเดียวกันกับหินที่ใช้ผสมทำผิวทางแอสฟัลต์เดิมของสายที่จะก่อสร้าง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของการศึกษา

ทำให้ทราบว่าการเก็บตัวอย่างวัสดุแต่ละวิธีให้ผลเช่นไร มีผลกับปริมาณซีเมนต์ออกแบบอย่างไร และการใช้ปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่ได้จากวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุที่เลือกใช้นั้นเมื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาราคากลาง จะให้ผลอย่างไร ซึ่งจะทำให้สามารถมั่นใจกับวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุที่เลือกใช้ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อให้ได้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ความคลาดเคลื่อนน้อยลง เพื่อนำไปในใช้ในกระบวนการคิดราคากลาง เพื่อจัดทำแผนงานเสนอของบประมาณ

ขอบเขตของการศึกษา

1. หัวข้อศึกษา

1.1 ศึกษาค่าปริมาณซีเมนต์ออกแบบของส่วนผสมสำหรับการทำงาน Pavement in-place recycling จากการเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีการที่แตกต่างกัน

วิธีการในการเก็บตัวอย่างวัสดุที่ทำการศึกษามี 3 วิธี ดังต่อไปนี้

1.1.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยใช้เครื่องตัดผิวทางแอสฟัลต์เดิมแล้วนำไปย่อยเองที่ห้องทดลองโดยใช้ค้อนทุบและนำไปอบในตู้อบ และทำการเก็บตัวอย่างหินคลุกพื้นทางเดิมที่อยู่ใต้ผิวทางแอสฟัลต์เดิมโดยการขุด ต่อไปนี้จะเรียกวิธีนี้ว่า วิธีใช้เครื่อง SAW

1.1.2 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยใช้เครื่องตัดผิวทางแอสฟัลต์เดิมออกเพื่อขุดเอาหินคลุกพื้นทางเดิมหรือใช้เครื่องจักรหนักอื่น ๆ ในการเก็บตัวอย่างหินคลุกพื้นทางเดิม ส่วนผิวทางแอสฟัลต์เดิมได้จากการขูดไสโดยเครื่องจักรขูดไส ซึ่งอาจจะได้มาจากถนนสายใดก็ได้โดยที่หินที่ใช้ผสมทำผิวแอสฟัลต์ควรเป็นชนิดเดียวกันกับสายทางที่จะทำงาน (ในการศึกษาครั้งนี้ได้จากสายทางที่ทำการศึกษา) ต่อไปนี้จะเรียกวิธีนี้ว่า วิธีใช้กากผิว

1.1.3 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยใช้เครื่องจักรที่ใช้จริงในการทำงาน Pavement in-place recycling ซึ่งทำหน้าที่ขุดผสมและเกลี่ยปูวัสดุ โดยให้รถขุดผสมทำการขุดเก็บเอาตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และพื้นทางเดิมหินคลุก ภายใต้ความเร็วในการเดินของเครื่องจักรใกล้เคียงมาตรฐานการทำงานทั่ว ๆ ไป (ประมาณ 4-7 ม./ นาที) ต่อไปนี้จะเรียกวิธีนี้ว่า วิธีใช้รถขุดผสม

1.2 ศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณราคาค่าก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling โดยใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองด้วยการเก็บตัวอย่างวัสดุในแต่ละแบบ

2. ประเภทของ Pavement recycling และเครื่องจักร ที่ใช้ในการศึกษา

2.1 เป็นงาน Pavement recycling ที่เป็นลักษณะ In-Place (ในที่) เท่านั้น

2.2 เป็นงาน Pavement in-place recycling ที่ใช้วัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15 เท่านั้น

2.3 รถขุดผสมและรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ ที่ใช้สำหรับทำงาน Pavement in-place recycling ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นแบบระบบเปียก (Wet mixed) กล่าวคือ ซีเมนต์และน้ำ จะถูกส่งจ่ายมาจากรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ และมารวมกันเพื่อทำการผสมที่รถขุดผสมได้เป็น น้ำปูน ที่อยู่ในสภาวะ Slurry ก่อนถูกฉีดลงไปผสมกับวัสดุมวลรวมที่ขุดขึ้นมาใต้ท้องรถและถูกเกลี่ยปูออกไปทางท้ายรถ เพื่อรอการบดทับต่อไป

3. สายทางที่ทำการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ ใช้ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344 ระหว่าง กม. 25+800 – กม. 28+740 ทั้งคันทางซ้ายและขวา อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี เป็นสถานที่ในการศึกษา

4. สัดส่วนผสมของผิวทางเดิมแอสฟัลต์และหินคลุกพื้นทางเดิม

ในการทำงาน Pavement in-place recycling โดยทั่วไปความลึกของชั้นทางเดิมที่ทำการปรับปรุงคุณภาพมีความลึกเท่ากับ 20 ซม. ดังนั้น สัดส่วนผสมของผิวทางเดิมแอสฟัลต์และพื้นทางเดิมหินคลุกจึงขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นผิวทางเดิมเป็นหลัก เนื่องจากโดยทั่วไปผู้ออกแบบมักออกแบบความหนาของชั้นพื้นทางที่ความหนา 20 ซม. ส่วนความหนาของผิวทางขึ้นอยู่กับมาตรฐานชั้นทางและปริมาณการจราจร ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความหนาที่ 5 ซม. และ 10 ซม. โดยทั่วไป งาน Pavement in-place recycling ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพจะใช้สำหรับถนนที่มีผิวทางแอสฟัลต์เดิมไม่เกิน 10 ซม. หรือหากหนาเกิน 10 ซม. ต้องทำการขูดไสส่วนที่เกินทิ้งก่อน เนื่องจากหากสัดส่วนความหนาของผิวทางแอสฟัลต์เดิมมาก ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จะมากตาม และถ้าใช้ซีเมนต์มากพื้นทางที่ปรับปรุงเสร็จแล้วอาจแตกร้าว (Crack) เนื่องจาก Shrinkageได้ ในการศึกษานี้ จะทำการศึกษาในกรณีที่ความหนาของผิวทางเดิมหนา 5 ซม. และพื้นทางเดิมหนา 15 ซม. เท่านั้น ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนผสมระหว่างผิวทางเดิมแอสฟัลต์และพื้นทางเดิมหินคลุกเท่ากับ 1 : 3 โดยน้ำหนัก

ข้อจำกัดของการศึกษา

1. ขั้นตอนในการทำงาน Pavement in-place recycling ต้องอาศัยเครื่องจักรเฉพาะที่มีราคาสูง และใช้เครื่องจักรหนักหลายชนิดและจำนวนมาก (ดูภาพที่ 1-1 ถึง 1-4 ประกอบ) ทำให้มีอุปสรรคในการศึกษา กล่าวคือ ขาดการสนับสนุนงบประมาณทั้งคน เครื่องจักร และงบประมาณต่าง ๆ เพื่อทำการศึกษาได้อย่างเฉพาะเจาะจงและเต็มที่ ครอบคลุมทุกปัจจัยที่เป็นตัวแปรใน

การศึกษา ทำให้ผลการศึกษาอาจไม่สมบูรณ์ เช่น หากเก็บตัวอย่างผิดพลาดหรือไม่ครบถ้วน ต้องการจะเก็บใหม่อาจทำไม่ได้หรือทำได้ยาก หรือหากมีความผิดพลาดในการทดลอง ทำให้ต้องเก็บวัสดุใหม่ หรือต้องทำแปลงทดลองใหม่นั้น ค่อนข้างเป็นไปได้ยาก คือทุกขั้นตอนทั้งในการเก็บตัวอย่าง การทดลอง และการทำแปลงทดลองนั้น มีระยะเวลาจำกัด ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดของการศึกษา หากเกิดความผิดพลาดขึ้น ต้องใช้ดุลยพินิจและประสบการณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

2. รถขุดผสมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีอายุการใช้งานมาก ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน และอาจทำให้มีความผิดพลาดในข้อมูลได้

3. ขั้นตอนการทำการทดลองมีหลายขั้นตอน ต้องใช้เวลามาก ประกอบกับเหตุผลข้อ 1. ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนของตัวอย่างในการทดลอง อาจไม่มากพอที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีจำนวนมากพอต่อการวิเคราะห์ผลและการสรุปผลที่ดี

4. ในการศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้นั้น สัดส่วนของผิวทางเดิมแอสฟัลต์กับพื้นทางเดิมหินคลุก ที่ใช้ผสมนั้น ได้ทำการศึกษาเพียงสัดส่วนเดียว คือ 1 : 3 (คิดสัดส่วนในมิติความหนาของชั้นทางที่ปรับปรุง) แต่ในการทำงานอาจมีกรณีสัดส่วน 1 : 1 นั่นคือ ความหนาผิวทางเดิมแอสฟัลต์และความหนาพื้นทางเดิมหินคลุก หนาชั้นละ 10 ซม. ดังนั้นอาจเป็นข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งของการศึกษาครั้งนี้ เพราะสัดส่วนของผิวทางเดิมแอสฟัลต์และพื้นทางเดิมหินคลุกมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณซีเมนต์ออกแบบ กล่าวคือ ถ้าสัดส่วนของผิวทางเดิมแอสฟัลต์ยิ่งมากจะยิ่งใช้ปริมาณซีเมนต์มากเพื่อให้ค่ากำลังรับแรงอัดได้ตามมาตรฐาน

ภาพที่ 1-1 ตัวอย่างรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ (Wirtgen Co., Ltd., 2012)

ภาพที่ 1-2 ตัวอย่างรถขุดผสม (Wirtgen Co., Ltd., 2014)

ภาพที่ 1-3 ตัวอย่างรถขูดไส (Wirtgen Co., Ltd., 2014)

ภาพที่ 1-4 การทำงาน Pavement in-place recycling

นิยามศัพท์เฉพาะ

Unconfined compressive strength หมายถึง ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2} หรือ kg/cm^2 (USC) หรือ ksc.)

Max. Dry density (MDD) หมายถึง ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ก./มล. หรือ gm/ml)

Optimum Moisture Content หมายถึง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (%) (OMC)

เครื่องจักรงาน Recycling หมายถึง รถขุดผสมและรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ

รถขุดผสม หมายถึง รถที่ทำหน้าที่ขุดรื้อผิวทางเดิมและพื้นทางเดิมมาผสมกันกับวัสดุผสมเพิ่ม แล้วทำการเกลี่ยปูออกไปทาง Paver ที่ติดตั้งอยู่ท้ายรถ

รถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ หมายถึง รถที่บรรทุกซีเมนต์และน้ำ และทำหน้าที่ส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำไปให้รถขุดผสม

เครื่องจักรขูดไส หมายถึง รถขูดไสผิวทางเดิม

แท่งตัวอย่างวัสดุ หมายถึง แท่งตัวอย่างวัสดุผสมผิวทางเดิมแอสฟัลต์พื้นทางเดิมหินคลุกและปูนซีเมนต์

มวลหยาบ/ ส่วนหยาบ หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดเม็ดค้างตะแกรง # 4

มวลละเอียด/ ส่วนละเอียด หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดเม็ดผ่านตะแกรง # 4

ฝุ่น # 200 หมายถึง ขนาดเม็ดวัสดุที่ผ่านตะแกรง # 200

ซีเมนต์ หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มอก.15

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำแผนงานงบประมาณและราคากลางงานก่อสร้าง

งบประมาณ (Budgeting) คือ การวางแผนการที่คาดว่าจะต้องจ่าย โดยการคิดล่วงหน้า และแสดงข้อมูลออกมาเป็นตัวเลข และอาจแสดงออกมาในรูปของตัวเงิน จำนวนชั่วโมงในการทำงาน จำนวนผลิตภัณฑ์ จำนวนชั่วโมงเครื่องจักร ค่าสึกหรอ ค่าโสหุ้ย เป็นต้น

1. ความสำคัญของงบประมาณ

การบริหารงบประมาณ ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการควบคุมต้นทุนโครงการ ตลอดจนแผนงานตั้งแต่ในระดับโครงการจนถึงการบริหารจัดการ และใช้เป็นเครื่องมือของฝ่ายบริหาร ทำให้มีประสิทธิภาพในการวางแผนทางการเงินเนื่องจากเป็นแผนงานที่แสดงออกในลักษณะเชิงปริมาณ จะที่เกิดขึ้นในเวลาที่กำหนด เช่น รายสัปดาห์ รายเดือน รายไตรมาส หรือ รายปี โดยทั่วไป งบประมาณจะจัดทำขึ้นปีละครั้ง จึงเรียกว่า งบประมาณประจำปี โดยปีงบประมาณมักจะเป็นไปตามรอบบัญชีของบริษัท เช่น เริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมและสิ้นสุดในวันที่ 31 ธันวาคม เป็นต้น ส่วนของภาครัฐจะเริ่มปีงบประมาณในวันที่ 1 ตุลาคม และสิ้นสุดปีงบประมาณในวันที่ 30 กันยายนของปีถัดไป งบประมาณ จึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผน กำหนดวัตถุประสงค์ และเป้าหมายในการดำเนินกิจกรรมของหน่วยงาน นอกจากนี้ ยังสามารถนำงบประมาณไปใช้ในการควบคุมแผนงานก็จะช่วยให้ฝ่ายบริหารสามารถติดตามผลการปฏิบัติงานของแต่ละหน่วยงานได้อย่างดี

2. ระบบงบประมาณแบบแผนงาน

งบประมาณแบบแผนงาน (Planning program budgeting: PPB หรือ Planning program budgeting system: PPBS) คือ การจัดเตรียมงบประมาณจากการเริ่มต้นด้วยการวางแผนงานที่จะให้การใช้จ่ายงบประมาณมีผลสำเร็จทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผลไปพร้อม ๆ กัน (Efficiency and effectiveness) ซึ่งมีจุดเด่นในการวางแผนระยะยาว ตลอดจนการมุ่งบรรลุวัตถุประสงค์อย่างต่อเนื่อง และสามารถมีการจัดเตรียมงบต่อเนื่องที่ใช้ในการบริหารจัดการระยะยาวอีกด้วย เป็นการบริหารงานแบบครบองค์ไม่ใช่ดูแค่ส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงการแต่ดูครอบคลุมภาพรวมโครงการในทุกส่วนนั่นเอง

3. ราคากลางงานก่อสร้าง

อธิวัฒน์ โยอาศรี (2559) ได้อธิบายถึงความหมายของ ราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการไว้ว่า ราคาค่าก่อสร้างในงานก่อสร้างของทาง ราชการในแต่ละงาน/ โครงการ ซึ่งได้จากการประเมินหรือคำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่คณะรัฐมนตรีกำหนด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นราคาอ้างอิงในกระบวนการจัดจ้างงานก่อสร้างตามระเบียบ ฯ ว่าด้วยการพัสดุ หรือเพื่อการอื่น

ฉะนั้น ราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการ จึงไม่ใช่ราคามาตรฐานของงานก่อสร้าง แต่เป็นราคาค่าก่อสร้างที่ประเมินหรือคำนวณตามข้อมูลข้อเท็จจริงที่เป็นปัจจุบันในขณะที่ประเมินหรือคำนวณราคากลางโครงการ/ งานก่อสร้างนั้น

ราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการ เป็นราคาที่ทางราชการยอมรับได้ ไม่สูงจนผู้ประกอบการได้กำไรมากเกินกว่าที่ควรได้รับ และเป็นราคาที่ไม่ต่ำจน ผู้ประกอบการไม่สามารถที่จะดำเนินการก่อสร้างได้

4. หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง

หากพิจารณาในภาพแล้ว หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน ดังนี้

4.1 ส่วนของการคำนวณค่างานต้นทุน (Direct cost) เป็นหลักเกณฑ์และวิธีการในการคำนวณค่างานต้นทุนหรือราคาทุนของงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ประกอบด้วยหลักเกณฑ์การถอดแบบคำนวณราคากลาง และรายละเอียดประกอบการคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ฯ

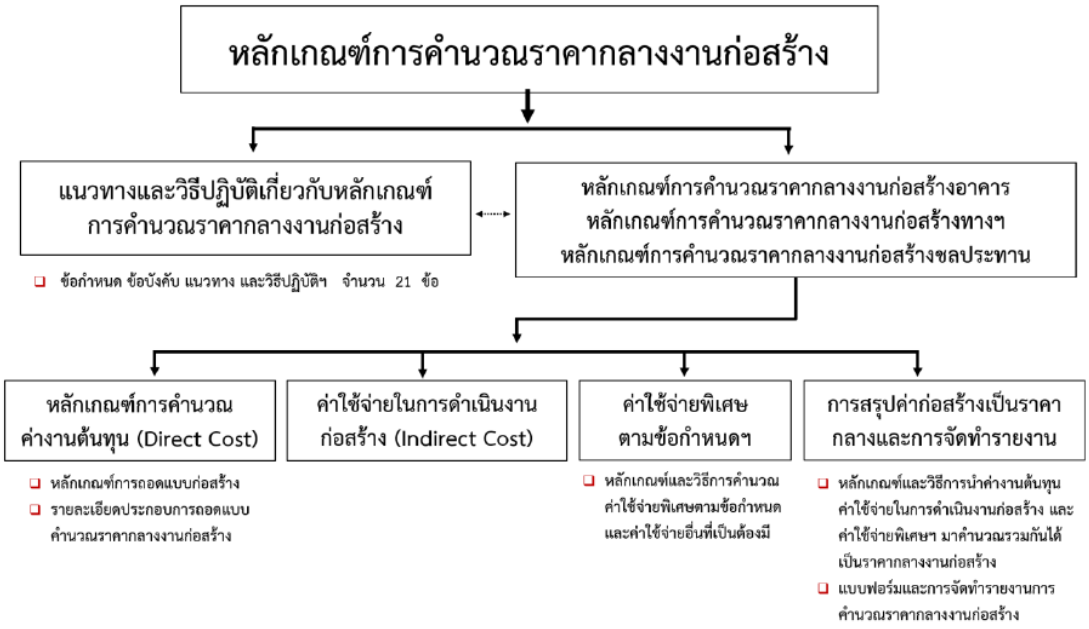
4.2 ส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก่อสร้าง (Indirect cost) เป็นส่วนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก่อสร้าง ซึ่งประกอบด้วย ค่าอำนวยการ ดอกเบี้ย กำไร และค่าภาษี และเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ จึงได้คำนวณรวมและจัดทำไว้ในรูปของตารางสำเร็จรูปเรียกว่า ตาราง Factor F

4.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายพิเศษตามข้อกำหนดและค่าใช้จ่ายอื่นที่จำเป็นต้องมี

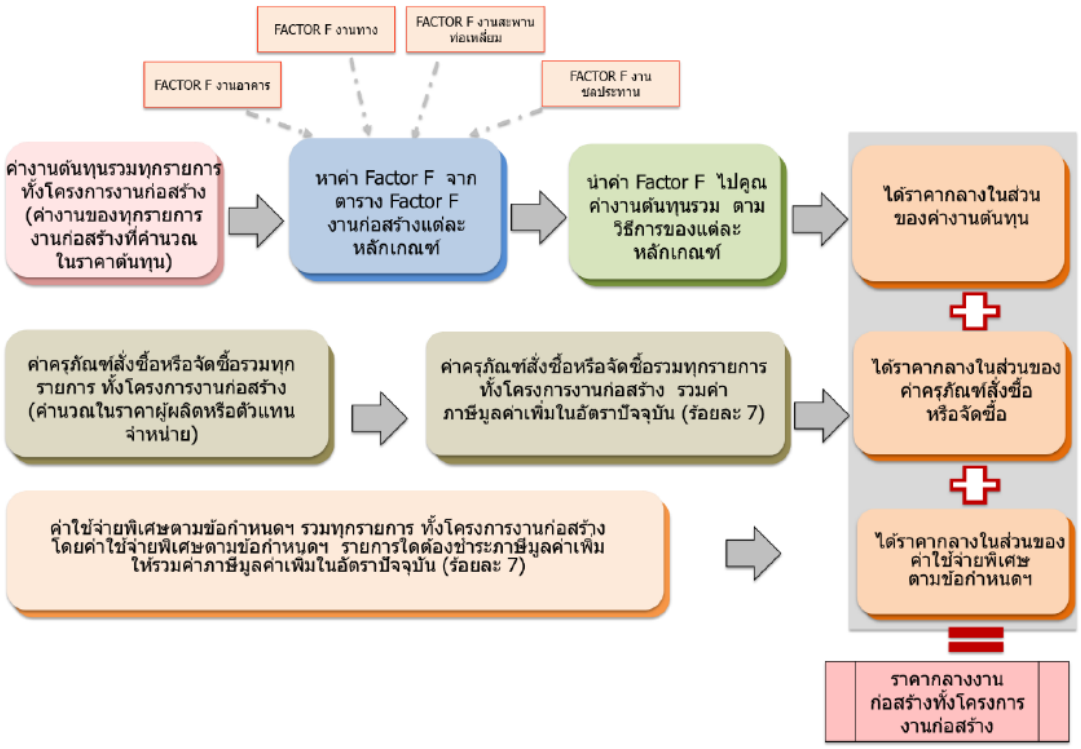
4.4 หลักเกณฑ์การสรุปค่าก่อสร้างเป็นราคากลางและการจัดทำรายงาน เป็นหลักเกณฑ์และวิธีการในการนำค่างานต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายพิเศษตามข้อกำหนดฯ มาคำนวณรวมกันเป็นราคากลางทั้งโครงการ/ งานก่อสร้าง และรวมไปถึงการจัดทำรายงานการคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม

4.5 แนวทางและวิธีปฏิบัติเกี่ยวกับหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง เป็นข้อบังคับ แนวทาง และวิธีปฏิบัติเพื่อสนับสนุนให้มีการนำหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างไปใช้ปฏิบัติได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

ซึ่งหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง รวมไปถึงการคำนวณเป็นราคากลาง ได้แสดงดังภาพที่ 2-1 และ 2-2



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างโดยรวมของหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง



ภาพที่ 2-2 หลักเกณฑ์การคำนวณงานก่อสร้างเป็นราคากลาง

การทำงาน Pavement in-place recycling

การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ ในความหมายตามมาตรฐานงานทาง กรมทางหลวง มาตรฐานที่ ทล.-ม. 213/2543 การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement recycling) คือ การนำวัสดุจากชั้นทางเดิมมาปรับปรุงคุณภาพแล้วนำไปใช้งานใหม่ โดยให้มีคุณภาพตามรูปแบบและข้อกำหนด ในการนี้อาจจะเพิ่มเติมวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงขนาดคละและเพิ่มปริมาณ เช่น หิน ทราย Soil Aggregate ฯลฯ และวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Stabilizing agents) เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว แอสฟัลต์ และสารผสมเพิ่ม (Admixture) อื่นใด ทั้งนี้ในการปรับปรุงอาจจะกระทำได้ทั้ง ในที่ (In-Place) หรือที่โรงงาน (Central plant) หรือทั้งในที่และที่โรงงานด้วย ขึ้นอยู่กับการกำหนดไว้ในรูปแบบ โดยจะต้องก่อสร้างให้ถูกต้องตามขั้นตอนและปิดทับด้วยผิวทางใหม่ การปรับปรุงชั้นทางอาจจะทำการปรับปรุงเพียงชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ การใช้งาน ใช้ในงานปรับปรุงหรือก่อสร้างชั้นทางใด ๆ โดยให้เป็นไปตามรูปแบบและข้อกำหนด วัสดุชั้นทางเดิมรวมกับวัสดุที่ผสมเพิ่มจะต้องมีคุณภาพตามรูปแบบและข้อกำหนด ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของวัสดุไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้งานจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

วัสดุชั้นทางเดิม หมายถึง วัสดุที่ได้จากการขุดรื้อ ขูดไสจากชั้นทางเดิมแล้วทำให้ร่วน ในกรณีที่วัสดุชั้นทางเดิมหลังจากขุดรื้อ ขูดไสและทำให้ร่วนแล้วมีขนาดคละ หรือคุณสมบัติอื่น ๆ ไม่เป็นไปตามรูปแบบและข้อกำหนด ให้แก้ไขปรับปรุงหรือนำวัสดุผสมเพิ่มมาผสมเพื่อให้ได้ตามรูปแบบและข้อกำหนด วัสดุที่นำมาผสมเพิ่มจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เข้ากันได้ดีกับวัสดุชั้นทางเดิมหรือวัสดุผสมเพิ่มชนิดอื่นที่นำมาใช้ เพื่อทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของส่วนผสมมีความแข็งแรงเป็นไปตาม ข้อกำหนดในรูปแบบที่ผู้ออกแบบระบุไว้ วัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุง

ขนาดคละและเพิ่มปริมาณ หมายถึง วัสดุจากที่อื่นที่นำมาผสมเพิ่มกับวัสดุชั้นทางเดิมเพื่อปรับปรุงขนาดคละและเพิ่มปริมาณตามที่กำหนดไว้ในรูปแบบและข้อกำหนด เช่น หิน ทราย Soil aggregate วัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพ หมายถึง วัสดุจากที่อื่นที่นำมาผสมเพิ่มกับวัสดุชั้นทางเดิมเพื่อปรับปรุงคุณภาพต้องเป็นชนิดที่กรมทางหลวงกำหนดต่อไปนี้ หากเป็นชนิดนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากสานักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทางก่อนนำไปใช้งานเป็นแต่ละกรณี

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นปูนใหม่ บรรจุอยู่ในไซโลหรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ผู้รับจ้างจะต้องจัดทำสถานที่เก็บให้เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้นหรือเสื่อมคุณภาพ ผู้รับจ้างต้องระบุตราปูนซีเมนต์ที่ใช้ ซึ่งควรเป็นตราเดียวกันตลอดงาน หากในระหว่างการก่อสร้างผู้รับจ้างต้องการเปลี่ยนไปใช้ปูนซีเมนต์ตราอื่นนอกเหนือจากที่แจ้งไว้เดิม ให้ผู้รับจ้างเสนอรายละเอียดการออกแบบส่วนผสมใหม่ต่อนายช่างผู้ควบคุมงานเพื่อพิจารณาในกรณีที่ปูนซีเมนต์ที่ใช้งานนั้นเก็บไว้นานเป็นระยะเวลาเกินกว่า 3 เดือนหรือในกรณีนายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาแล้วเห็นว่า วิธีการเก็บรักษาไว้ไม่เหมาะสมอาจทำให้ปูนซีเมนต์เสื่อมคุณภาพได้ ให้นายช่างผู้ควบคุมงานระงับการใช้งานทั้งหมดหรือบางส่วนไว้ หากประสงค์จะนำมาใช้งาน ให้นำปูนซีเมนต์นั้นไปตรวจสอบคุณภาพใหม่หรือให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ก็ได้ ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง

ปูนขาวที่ใช้ หมายถึง ไฮเดรดเต็ดไลม์ [Hydrated lime: Ca (OH)] หรือ ควิกไลม์ [Quick lime: CaO] ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้ ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ [Calcium oxide: CaO] และแมกนีเซียมออกไซด์ [Magnesium oxide: MgO] รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ขนาดของเม็ดปูนขาวต้องผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40) ร้อยละ 100 ปูนขาวที่ใช้ต้องเป็นปูนใหม่ และจะต้องจัดทำสถานที่เก็บรักษาให้เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้ปูนขาวชื้นหรือเสื่อมคุณภาพผู้รับจ้างต้องระบุแหล่งปูนขาวที่นำมาใช้ตลอดระยะเวลาการก่อสร้างด้วย หากในระหว่างเวลาการก่อสร้าง ผู้รับจ้างต้องการเปลี่ยนไปใช้ปูนขาวจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากที่แจ้งไว้เดิม ให้ผู้รับจ้างเสนอนายช่าง

ผู้ควบคุมงานพิจารณาว่าจะให้ใช้งานตามที่ออกแบบไว้เดิมต่อไป หรือต้องออกแบบส่วนผสมใหม่ ในกรณีที่ปูนขาวที่ใช้งานนั้นเก็บไว้นานหรือนายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาแล้วเห็นว่าผู้รับจ้างเก็บรักษาไว้ไม่เหมาะสมอาจทำให้ปูนขาวเสื่อมคุณภาพได้ ค่าใช้จ่ายในการนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง

เถ้าลอยที่นำมาใช้จะต้องมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ ขนาดของเม็ดเถ้าลอยต้องผ่านตะแกรงขนาด 0.600 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 และต้องผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 แหล่งเถ้าลอยต้องมีปริมาณมากพอที่จะสามารถนำมาใช้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง หากในระหว่างการก่อสร้างเถ้าลอยที่ใช้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ผู้รับจ้างจะต้องเสนอต่อนายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาว่าจะให้ใช้งานตามที่ออกแบบไว้เดิมหรือต้องออกแบบส่วนผสมใหม่ในกรณีที่ผู้รับจ้างต้องการเปลี่ยนแหล่งเถ้าลอย จะต้องทำการออกแบบส่วนผสมใหม่ค่าใช้จ่ายในการนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง

แอสฟัลต์ที่นำมาใช้งาน อาจเป็นแอสฟัลต์ชนิดใด ๆ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเฉพาะงาน ผู้รับจ้างต้องระบุแหล่งผลิตแอสฟัลต์และชนิดแอสฟัลต์ที่ใช้ตลอดระยะเวลาการก่อสร้างไว้ด้วย หากผู้รับจ้างต้องการเปลี่ยนแปลงแหล่งหรือชนิดแอสฟัลต์ จะต้องทำการออกแบบส่วนผสมใหม่โดยได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงหรือหากในระหว่างการก่อสร้าง เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัสดุชั้นทางเดิมหรือแอสฟัลต์ที่ใช้ หรือเหตุอื่นที่มีผลทำให้คุณภาพของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงไปนายช่างผู้ควบคุมงานอาจจะให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ก็ได้ ค่าใช้จ่ายในการนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง

วัสดุผสมเพิ่มรวม (Blended stabilizing agents) วัสดุผสมเพิ่ม อาจนำมาใช้ร่วมกันได้โดยต้องเลือกใช้และทดสอบออกแบบส่วนผสมกับชนิดวัสดุชั้นทางเดิมที่ต้องปรับปรุงและให้มีคุณภาพตามแบบและข้อกำหนด ทั้งที่ต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงเป็นแต่ละกรณี สารผสมเพิ่ม สารผสมเพิ่มชนิดใด ๆ ที่นำมาใช้งาน ผู้รับจ้างจะต้องเสนอชนิดของสารผสมเพิ่มโดยต้องทดสอบและออกแบบส่วนผสมกับวัสดุชั้นทางเดิมที่ต้องปรับปรุง และส่วนผสมต้องมีคุณภาพตามข้อกำหนดในรูปแบบที่ผู้ออกแบบได้ระบุไว้ พร้อมเสนอเอกสาร ข้อมูล และรายละเอียดอื่น ๆ ให้ครบถ้วนต่อกรมทางหลวง เพื่อพิจารณาเห็นชอบทั้งในด้านวิศวกรรมและด้านสิ่งแวดล้อมเป็นแต่ละกรณีน้ำที่นำมาใช้งานต้องสะอาดปราศจากสารไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรียวัตถุหรือสารเคมีที่อาจกระทบต่อคุณภาพวัสดุที่ผสม โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน

อนึ่ง ในงานนิพนธ์นี้ ได้ศึกษางาน Pavement recycling ที่เป็นงาน Pavement in-place recycling ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15 เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพเท่านั้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างและการควบคุมงาน ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นขั้นตอนพอสังเขป ดังนี้

1. ขั้นตอนการออกแบบ

1.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

ก่อนจะเริ่มงานก่อสร้าง ต้องทำการเก็บตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และหินคลุกพื้นทางเดิมของถนนสายทางที่จะทำการก่อสร้างมาทดลองและออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมในการทำงาน Pavement in-place recycling เสียก่อน และก่อนที่จะออกไปเก็บตัวอย่างต้องทำการศึกษาแบบงานก่อสร้างตามสัญญา และต้องหาข้อมูลประวัติสายทางในช่วงตอนและกิโลเมตรที่จะทำการก่อสร้าง เพื่อต้องการทราบข้อมูลวัสดุและความหนาชั้นโครงสร้างชั้นทางเดิมโดยเฉพาะความหนาผิวทางเดิม เนื่องจากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 หัวข้อนิยามศัพท์เฉพาะ เกี่ยวกับสัดส่วนผสมของผิวทางเดิมแอสฟัลต์และหินคลุกพื้นทางเดิม ขึ้นอยู่กับความหนาผิวทางเดิมแอสฟัลต์เป็นหลัก ซึ่งส่งผลต่อผลการออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และน้ำ จึงจำเป็นต้องรู้ข้อมูลความหนาของผิวทางเดิมรวมถึงต้องรู้ด้วยว่าในช่วงระยะทางทั้งหมดของสัญญาก่อสร้าง มีความหนาผิวทางเดิมคงที่หรือไม่ หากมีค่าเปลี่ยนแปลง ต้องรู้ว่าค่าความหนาผิวทางเดิมเปลี่ยนแปลงที่กิโลเมตรใด มีค่าความหนาเท่าใด จะได้กำหนดจำนวนและจุดเก็บตัวอย่างวัสดุได้ถูกต้อง เพื่อจะได้นำมาทดลองและออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และน้ำได้ถูกต้องและครอบคลุม

1.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

เมื่อได้ตัวอย่างวัสดุและข้อมูลความหนาผิวทางเดิมมาแล้ว ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดลองและออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และน้ำ โดยนำตัวอย่างวัสดุไปผึ่งแดดให้แห้ง แล้วนำมาทำการแบ่งตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างวัสดุคลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง แล้วทำการคำนวณสัดส่วนผสมของผิวทางเดิมแอสฟัลต์และหินคลุกพื้นทางเดิมโดยน้ำหนักตามสัดส่วนผสมที่ได้คำนวณไว้แล้วจากสัดส่วนความหนาของผิวทางเดิมแอสฟัลต์ต่อหินคลุกพื้นทางเดิมที่ได้จากข้อมูลในขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง แล้วทำการชั่งน้ำหนักวัสดุและจัดเตรียมลงในกะละมังให้ครบถ้วนตามที่ต้องการใช้ในการทดลองต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองเพื่อออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และน้ำ

1.3 ขั้นตอนการทดลองและออกแบบส่วนผสม

ทำการทดลองต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และน้ำ โดยยึดตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง (ดูรายละเอียดในบทที่ 3) แล้วทำการคำนวณผลทดลองและออกแบบปริมาณซีเมนต์และน้ำ ตามมาตรฐานงานทาง กรมทางหลวง มาตรฐานที่ ทล.-ม. 213/ 2543 การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement recycling) โดยใช้เกณฑ์ค่ากำลังรับแรงอัดในการออกแบบปริมาณซีเมนต์ที่ 24.5 กก./ซม.^{2} หรือตามที่กำหนดในแบบ แต่ในการทำงานจริงนั้นโดยทั่วไปค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากแท่งตัวอย่างที่เตรียมจากหน้างานมักจะมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างที่เตรียมในห้องทดลองที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากัน ซึ่งอาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องจักร การควบคุมงานของผู้ควบคุมงาน และการทำงานของผู้รับจ้าง ดังนั้น ต้องชดเชยประสิทธิภาพที่หายไปจากการทำงานจริงโดยการใช้ปริมาณซีเมนต์ที่ทำให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัด 1.05-1.25 เท่าของค่าเกณฑ์ (24.5 กก./ซม.^{2}) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ที่ค่ากลาง คือ 1.15 เท่า (28.2 กก./ซม.^{2})

2. ขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างและควบคุม

2.1 ขั้นตอนตรวจความพร้อมและตั้งค่าการทำงานของเครื่องจักร

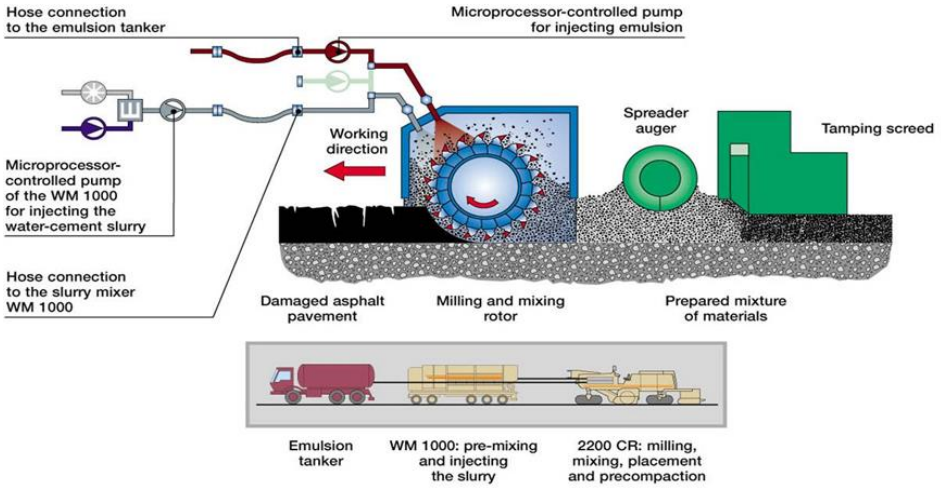
ก่อนดำเนินการก่อสร้างในแต่ละวัน ต้องทำการตรวจสอบความพร้อมในการทำงานของเครื่องจักร โดยเฉพาะรถขุดผสมและรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ โดยผู้รับจ้างจะทำการตรวจสอบความพร้อมของระบบต่าง ๆ ของเครื่องจักร ทั้งระบบเครื่องยนต์ ระบบไฟ ระบบปั๊ม และต้องมีการตั้งค่าการทำงานต่าง ๆ ให้กับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งเป็นระบบสั่งการและควบคุมให้รถขุดผสมและรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำทำงานตามที่ต้องการ เช่น ปริมาณซีเมนต์ ปริมาณน้ำ ความลึกในการขุดผสม ความกว้างของการขุดผสม ความเร็วในการเดินของรถ และความหนาแน่นของวัสดุมวลรวมผิวทางเดิมและพื้นทางเดิม เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2-3 โดยผู้ควบคุมงานต้องควบคุมและตรวจสอบอยู่เสมอ

ภาพที่ 2-3 การตั้งค่าการทำงานให้กับเครื่องจักร

2.2 ขั้นตอนการขุดไส ผสม และปูเกลี่ย

เมื่อตั้งค่าการทำงานต่าง ๆ ให้กับเครื่องจักรเรียบร้อยแล้ว และความพร้อมต่าง ๆ ทั้งเครื่องจักร การเตรียมพื้นที่ และกำลังคน พร้อมเรียบร้อย ก็เริ่มทำการก่อสร้างโดยเริ่มเดินเครื่องรถขุดผสมจะทำการขุดไสถนนตามความลึกที่ได้ตั้งค่าไว้ และจะทำการตะกุยวัสดุผิวทางเดิมและพื้นทางเดิมที่ขุดไสขึ้นมา ในขณะเดียวกันรถส่งจ่ายซีเมนต์และน้ำ จะจ่ายซีเมนต์และน้ำตามปริมาณที่ได้ตั้งค่าไว้แยกมาตามท่อและมารวมผสมกันในท่อเดียวก่อนถูกฉีดออกมาในลักษณะน้ำปูน (กรณีระบบเปียกและการผสมขึ้นอยู่กับรุ่น) เข้าผสมกับวัสดุผิวทางเดิมและพื้นทางเดิมที่ขุดไสขึ้นมา ที่ใต้ท้องรถขุดผสม เมื่อวัสดุและน้ำปูนผสมกันแล้ว จะถูกปูเกลี่ยพร้อมบดทับเบื้องต้นด้วยแรงสั่นสะเทือนไม่มากโดย Paver ที่ติดตั้งอยู่ที่ท้ายรถขุดผสม ออกมาทางท้ายรถขุดผสม เพื่อรอการบดทับโดยเครื่องจักรบดทับต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2-4 โดยที่ปริมาณซีเมนต์และน้ำจะถูกคำนวณโดยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ที่ควบคุมการทำงาน ซึ่งการคำนวณจะคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเดินของเครื่องจักร ความลึกในการขุดไส ความกว้างในการขุดไส และความหนาแน่นของวัสดุมวลรวมผิวทางเดิมและพื้นทางเดิม ที่ได้ตั้งค่าไว้ ขั้นตอนนี้

ผู้ควบคุมงานต้องคอยควบคุมและตรวจสอบงานให้ได้ตามแบบและข้อกำหนด เช่น ความลึก ความกว้าง ปริมาณซีเมนต์และน้ำที่ใช้ ความเร็วของรถ ขนาดเม็ดของวัสดุ เป็นต้น รวมถึงการเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อทำแท่งตัวอย่างตัวแทนเพื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด



ภาพที่ 2-4 ภาพจำลองการขุดไส ผสม และปูเกลี่ย (Wirtgen Co., Ltd., 2012)

2.3 ขั้นตอนการบดทับและปรับแต่งระดับ

ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยเครื่องจักรหลายชนิด ได้แก่ รถบดสั่นสะเทือน รถบดล้อยาง รถเกรด และรถน้ำ โดยกระบวนการทำงานต้องมีรูปแบบที่ถูกต้องจึงจะทำให้ได้ผลงานที่ดีมีคุณภาพ ทั้งความแน่นของการบดทับ ค่ากำลังรับแรงอัด ความเรียบของผิวหน้า ความลาดเอียงของถนน ความต่อเนื่องของรอยต่อ เป็นต้น โดยทั่วไปรูปแบบการทำงาน จะเริ่มจากรถบดสั่นสะเทือนเข้าตามบดเป็นอันดับแรกอย่างใกล้ชิดกับรถขุดผสม ตามด้วยรถบดล้อยาง 2 คัน เพื่อทำการบดนวดให้วัสดุแน่นขึ้น แล้วตามด้วยรถเกรดที่ตามมาทำการปรับแต่งระดับและผิวหน้าให้ได้ระดับความเรียบ และความลาดเอียงตามความต้องการ โดยเข้าหลังจากการบดทับก่อนปรับแต่งระดับเสร็จเรียบร้อยแล้ว และอาจจะตามด้วยรถน้ำเพื่อฉีดพ่นน้ำให้แก่พื้นทางซึ่งเริ่มแห้งและเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการบดทับเพิ่มและการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน สุดท้ายจะมีรถบดล้อยางอย่างน้อย 1 คัน คอยบดทับเพิ่มเติมหลังจากการปรับแต่งระดับอีกเป็นขั้นตอนสุดท้าย กระบวนการทั้งหมดนี้ต้องทำเสร็จภายใน 2 ชั่วโมง นับตั้งแต่วัสดุผิวทางเดิมและพื้นทางเดิมได้ผสมกับน้ำปูนและถูกปูเกลี่ยออกมาจากท้ายรถขุดผสม ดังแสดงในภาพที่ 2-5 ขั้นตอนนี้ผู้ควบคุมงานต้องควบคุมและตรวจสอบค่าระดับ ความเรียบ ความลาดเอียง และความสวยงามของรอยต่อ รวมถึงการทดสอบความแน่นของการบดทับ ให้ได้ตามแบบและข้อกำหนด

2.4 ขั้นตอนการบ่ม

เมื่อดำเนินการก่อสร้างเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การบ่ม โดยทั่วไปเราทำการบ่มโดยใช้รถน้ำฉีดพ่นน้ำในพื้นทางที่ได้ทำการบูรณะปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว โดยพยายามฉีดพ่นน้ำในช่วงกลางวันซึ่งอากาศร้อน วันละหลาย ๆ รอบเมื่อพื้นทางแห้ง โดยเฉพาะ 1-3 วันแรกหลังการบูรณะปรับปรุงควรหมั่นฉีดพ่นน้ำ เพราะช่วงนี้เป็นช่วงที่ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นมาก ต้องการใช้น้ำมากและเป็นช่วงที่พัฒนากำลังรับแรงอัดได้มาก โดยทั่วไปการบ่มโดยฉีดพ่นน้ำจะทำไปเรื่อย ๆ ทุกวัน กระทั่งทำการ Prime coat ปิดผิวหน้าไว้จึงหยุดฉีดพ่นน้ำ ทั้งนี้จำนวนวันในการบ่มจึงขึ้นอยู่กับผู้รับจ้างว่าจะทำการ Prime coat เมื่อไร โดยทั่วไปอยู่ที่ 3-7 วันหลังจากบูรณะปรับปรุงพื้นทางเรียบร้อย เมื่ออายุครบ 7 วัน ก็จะทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดจากแท่งตัวอย่างที่เตรียมไว้จากหน้างาน แล้วทำการเจาะพื้นทางเพื่อตรวจสอบความหนาและสภาพความสมบูรณ์ของแท่งแล้วทำการปูผิวทางแอสฟัลต์ต่อไปหากการตรวจสอบคุณภาพผ่านเกณฑ์

ภาพที่ 2-5 กระบวนการบดทับและปรับแต่งระดับ

3. ขั้นตอนการตรวจสอบ

3.1 การตรวจสอบทางกายภาพ

เป็นการตรวจสอบผลการทำงานทางกายภาพ ได้แก่ปริมาณงานและความเรียบร้อยต่าง ๆ เช่น ความหนาของชั้นทาง ความกว้างของชั้นทาง ความยาวของชั้นทาง ค่าระดับ ความเรียบ ความลาดเอียง และความสวยงามของรอยต่อ ให้ตรงตามแบบและปริมาณตามสัญญา และข้อกำหนด

3.2 การตรวจสอบคุณภาพ

เป็นการตรวจสอบผลการทำงานเชิงคุณภาพ ได้แก่ การตรวจสอบความหนาแน่นของการบดทับ ค่ากำลังรับแรงอัด และรวมถึงความหนาและความสมบูรณ์ของชั้นทางโดยการเจาะชั้นพื้นทาง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุดสำคัญของการใช้ปูนซีเมนต์ในการทำ Pavement recycling คือ จะมีเวลาอันจำกัดในการทำงานให้แล้วเสร็จ กล่าวคือ หลังจากผสมด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับน้ำแล้ว จะมีเวลาในการบดอัดให้สมบูรณ์ที่สุดภายใน 2 ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่ผสมให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อการบดอัดที่สมบูรณ์ ให้หลีกเลี่ยงการให้น้ำที่มากเกินความต้องการ ถึงแม้ว่าการให้น้ำในปริมาณที่ไม่เพียงพอจะทำให้การบดอัดไม่สมบูรณ์ก็ตาม แต่ในระยะยาวแล้ว วัสดุขุดผสมก็จะให้กำลังที่ต้องการได้ จากประสบการณ์พบว่าต้องใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก และเพิ่มความหนาจาก 150 มิลลิเมตร เป็น 200 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ความแข็งแรงที่พอเพียงและควรที่จะ Prime coat seal ภายหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ เพื่อบ่มให้วัสดุขุดผสมลดการสูญเสียความชื้นอีกด้วย ในบางครั้งจำเป็นต้องใช้วัสดุแทรกเข้าไป เพื่อปรับปรุงขนาดคละของวัสดุเก่าด้วย โดยเฉพาะหากพบว่า CBR ของ Subgrade มีค่าต่ำมาก ๆ และขนาดคละของวัสดุที่จะทำ Pavement recycling ไม่เหมาะสมก็ต้องเพิ่มวัสดุแทรกก่อนทำ Cement stabilization

Ramanujam (1995) บันทึกว่า อายุของผิวจราจรแบบยืดหยุ่นจะอยู่ที่ประมาณ 20 ปี ถึงมีการบำรุงรักษาและซ่อมแซม เพราะหลังจากอายุ 20 ปี ตามที่ออกแบบไว้แล้ว จะเกิดหลุมบ่อจากการผุพังและเป็นอันตรายต่อการขับขี่ การขาดแคลนเงินทุนที่จะซ่อมแซมหรือก่อสร้างใหม่ทำให้ต้องพิจารณาการทำ Pavement recycling กับถนนเดิม เพราะจะประหยัดและได้ถนนที่มีคุณภาพดีสามารถรองรับการจราจรที่มากขึ้นได้

Reeves (1995) ได้กล่าวถึงข้อได้เปรียบของการทำ Pavement recycling ว่าเป็นการเพิ่มคุณค่าของวัสดุทางเก่า ซึ่งบางครั้งคุณภาพของวัสดุทางเดิมบางพื้นที่มีอายุการใช้งานสั้น การขนย้าย

วัสดุใหม่เข้ามามีราคาสูง และยังมีข้อจำกัดทางธรณีภูมิศาสตร์ อีกทั้งการทำ Pavement recycling ยังเป็นการประหยัดพลังงาน อนุรักษ์ระบบนิเวศน์ สิ่งแวดล้อม และอนุรักษ์แหล่งวัสดุธรรมชาติอีกด้วย

Crivelli (1995) ได้บอกถึงความเหมาะสมของถนนที่จะทำ Pavement recycling ว่าต้องพิจารณาสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. งาน Pavement recycling สามารถทำได้ทั้งทางในชนบทและงานทางหลวงที่ไม่จำกัดขนาดของเครื่องมือในการทำงาน

2. งาน Pavement recycling จะเหมาะกับที่ซึ่งห่างไกลจากแหล่งวัสดุที่มีคุณภาพดี

3. ถนนที่จะทำ Pavement recycling ควรมีความลึกของชั้นวัสดุที่เหมาะสม

4. ต้องพิจารณาถึงการที่อาจต้องเพิ่ม Granular material เข้าผสมร่วมด้วย ว่าสะดวกเพียงใด

5. ถนนที่จะทำ Pavement recycling ควรมีความยาวประมาณ 5 กิโลเมตร เป็นอย่างน้อยจึงมีความประหยัดอย่างคุ้มค่า

6. ควรพิจารณาถึงความคล่องตัวของการจราจรข้างเคียงในระหว่างการปฏิบัติการ

7. ถนนที่มีรอยปะเป็นจุด ๆ ต้องพิจารณากำจัดออกเพราะสร้างปัญหาความแข็งที่ไม่สม่ำเสมอได้

สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์นั้น Ruenkrairergsa (1982) รายงานว่า ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ มีดังนี้

1. ปริมาณซีเมนต์ (Cement content) ปริมาณซีเมนต์จะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ กำลังรับแรงอัดของดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ผสม แรงยึดเหนี่ยวของอนุภาคดินที่มีขนาดหยาบจะมีกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าดินเม็ดละเอียดที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากัน

2. คุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมีของดิน (Physical and chemical properties of soil) ได้แก่ ขนาดคละ (Gradation) พื้นที่ผิว (Surface area) จำนวนจุดสัมผัส (Number of contract points) และคุณสมบัติพลาสติกของดินเม็ดละเอียด (Plasticity of fines) ดินที่มีอนุภาคขนาดคละดีจะใช้ปริมาณซีเมนต์น้อยกว่าดินที่มีขนาดคละเท่ากัน เช่นเดียวกับที่ดินเม็ดหยาบจะใช้ปริมาณซีเมนต์น้อยกว่าดินเม็ดละเอียด ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จะมีเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิว จำนวนจุดสัมผัสของดินเม็ดหยาบ ความแน่นหรือสัดส่วนขนาดคละก็มีแนวโน้มที่จะสามารถลดปริมาณซีเมนต์ ในทางกลับกันปริมาณพื้นที่ผิวและจุดสัมผัสที่เพิ่มขึ้นของดินเม็ดละเอียดจะทำให้ปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางเคมีของดินเหนียวและ Silt จะมีผลกระทบต่อกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

ดินด้วยซีเมนต์มากกว่าคุณสมบัติทางเคมีของดินเม็ดหยาบ ประจุในดินเหนียวจะมีผลกระทบมากต่อดินซีเมนต์ โดยในดินเหนียวมีประจุของ Calcium ซึ่งจะปรับปรุงคุณภาพได้ดีกว่าดินที่มีประจุของ Sodium แต่ดินเหนียวที่มีประจุ Hydrogen จะปรับปรุงคุณภาพได้ยากมาก อีกทั้งการเจือปนของสารอินทรีย์ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น กลูโคสและกรดหินปูน ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อการเพิ่มกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ด้วย

3. ปริมาณความชื้นขณะทำการบดอัด (Moisture content at time of compaction) ปริมาณซีเมนต์ที่ผสมกับดินจะหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นจริงเมื่อทำการบดอัดทันทีหลังการผสมและเสร็จก่อนเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

4. ระยะเวลาและวิธีการบ่ม (Length and method of curing) ในการหาค่าเสถียรภาพของดินซีเมนต์ในการควบคุมวัสดุงานทางจะทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุการบ่ม 7 วัน ค่ากำลังที่เกิดขึ้นหลังจากนี้ ถือว่าเป็นค่า Factor of safety บางส่วนผสมจะมีการพัฒนากำลังขึ้นถึงสามเท่าของค่ากำลังที่ 7 วัน หลังจากการเพิ่มระยะเวลาการบ่ม ความสามารถในการคาดคะเนค่ากำลังของดินซีเมนต์ยิ่งใกล้เคียงมากเท่าใดจะทำให้สามารถลดปริมาณซีเมนต์ลงได้มากเท่านั้น ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและอายุของดินซีเมนต์จะเป็นแบบ Semi-Logarithmic

5. ระยะเวลาการผสม (Prolonged mixing) จากการทดสอบในสนามและห้องทดลองพบว่า การเพิ่มเวลาในการผสมและการเพิ่มความชื้นจะทำให้ความหนาแน่นลดลง การใช้เวลาในการผสมที่นานเกินไปจะมีผลกระทบอย่างมากกับดินชนิด Silty และ Clayey soil โดยเมื่อปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมากกว่าปริมาณความชื้นที่แท้จริงจะมีผลให้ความเสถียรภาพลดลง และเมื่อปริมาณความชื้นอยู่ต่ำกว่าจุดที่เหมาะสม การผสมที่นานจะเพิ่มอัตราการระเหยและจะลดปริมาณความชื้น

6. สารผสมเพิ่ม (Additives) มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของซีเมนต์และลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ลง ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการใช้งาน

7. ปูนขาว (Lime) ปริมาณปูนขาวจะถูกใช้เพียงเล็กน้อยในดินที่มีความเป็นพลาสติกก่อนการใส่ซีเมนต์ เพื่อลดความเป็นพลาสติกของดินในการผสมดินซีเมนต์ ปูนขาวจะช่วยลดผลกระทบจากวัสดุจำพวกอินทรีย์ในปฏิกิริยา Cement hydration

8. เถ้าลอย (Fly ash) ช่วยลดการหดตัว (Shrinkage) ที่เกิดจากดินเหนียวแต่ไม่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรง (Strength)

จากผลการศึกษาของ จุฑา สุนิตย์กุล, อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช, พลเทพ เลิศวรวนิช และเศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ (2550) พบว่า การประมาณปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบ

ส่วนผสมวัสดุงานทางที่มีการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านกำลังต้านทานแรงอัดด้วยซีเมนต์ ด้วยวิธีการทางสถิติ พบว่า

1. ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีอิทธิพลต่อค่ากำลังต้านทานแรงอัดก้อนตัวอย่างไม่มาก

2. ค่า CBR สามารถใช้ในการทำนายค่ากำลังต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างได้

3. ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณซีเมนต์ ส่งผลต่อค่ากำลังต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่าง เช่น เดียวกันกับคอนกรีต

4. ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปริมาณซีเมนต์ที่ต่ำเกินไป ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ โดยในการใช้แบบจำลองทางสถิติที่นำเสนอนั้นก้อนตัวอย่างหรือวัสดุงานทางผสมซีเมนต์ จะต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ดังนี้

4.1 ค่าความหนาแน่นแห้งต้องไม่น้อยกว่า 95% ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction)

4.2 ก่อนการทดสอบ Unconfined compression จะต้องทำการแช่ก้อนตัวอย่างในน้ำเป็นอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

4.3 ค่า CBR ที่ใช้ในแบบจำลองทางสถิติจะต้องเป็นค่า CBR ที่ความหนาแน่น 95% ของค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction) และที่ค่าการยุบตัว 0.1 นิ้ว

4.4 จะต้องทำการเตรียมก่อนตัวอย่างที่ปริมาณน้ำที่ก่อให้เกิดความหนาแน่นสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction)

เจนวิทย์ จันทร์พยัพ (2557) ได้ทำการวิเคราะห์อิทธิพลของแอสฟัลต์และหินฝุ่นต่อการพัฒนากาลังอัด ซึ่งได้วิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ในงาน Pavement in-place recycling ไว้ดังนี้

1. ผิวแอสฟัลต์ที่อยู่ในผิวทางเดิมมีผลทำให้กำลังอัดลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำยาง bitumen ทำให้พันธะเชื่อมประสานระหว่างปูนซีเมนต์และตัวอย่างผิวทางเดิมลดลง ดังนั้น ผิวทางที่มีส่วนผสมของแอสฟัลต์เดิมมากจะมีกำลังอัดต่ำ

2. หินฝุ่นสามารถช่วยปรับปรุงขนาดคละของตัวอย่างผิวทางเดิมได้ ส่งผลให้ผิวทางเดิมมีการกระจายขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับมาตรฐานกรมทางหลวง ดังนั้น ที่ปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มเดียวกัน ตัวอย่างผิวทางเดิมผสมหินฝุ่นจะส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งและกำลังอัดสูงกว่าผิวทางเดิมที่ไม่ได้มีการผสมหินฝุ่นเพิ่ม เนื่องจากส่วนละเอียดของหินฝุ่นนั้นสามารถช่วยลดช่องว่างของวัสดุได้ โดยอัตราส่วนแทนที่หินฝุ่นที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 15 สำหรับทั้งอายุการบ่มที่ 7 และ 28 วัน

3. รูปแบบการพัฒนากำลังอัดของตัวอย่างหินคลุกผสมปูนซีเมนต์บดอัด หินคลุกผสมแอสฟัลต์และปูนซีเมนต์บดอัด ผิวทางเดิมผสมหินฝุ่นและปูนซีเมนต์บดอัด มีรูปแบบที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า การแทนที่ด้วยหินฝุ่นนั้นไม่มีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีมากนัก

นอกจากนี้ สุทัศน์ คุณโฑ (2556) ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเพื่อลดค่าก่อสร้างงานบูรณะทางโครงการหมุนเวียนวัสดุจากชั้นทางเดิมกลับมาใช้งานใหม่ (Pavement recycling) ในกรณีที่พื้นทางเดิมเป็นหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement modified crushed rock base) ซึ่งในผลการศึกษาได้กล่าวถึงการใช้หินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมเพิ่มไว้ ดังนี้

1. สามารถแก้ปัญหาขนาดคละที่ขาดส่วนละเอียดของวัสดุชั้นทางเดิมที่ได้จากการขุดรื้อด้วยเครื่องจักรขุดรื้อผสม โดยการใช้วัสดุหินฝุ่น (Lime stone) เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงขนาดคละของวัสดุพื้นทางเดิม ทำให้เพิ่มความแข็งแรง และความคงทน ช่วยให้การก่อสร้างบูรณะและปรับปรุงทางหลวง มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ง่ายต่อการปฏิบัติงานและการควบคุมงาน

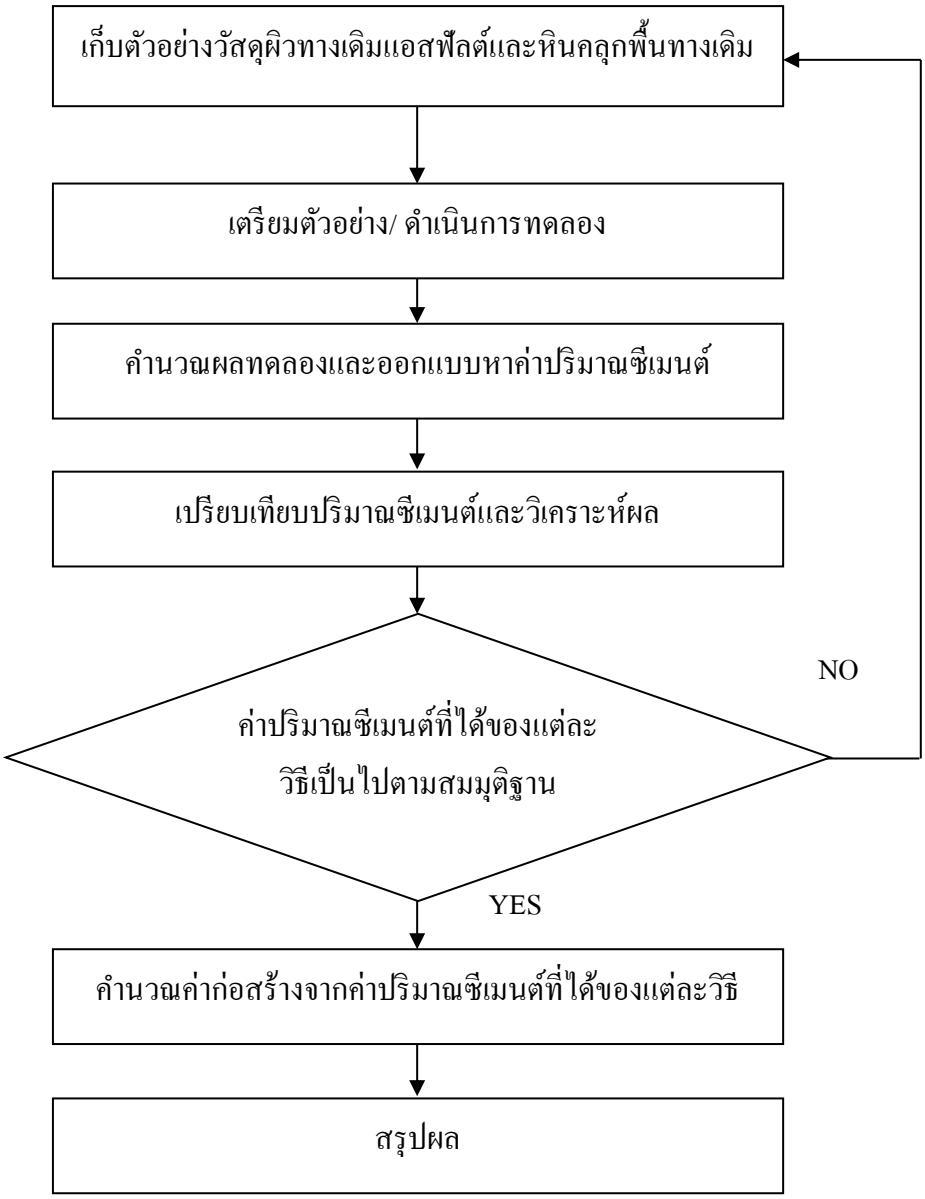
2. หินฝุ่นทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพลงได้เนื่องจากหินฝุ่นช่วยลดช่องว่างภายในอนุภาคของวัสดุมวลรวมได้ ทำให้ลดปัญหาการแตกร้าวของชั้นพื้นทางเนื่องจากการใช้ปูนซีเมนต์มากเกินไป และที่สำคัญช่วยลดภาระด้านราคาค่าก่อสร้างในการบูรณะทางหลวงลงได้ด้วย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

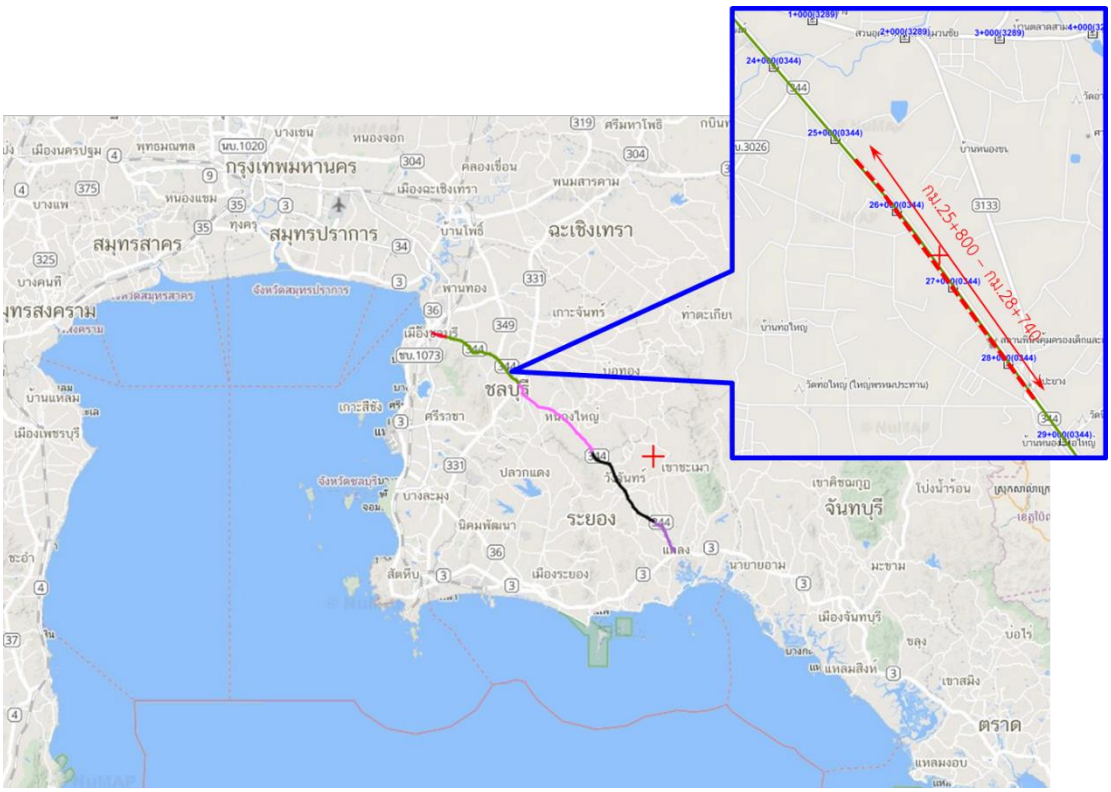
การศึกษาเรื่อง การแก้ไขปัญหาการคิดราคากลางงาน Pavement in-place recycling ให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการบำรุงรักษาทางหลวง ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในวิธีการต่าง ๆ ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีใช้เครื่อง SAW วิธีใช้กากผิว และวิธีใช้รถขุดผสม (วิธีที่เก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง) โดยได้ดำเนินการดังกล่าว ทั้งในการเปรียบเทียบด้านวิศวกรรม และการเปรียบเทียบราคากลางค่าก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling จากการคำนวณโดยใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธี ซึ่งขั้นตอนการศึกษาตามภาพที่ 3-1

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ดำเนินการโดยใช้โครงการก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344 ระหว่าง กม. 25+800 – กม.28+740 อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี ตามภาพที่ 3-2 เป็นสถานที่ศึกษา โดยโครงการก่อสร้างดังกล่าวมีรูปแบบคันทางเดิมก่อนการก่อสร้าง ตลอดจนรูปแบบคันทางในขณะที่ดำเนินการก่อสร้าง และรูปแบบคันทางที่เปลี่ยนไปหลังการก่อสร้าง ดังแสดงในภาพที่ 3-3 ก. ถึง ค. ตามลำดับ

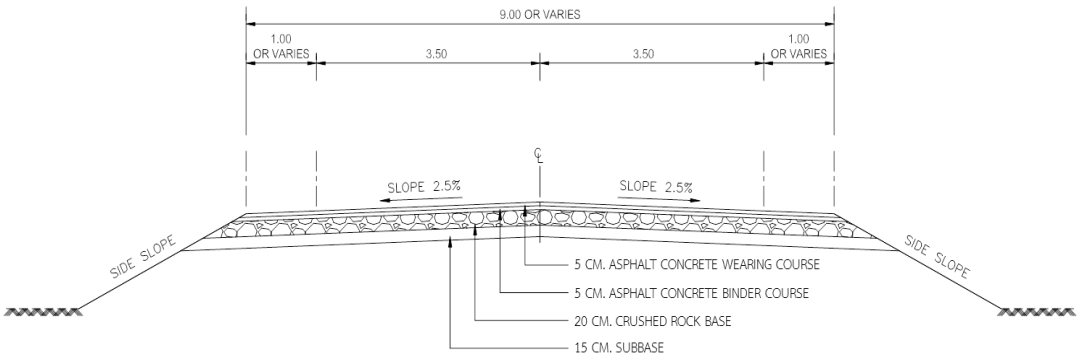
โครงการก่อสร้างนี้ ได้ดำเนินการก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling โดยการขูดไส (Cold milling) ผิวทางเดิมในชั้น Asphalt wearing course ออก 5 ซม. และดำเนินการปรับปรุงคุณภาพงานชั้นพื้นทางเดิมและผิวทางเดิม โดยวิธี Pavement in-place recycling ที่ความลึก 20 ซม. (สัดส่วนผสมระหว่างผิวทางเดิมแอสฟัลต์และพื้นทางเดิมหินคลุกเท่ากับ 1 : 3 โดยน้ำหนัก) ให้เป็นพื้นทางใหม่ก่อนทำการปูทับด้วยผิวทางใหม่ด้วยชั้น Asphalt binder course และชั้น Asphalt wearing course ชั้นละ 5 ซม. ตามลำดับ



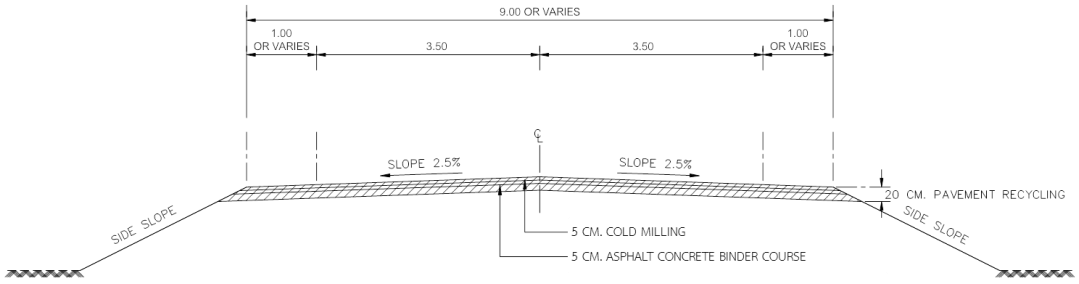
ภาพที่ 3-1 ผังขั้นตอนการดำเนินการศึกษาเรื่องการเก็บตัวอย่างวัสดุ



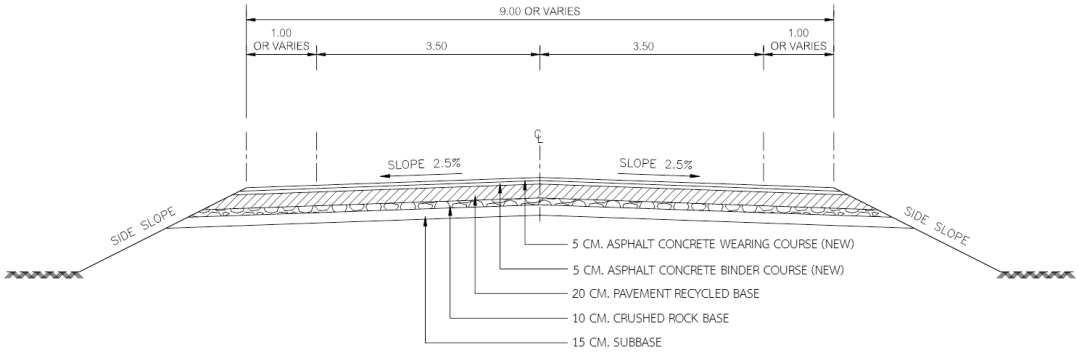
ภาพที่ 3-2 ที่ตั้งโครงการก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling บนทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 344 ระหว่าง กม. 25+800 – กม.28+740



ก. รูปแบบคันทางเดิมก่อนการก่อสร้าง



ข. รูปแบบคันทางในขณะที่ดำเนินการก่อสร้าง



ค. รูปแบบคันทางภายหลังการก่อสร้าง

ภาพที่ 3-3 รูปแบบการก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling

วิธีดำเนินการศึกษาหาค่าปริมาณซีเมนต์

1. การเก็บตัวอย่างวัสดุ

ศึกษาเปรียบเทียบผลการออกแบบหาปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุทั้ง 3 วิธี โดยแผนและรูปภาพการเก็บตัวอย่างวัสดุแต่ละวิธีนั้น ได้แสดงในตารางที่ 3-1 และภาพที่ 3-4 ถึง 3-6

ตารางที่ 3-1 การเก็บตัวอย่างวัสดุ

วิธีการเก็บตัวอย่าง	วิธีการที่ใช้เก็บตัวอย่าง		ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง
	ผิวทางเดิมแอสฟัลต์	หินคลุกพื้นทางเดิม	
วิธีใช้เครื่อง SAW	ใช้เครื่องตัดผิวทางเดิมออก ได้ผิวทางเดิมเป็นแผ่น	ขุดเอาหินคลุกพื้นทางเดิมในหลุมที่เปิดออกหลังจากเก็บตัวอย่างผิวทางเดิมแล้ว	ก่อนเริ่มการก่อสร้างโดยเผื่อเวลาการทดลองและออกแบบ ให้แล้วเสร็จก่อนเริ่มการก่อสร้าง
วิธีใช้กากผิว	ได้จากการขูดไสผิวทางแอสฟัลต์เดิม 5 ซม. โดยรถขุดผสม	ใช้รถแบ็คโฮเปิดผิวทางออกแล้วเก็บตัวอย่างหินคลุก	ระหว่างการก่อสร้าง
วิธีใช้รถขุดผสม	ได้จากรถขุดผสม		ระหว่างการก่อสร้าง

ภาพที่ 3-4 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธี SAW

ภาพที่ 3-5 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีใช้กากผิว

ภาพที่ 3-6 การเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีใช้รถขุดผสม

2. การเตรียมตัวอย่าง

2.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างวัสดุที่เก็บโดยวิธีใช้เครื่อง SAW

2.1.1 นำตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมที่เก็บตัวอย่างมาแยกเทลงถาด ดังแสดงในภาพที่ 3-7

2.1.2 นำตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมไปตากแดดให้แห้ง แล้วรอทำการแบ่งตัวอย่างเพื่อทดลอง

2.1.3 สำหรับตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์ ต้องผ่านกระบวนการย่อยก่อน โดยใช้ค้อนปอนด์ทุบแผ่นผิวทางให้แตกออกเป็นก้อนเล็ก ๆ ให้หมดแผ่น นำวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์ที่ย่อยแล้ว แบ่งใส่กะละมัง แล้วนำไปอบในตู้อบประมาณ 1 คืน เมื่อครบเวลาอบให้นำวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์ออกมาจากตู้อบแล้วนำไปเทลงถาด ใช้ค้อนยางค่อย ๆ ทุบวัสดุผิวทางให้ทั่วอีกครั้งหนึ่ง แล้วรอทำการแบ่งตัวอย่างเพื่อทดลอง

2.1.4 ทำการแบ่งตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง

2.1.5 เมื่อผ่านการแบ่งตัวอย่างเพื่อทำให้วัสดุคลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอทั้งหมดแล้ว ให้ทำการจัดเตรียมชั่งตัวอย่างที่ต้องใช้เพื่อทำการทดลองต่าง ๆ ใส่กะละมัง เพื่อรอทำการทดลองต่อไป โดยใช้สัดส่วนผสมวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์ต่อวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมด้วยสัดส่วน 1 : 3 โดยน้ำหนัก

2.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างวัสดุที่เก็บโดยวิธีใช้กากผิว

2.2.1 นำตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมที่เก็บตัวอย่างมาแยกเทลงถาด ดังแสดงในภาพที่ 3-8

2.2.2 นำตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมไปตากแดดให้แห้ง แล้วรอทำการแบ่งตัวอย่างเพื่อทดลอง

2.2.3 ทำการแบ่งตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง

2.2.4 เมื่อผ่านการแบ่งตัวอย่างเพื่อทำให้วัสดุคลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอทั้งหมดแล้ว ให้ทำการจัดเตรียมชั่งตัวอย่างที่ต้องใช้เพื่อทำการทดลองต่าง ๆ ใส่กะละมัง เพื่อรอทำการทดลองต่อไป โดยใช้สัดส่วนผสมวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์ต่อวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมด้วยสัดส่วน 1: 3 โดยน้ำหนัก

2.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตัวอย่างวัสดุที่เก็บโดยวิธีใช้เครื่องขุดผสม

2.3.1 นำตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมที่เก็บตัวอย่างมาได้ ซึ่งผสมกันแล้วเทลงถาด

2.3.2 นำตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมซึ่งผสมกันแล้วที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง แล้วรอทำการแบ่งตัวอย่างเพื่อทดลอง

2.3.3 ทำการแบ่งตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมแอสฟัลต์และตัวอย่างวัสดุหินคลุกพื้นทางเดิมซึ่งผสมกันแล้ว โดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง

2.3.4 เมื่อผ่านการแบ่งตัวอย่างเพื่อทำให้วัสดุคลุกเคล้ากันอย่างสม่ำเสมอทั้งหมดแล้ว ให้ทำการจัดเตรียมชั่งตัวอย่างที่ต้องใช้เพื่อทำการทดลองต่าง ๆ ใส่กะละมัง เพื่อรอทำการทดลองต่อไป

ภาพที่ 3-7 การย่อยแผ่นผิวทางเดิมแอสฟัลต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยวิธี SAW

ภาพที่ 3-8 การเตรียมตัวอย่างเพื่อเตรียมดำเนินการทดลอง

3. ขั้นตอนการทดลอง

เมื่อทำการเตรียมตัวอย่างวัสดุที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธีเรียบร้อยแล้ว ก็จะถึงขั้นตอนทำการทดลองเพื่อทำการออกแบบหาปริมาณซีเมนต์และปริมาณน้ำ ที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งการทดลองต่าง ๆ ยึดตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง (ดูภาคผนวก) โดยมีขั้นตอนการทดลองหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ทดลองหาขนาดเม็ดและขนาดคละของวัสดุมวลรวม โดยทำตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล.-ท. 205/ 2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ดังแสดงในภาพที่ 3-9 และ 3-10

3.2 หาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุส่วนหยาบและส่วนละเอียด โดยทำตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล.-ท. 207/2517 วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ และการทดลองที่ ทล.-ท. 209/ 2518 วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด

3.3 ทดลองหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุมวลรวม โดยทำตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล.-ท. 108/ 2517 วิธีการทดลอง Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 3-11

3.4 ทำแท่งตัวอย่างเพื่อทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ดังแสดงในภาพที่ 3-12 โดยแท่งตัวอย่างจะถูกบดอัดในแบบตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง ดังแสดงในภาพที่ 3-13 การทดลองที่ ทล.-ท. 108/ 2517 วิธีการทดลอง Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งจะทำการผสมซีเมนต์เข้าไปด้วยที่ปริมาณซีเมนต์ที่แตกต่างกัน เมื่อได้แท่งตัวอย่างแล้วให้ทำการบ่มโดยใส่ในถุงพลาสติก (ผูกปากถุง) เพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ให้นำแท่งตัวอย่างไปกดหาค่ากำลังรับแรงอัด โดยอนุโลมให้ทำตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล.-ท. 105/ 2515 วิธีการทดลองหาค่า Unconfined compressive strength ของดิน โดยที่ก่อนทำการกดหาค่ากำลังรับแรงอัดให้ตัดปากถุงแท่งตัวอย่างออกแล้วนำแท่งตัวอย่างไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง

ภาพที่ 3-9 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุส่วนค้างตะแกรง # 4

ภาพที่ 3-10 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุส่วนผ่านตะแกรง # 4

ภาพที่ 3-11 การทดลองหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสม

ภาพที่ 3-12 การทำแท่งตัวอย่าง Unconfined

ภาพที่ 3-13 การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด Unconfined compressive strength ของแท่งตัวอย่าง

4. คำนวณผลทดลองและออกแบบหาค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ทำงาน

4.1 นำผลทดลองที่ได้จากการทดลองต่าง ๆ จากข้อ 3.1.3 ไปคำนวณและทำผลทดลอง

4.2 ออกแบบหาค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ทำงานตามมาตรฐานงานทางกรมทางหลวง มาตรฐานที่ ทล.-ม. 213/ 2543 การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement recycling) โดยใช้เกณฑ์ค่ากำลังรับแรงอัดในการออกแบบปริมาณซีเมนต์ที่ 24.5 กก./ซม.^{2} หรือตามที่กำหนดในแบบ และคิดส่วนชดเชยประสิทธิภาพการทำงานที่ 1.15 เท่า หรือที่ 28.2 กก./ซม.^{2}

5. เปรียบเทียบปริมาณซีเมนต์และวิเคราะห์ผล

5.1 เปรียบเทียบปริมาณซีเมนต์ออกแบบจากแต่ละวิธีการเก็บตัวอย่าง

5.2 วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่ได้ ของวิธีการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธี

การเปรียบเทียบราคากลางค่าก่อสร้าง

1. เงื่อนไขการคำนวณราคากลาง

ในการคำนวณค่าก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling นั้น ค่าปริมาณซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อราคาค่าก่อสร้าง โดยในการดำเนินการต้องพิจารณาตามหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลาง งานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม ของกรมบัญชีกลาง ปี 2555 โดยในการศึกษานี้กำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาหาราคาค่าก่อสร้างในการดำเนินงานเพื่อเปรียบเทียบดังนี้

1.1 ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงโซล่า ณ ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

1.2 ราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ณ ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

1.3 ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง โดยใช้คู่มือ แนวทาง วิธีปฏิบัติ และรายละเอียดประกอบการคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ของกรมบัญชีกลาง ปี 2555 ซึ่งกำหนดวิธีการคำนวณรายการงาน ดังนี้

งานปรับปรุงพื้นทางเดิม Pavement in-place recycling

ค่าวัสดุที่ใช้ (ปูนซีเมนต์ ประเภท 1) = ค่าวัสดุที่แหล่ง + ค่าขนส่ง

ปริมาณปูนซีเมนต์ = ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ x ความลึก x หน่วยน้ำหนักหิน

ค่าดำเนินการการขุดผสมที่ความหนา 20 ซม.

ค่างานต้นทุน = ค่าดำเนินการ + (ปริมาณปูนซีเมนต์ x ค่าวัสดุที่ใช้)

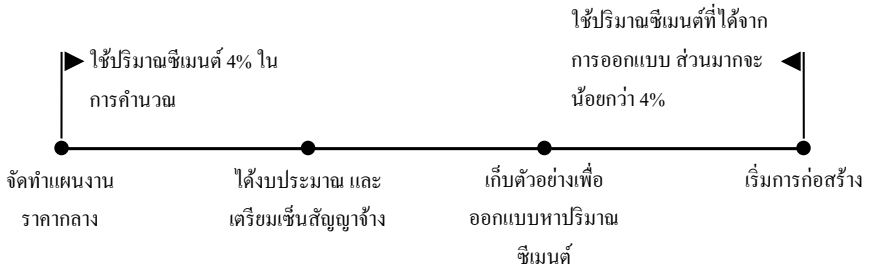
2. คำนวณเปรียบเทียบราคากลางจากค่าปริมาณซีเมนต์จากการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธี

2.1 นำค่าปริมาณซีเมนต์จากการคำนวณผลทดลองและออกแบบค่าซีเมนต์ที่ใช้ทำงาน ไปคำนวณหาราคากลางค่าก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling ตามเงื่อนไขการคำนวณราคากลาง

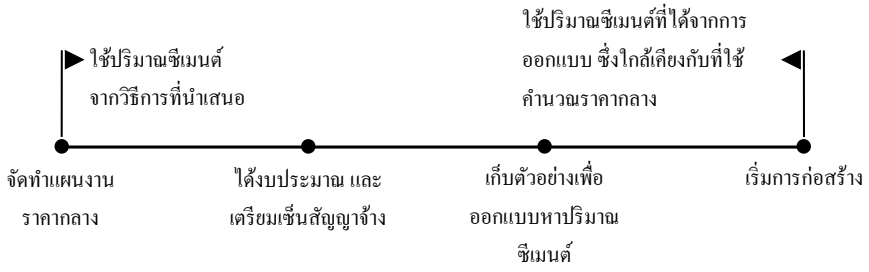
2.2 เปรียบเทียบค่าก่อสร้างที่ได้จากการใช้ค่าปริมาณซีเมนต์จากการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธี

ขั้นตอนการดำเนินการทำงานตั้งแต่การจัดทำแผนงานคิดราคากลางเพื่อของบประมาณกระทั่งได้รับงบประมาณเพื่อนำมาก่อสร้างหรือบำรุงรักษาทางหลวงโดยวิธีการบูรณะปรับปรุงถนนเดิมแบบผสมในที่ (Pavement in-place recycling) นั้น สามารถแสดงได้จากขั้นตอนการดำเนินการ (Work items) โดยการใช้แผนผังเส้นเวลา (Time line chart) ดังในภาพที่ 3-14

ในขั้นตอนการคิดราคากลางไปจนถึงการก่อสร้างในแบบเดิมนั้น มีความเป็นไปได้สูงที่ค่าปริมาณซีเมนต์ในการคิดราคากลางนั้นจะสูงกว่าความเป็นจริงในการก่อสร้าง (หลังจากการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาออกแบบค่าปริมาณซีเมนต์) ทำให้ราคากลางที่ใช้ของบประมาณนั้นสูงกว่าความเป็นจริง เป็นเหตุให้รัฐเกิดความเสียหายได้



ขั้นตอนการคิดราคากลางไปจนถึงการก่อสร้าง แบบเดิม



ขั้นตอนการคิดราคากลางไปจนถึงการก่อสร้าง เมื่อได้รับการแก้ไขปัญหา

ภาพที่ 3-14 แผนผังขั้นตอนการคิดราคากลางไปจนถึงการก่อสร้าง

จากแผนภาพกล่าวได้ว่า เดิมทีค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้คิดราคากลางใช้ที่ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก แต่ในภายหลังเมื่อแผนงานที่เสนอของบประมาณนั้นได้รับงบประมาณและเริ่มการก่อสร้าง ค่าซีเมนต์ที่ใช้จริงจะได้จากการการเก็บตัวอย่างจากเครื่องจักรที่ทำงานจริงและส่วนใหญ่ได้ค่าที่น้อยกว่าค่าที่ใช้คิดราคากลาง (4%) ทำให้รัฐเสียหาย

แต่เมื่อใช้วิธีเก็บตัวอย่างตามที่ผู้ศึกษาได้เสนอในงานนิพนธ์นี้ ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการคิดราคากลางจะใกล้เคียงกับที่ใช้จริงในตอนก่อสร้างและสามารถดำเนินการหาค่าปริมาณซีเมนต์นี้ได้ในขั้นตอนการคิดราคากลาง เนื่องจากวิธีที่ผู้ศึกษานำเสนอนั้น เป็นวิธีที่ใช้ตัวอย่างวัสดุที่เป็นตัวแทนที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริง โดยไม่ต้องรอให้ถึงขั้นตอนดำเนินการตอนก่อสร้างนั่นเอง

บทที่ 4
ผลการศึกษา

จากผลการศึกษาปัญหาการคิดราคากลางงาน Pavement in-place recycling ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในวิธีการต่าง ๆ ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ วิธีใช้เครื่อง SAW วิธีใช้กากผิว และวิธีใช้รถขุดผสม ดังที่กล่าวในบทที่ 3 นั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344 ระหว่าง กม. 25+800 – กม.28+740 อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี เป็นสถานที่ศึกษา โดยได้ดำเนินการทั้งในการเปรียบเทียบด้านวิศวกรรม และการเปรียบเทียบราคากลางค่าก่อสร้างงาน Pavement in-place recycling ซึ่งจากการคำนวณโดยใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ออกแบบที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธี ผลการศึกษาที่ได้ มีดังต่อไปนี้

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาส่วนผสมปริมาณซีเมนต์งาน Pavement In-Place Recycling ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้สัดส่วนผสม ผิวทางเดิมต่อพื้นทางเดิม 1 : 3 โดยน้ำหนัก โดยได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุผิวทางเดิมและพื้นทางเดิมจากการเก็บตัวอย่างจำนวน 3 วิธี ซึ่งแต่ละวิธีนั้นได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างวิธีการละ 5 ตัวอย่าง ผลที่ได้สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ขนาดคละ (Gradation)

ผลการศึกษาของตัวอย่างการวัสดุทั้ง 5 ตัวอย่าง ในแต่ละวิธีการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 วิธี ได้แสดงอยู่ในรูปแบบของกราฟ Semi log ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงในการแสดงขนาดของเม็ดวัสดุ

ค่าการกระจายตัวของขนาดเม็ดวัสดุในแต่ละวิธีการเก็บตัวอย่าง ได้แสดงดังในตารางที่ 4-1 ถึง 4-3 และภาพที่ 4-1 ถึง 4-3 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของทั้ง 5 ตัวอย่าง วัสดุในการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธีได้แสดงในภาพที่ 4-4 ซึ่งขนาดคละของแต่ละตัวอย่างนั้น จัดอยู่ในประเภทหินคลุก Grade “B” เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 4-1 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW

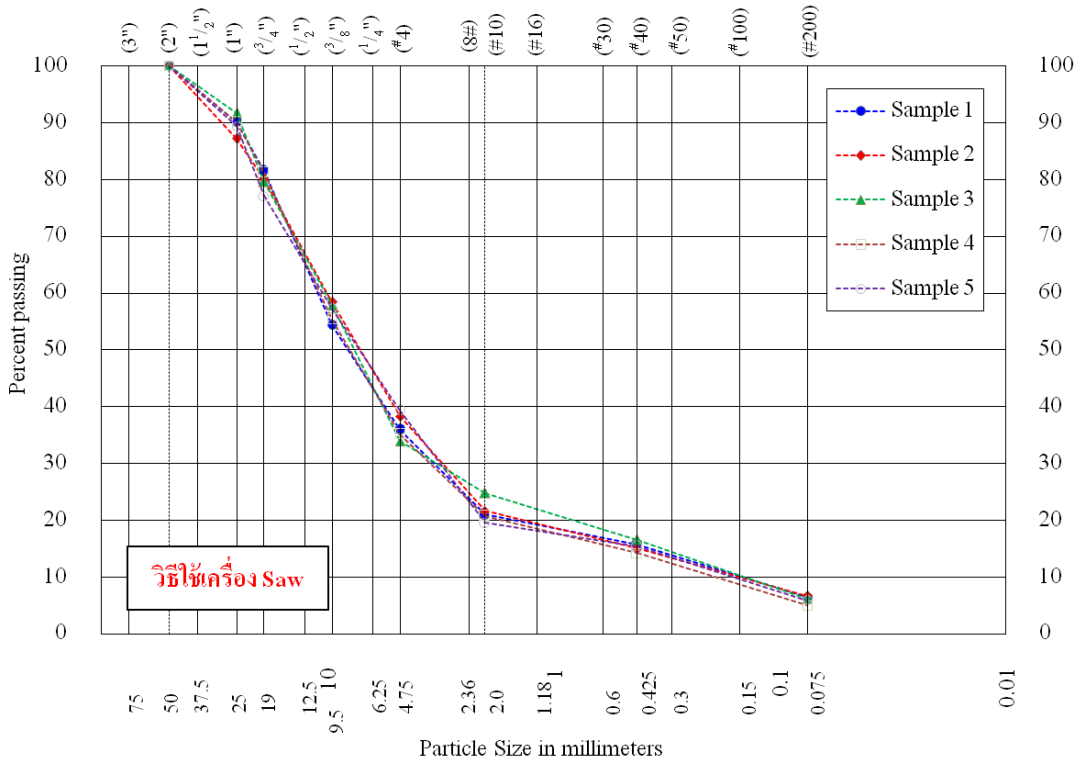
	Sieve Analysis (% Passing)							
Sample	50 mm	25 mm	19 mm	9.5 mm	# 4	# 10	# 40	# 200
1	100	90.1	81.5	54.4	35.9	21.0	15.7	6.4
2	100	87.2	80.1	58.4	38.3	21.6	15.0	6.7
3	100	91.7	79.6	57.8	33.9	24.8	16.5	6.2
4	100	90.1	81.2	55.3	35.1	20.7	14.2	5.0
5	100	89.4	77.1	57.3	39.3	19.5	15.4	5.9
AVG.	100	89.7	79.9	56.6	36.5	21.5	15.4	6.0

ตารางที่ 4-2 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว

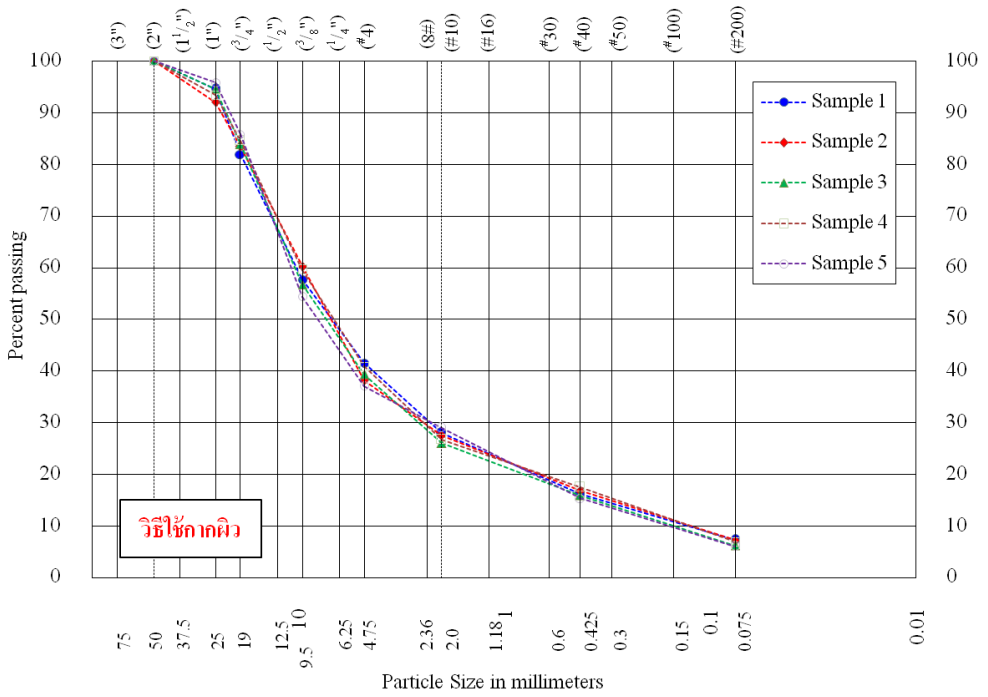
	Sieve Analysis (% Passing)							
Sample	50 mm	25 mm	19 mm	9.5 mm	# 4	# 10	# 40	# 200
1	100	94.6	81.9	57.7	41.5	28.0	16.2	7.3
2	100	92.0	83.5	60.3	38.2	27.5	16.8	7.2
3	100	94.6	83.9	56.7	39.3	26.0	15.9	6.2
4	100	93.4	84.6	59.5	40.9	26.7	17.5	6.9
5	100	95.8	85.8	54.4	37.1	29.0	15.3	6.0
AVG.	100	94.1	83.9	57.7	39.4	27.4	16.3	6.7

ตารางที่ 4-3 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผิว

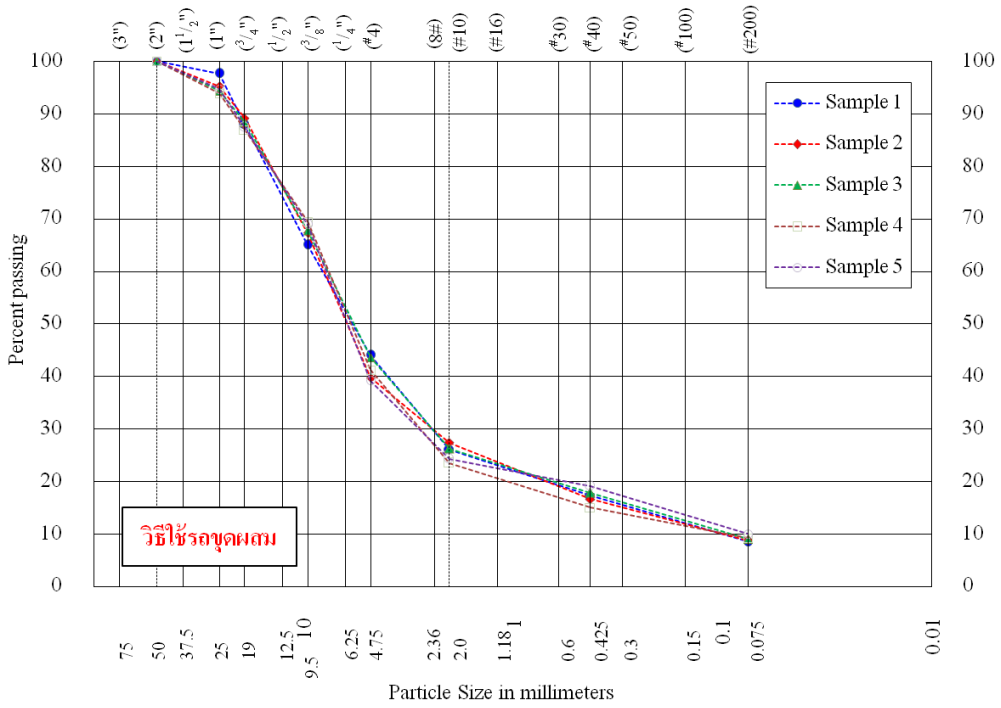
Sample	Sieve Analysis (% Passing)							
	50 mm	25 mm	19 mm	9.5 mm	# 4	# 10	# 40	# 200
1	100	97.7	88.0	65.0	44.0	26.1	17.3	8.5
2	100	95.3	89.2	67.3	39.7	27.4	16.6	8.8
3	100	94.4	88.4	67.8	43.6	26.2	17.8	9.0
4	100	93.9	86.9	69.5	41.2	23.5	15.0	9.2
5	100	94.7	87.5	68.9	39.2	24.3	19.1	10.0
AVG.	100	95.2	88.0	67.7	41.5	25.5	17.2	9.1



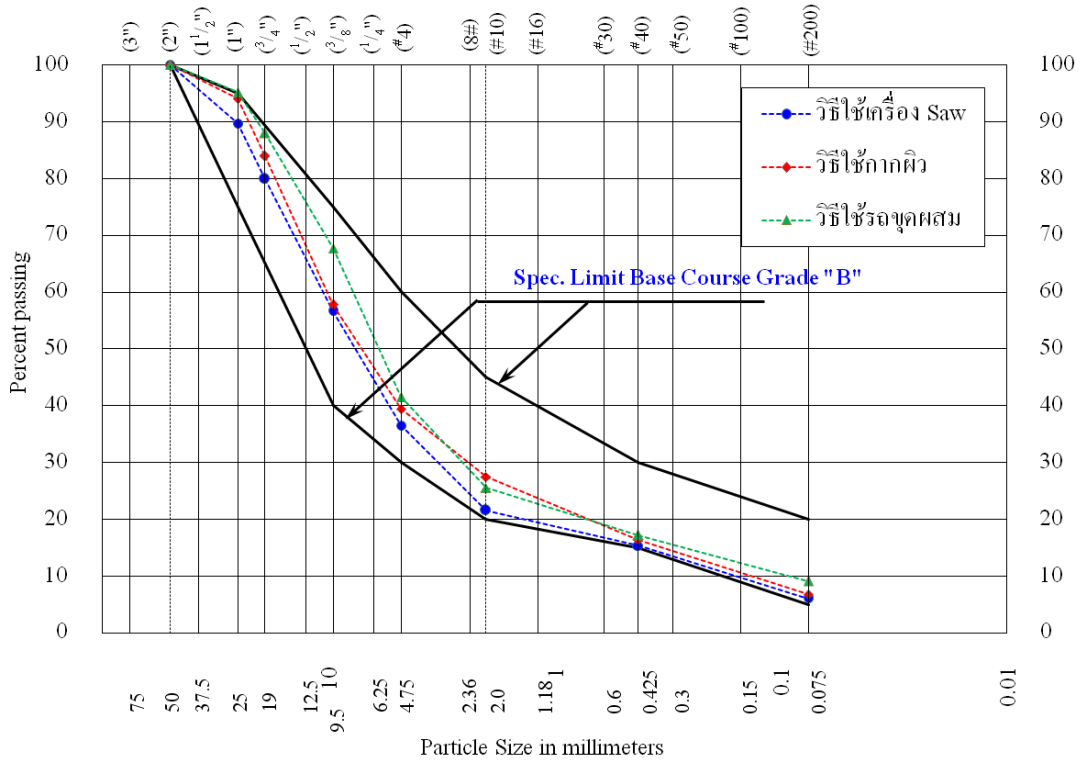
ภาพที่ 4-1 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW



ภาพที่ 4-2 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว



ภาพที่ 4-3 ขนาดคละของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม



ภาพที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยของขนาดคละที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละวิธี

2. ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture content: OMC)

ได้จากการทดลองหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสม ตามมาตรฐานวิธีการทดลองของกรมทางหลวง การทดลองที่ ทล.-ท.108/ 2517 วิธีการทดลอง Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ซึ่งผลทดลองของตัวอย่างการทดลองในแต่ละวิธี ได้แสดงในตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 และภาพที่ 4-5 ถึง 4-7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW

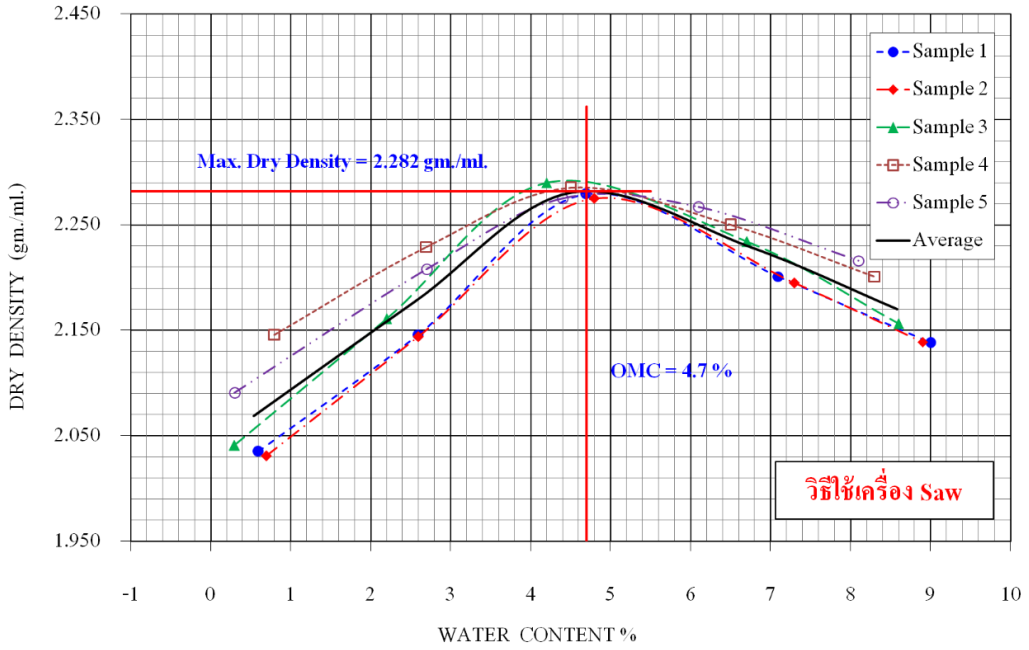
Trial (Water Added, %)			0	2	4	6	8
Sample	1	Dry Density (gm./ml.)	2.035	2.146	2.279	2.201	2.138
		Water Content (%)	0.6	2.6	4.7	7.1	9.0
	2	Dry Density (gm./ml.)	2.031	2.144	2.275	2.195	2.139
		Water Content (%)	0.7	2.6	4.8	7.3	8.9
	3	Dry Density (gm./ml.)	2.041	2.161	2.290	2.234	2.156
		Water Content (%)	0.3	2.2	4.2	6.7	8.6
	4	Dry Density (gm./ml.)	2.146	2.229	2.285	2.250	2.201
		Water Content (%)	0.8	2.7	4.5	6.5	8.3
	5	Dry Density (gm./ml.)	2.091	2.208	2.275	2.267	2.216
		Water Content (%)	0.3	2.7	4.4	6.1	8.1
Average		Dry Density (gm./ml.)	2.069	2.178	2.281	2.229	2.170
		Water Content (%)	0.5	2.6	4.5	6.7	8.6

ตารางที่ 4-5 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว

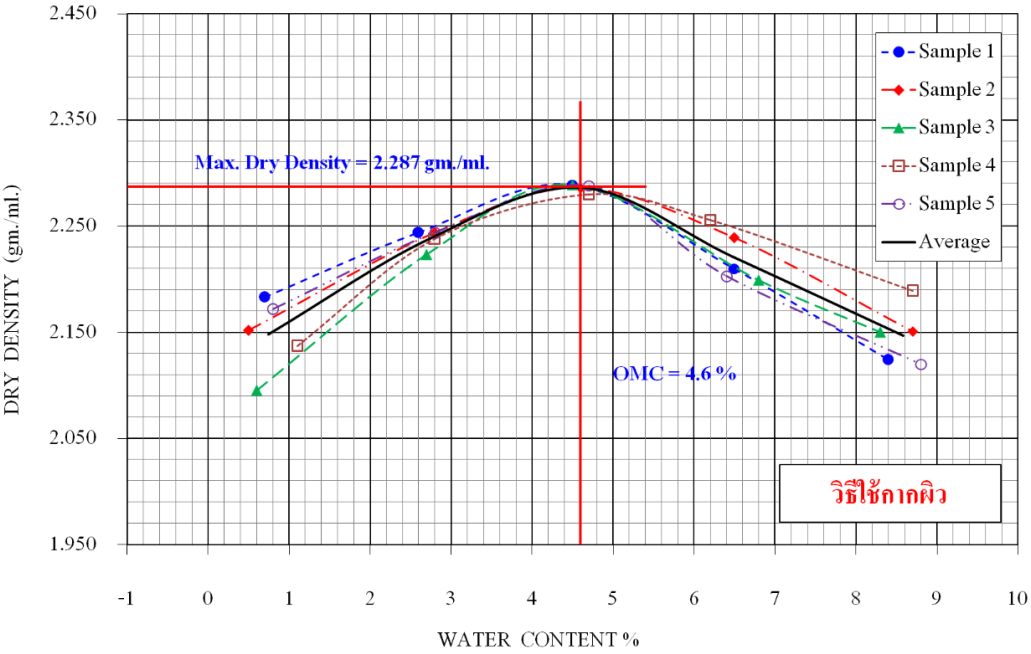
Trial (Water Added, %)			0	2	4	6	8
Sample	1	Dry Density (gm./ml.)	2.183	2.244	2.289	2.210	2.124
		Water Content (%)	0.7	2.6	4.5	6.5	8.4
	2	Dry Density (gm./ml.)	2.152	2.244	2.286	2.239	2.151
		Water Content (%)	0.5	2.8	4.6	6.5	8.7
	3	Dry Density (gm./ml.)	2.095	2.223	2.289	2.199	2.150
		Water Content (%)	0.6	2.7	4.5	6.8	8.3
	4	Dry Density (gm./ml.)	2.137	2.238	2.280	2.256	2.189
		Water Content (%)	1.1	2.8	4.7	6.2	8.7
	5	Dry Density (gm./ml.)	2.172	2.244	2.288	2.203	2.120
		Water Content (%)	0.8	2.8	4.7	6.4	8.8
Average		Dry Density (gm./ml.)	2.148	2.239	2.286	2.221	2.147
		Water Content (%)	0.7	2.7	4.6	6.5	8.6

ตารางที่ 4-6 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม

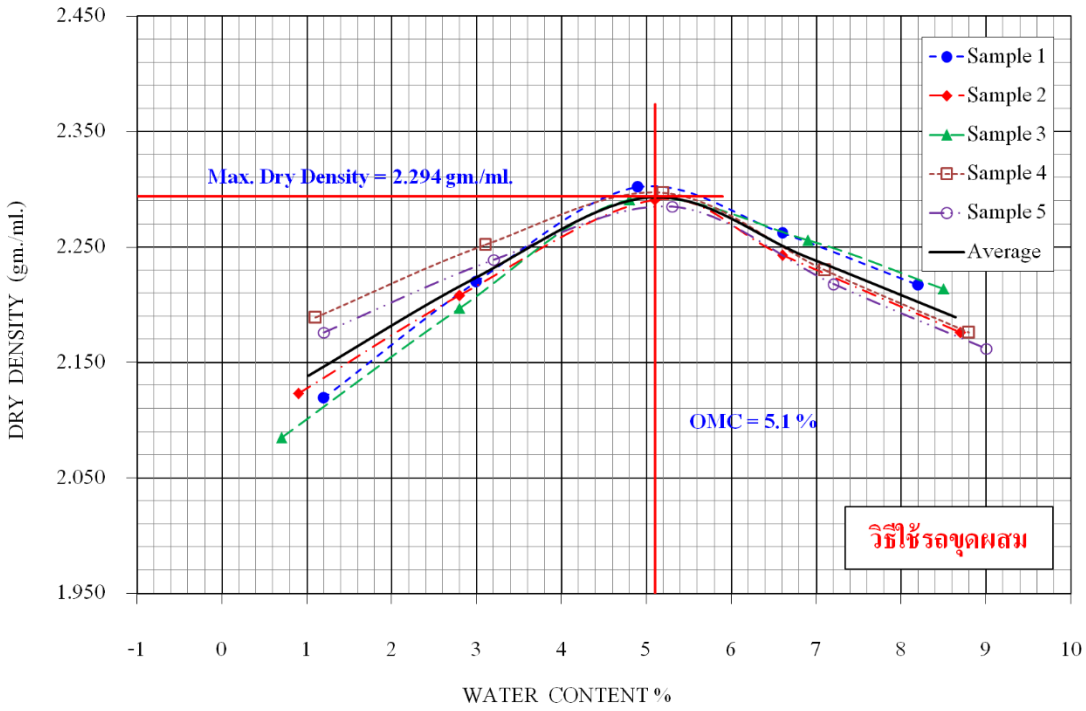
Trial (Water Added, %)			0	2	4	6	8
Sample	1	Dry Density (gm./ml.)	2.119	2.220	2.302	2.262	2.217
		Water Content (%)	1.2	3.0	4.9	6.6	8.2
	2	Dry Density (gm./ml.)	2.123	2.208	2.291	2.243	2.176
		Water Content (%)	0.9	2.8	5.1	6.6	8.7
	3	Dry Density (gm./ml.)	2.085	2.197	2.291	2.256	2.214
		Water Content (%)	0.7	2.8	4.8	6.9	8.5
	4	Dry Density (gm./ml.)	2.189	2.252	2.297	2.230	2.176
		Water Content (%)	1.1	3.1	5.2	7.1	8.8
	5	Dry Density (gm./ml.)	2.176	2.239	2.285	2.218	2.162
		Water Content (%)	1.2	3.2	5.3	7.2	9.0
Average		Dry Density (gm./ml.)	2.138	2.223	2.293	2.242	2.189
		Water Content (%)	1.0	3.0	5.1	6.9	8.6



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีกากผิว



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม

3. ค่าปริมาณซีเมนต์

ได้ดำเนินการตามมาตรฐานงานทางกรมทางหลวง มาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 213/ 2543 การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement recycling) โดยการทำแท่งตัวอย่างด้วยการผสมซีเมนต์เข้าไปด้วยที่ปริมาณซีเมนต์ที่แตกต่างกัน และทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดด้วยวิธี Unconfined compressive strength: UCS ดังที่กล่าวในขั้นตอนการทดลอง โดยใช้เกณฑ์ค่ากำลังรับแรงอัดในการออกแบบปริมาณซีเมนต์ที่ 24.5 กก./ซม.^{2} หรือตามที่กำหนดในแบบ

สำหรับกรมทางหลวง ได้กำหนดให้ใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการทำงานจริงที่ 115% ของค่ากำลังรับแรงอัดที่กำหนด เพื่อชดเชยให้กับประสิทธิภาพการทำงานของผู้รับจ้างในพื้นที่ทำงานจริงซึ่งอาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกับประสิทธิภาพของการใช้ปริมาณซีเมนต์จากการออกแบบได้ ดังนั้น ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ จะกล่าวถึงปริมาณซีเมนต์ที่จุด 115% ของค่ากำลังรับแรงอัดที่กำหนด ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองในแต่ละวิธีการเก็บตัวอย่าง ได้แสดงในตารางที่ 4-7 ถึง 4-9 และภาพที่ 4-8 ถึง 4-10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-7 ค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW

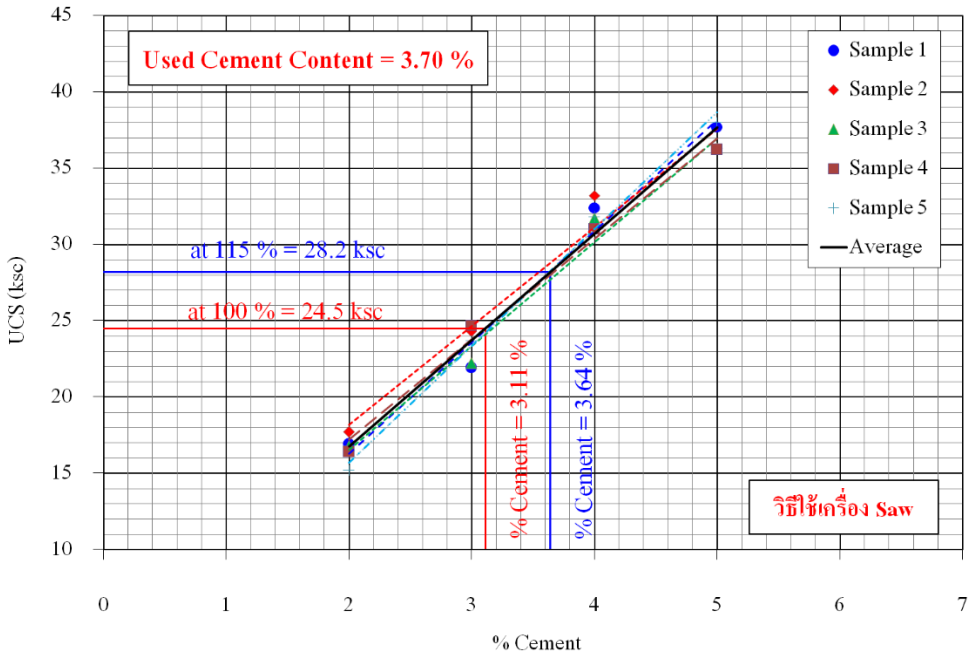
Trial Cement (%)		2.0	3.0	4.0	5.0
Unconfined Compressive Strength of the sample: UCS (ksc)	1	16.9	21.9	32.4	37.7
	2	17.7	24.3	33.2	36.3
	3	16.8	22.2	31.7	36.3
	4	16.4	24.7	31.0	36.2
	5	15.2	23.7	31.8	38.0
Average		16.6	23.4	32.0	36.9

ตารางที่ 4-8 ค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว

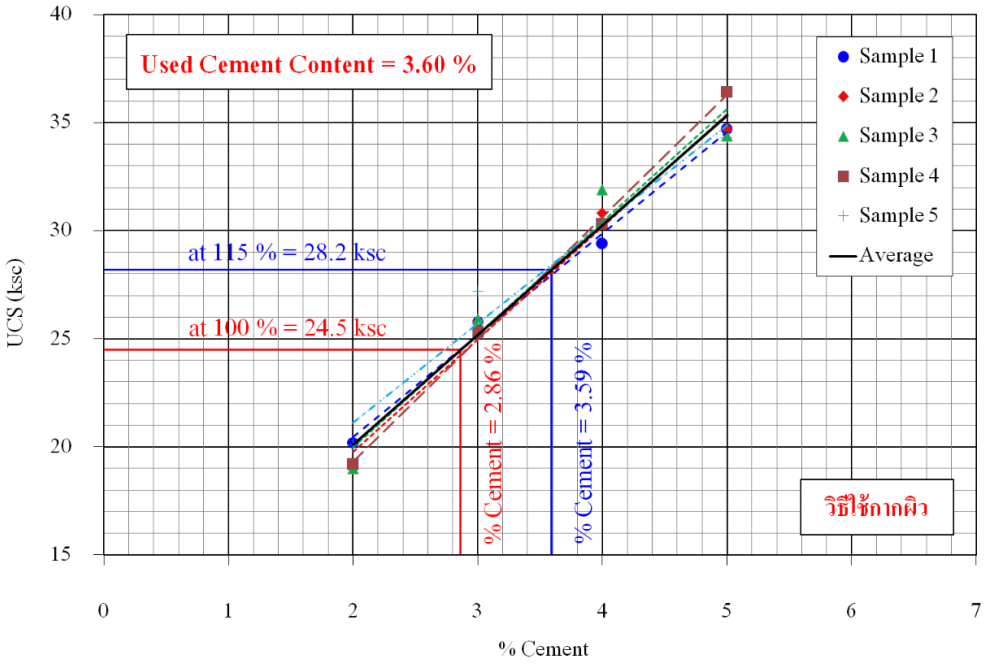
Trial Cement (%)		2.0	3.0	4.0	5.0
Unconfined Compressive Strength of the sample: UCS (ksc)	1	20.2	25.8	29.4	34.7
	2	19.0	25.8	30.8	34.7
	3	19.0	25.9	31.9	34.4
	4	19.2	25.3	30.3	36.4
	5	20.1	27.2	30.4	34.3
Average		19.5	26.0	30.6	34.9

ตารางที่ 4-9 ค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม

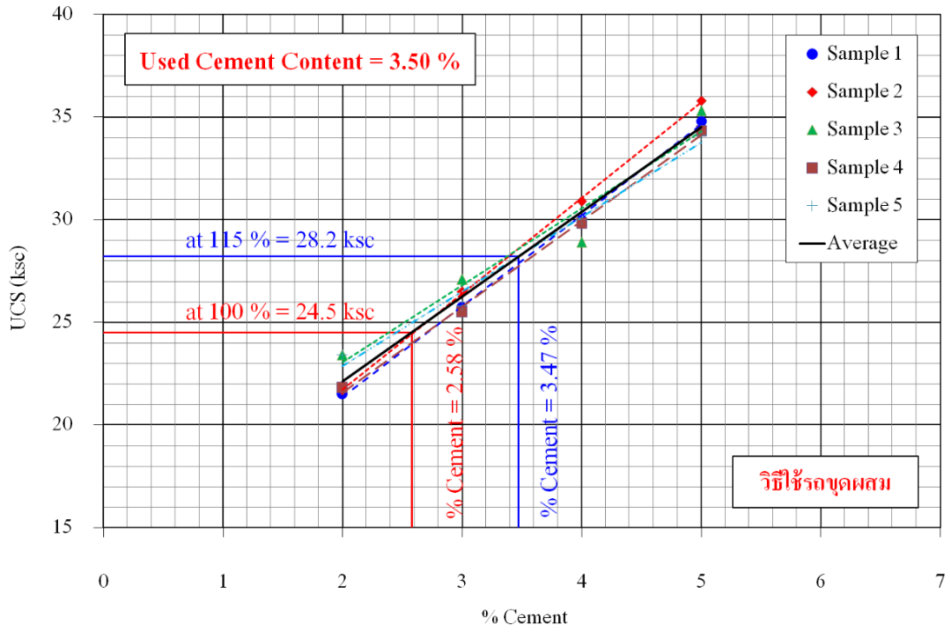
Trial Cement (%)		2.0	3.0	4.0	5.0
Unconfined Compressive Strength of the sample: UCS (ksc)	1	21.5	25.7	30.0	34.8
	2	21.7	26.5	30.9	35.8
	3	23.4	27.1	28.9	35.3
	4	21.8	25.5	29.8	34.3
	5	23.4	25.8	30.0	34.1
Average		22.4	26.1	29.9	34.9



ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้เครื่อง SAW



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้กากผิว



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสม

วิเคราะห์ผลการศึกษา

จากผลการศึกษาปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในงาน Pavement in-place recycling ดังที่ได้แสดงในหัวข้อผลการศึกษานั้น ตารางที่ 4-10 ได้แสดงค่าเฉลี่ยของผลการศึกษาในแต่ละวิธีการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 4-10 ค่า Gradation, Max. Dry Density (MDD), Optimum moisture content (OMC) และ Cement content ที่ได้จากการศึกษา

วิธีที่	Gradation (% Passing)								MDD (gm./ml.)	OMC (%)	Cement content (%)
	50 mm	25 mm	19 mm	9.5 mm	# 4	# 10	# 40	# 200			
1	100	89.7	79.9	56.6	36.5	21.5	15.4	6.0	2.282	4.7	3.7
2	100	94.1	83.9	57.7	39.4	27.4	16.3	6.7	2.287	4.6	3.6
3	100	95.2	88.0	67.7	41.5	25.5	17.2	9.1	2.294	5.1	3.5

หมายเหตุ: Cement content ที่แสดง ใช้ค่าที่ 115% ของค่ากำลังรับแรงอัดที่กำหนด ซึ่งเป็นค่าที่ให้ใช้ผสมจริงในการทำงาน

จากตารางที่ 4-10 ค่า % Passing ที่ได้ค่อนข้างสอดคล้องกับลักษณะความเป็นจริงกับวิธีการที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างวัสดุ กล่าวคือ ในส่วนเม็ดหยาบ (ค้างตะแกรง #4) % Retained ของแต่ละวิธี เท่ากับ 63.5%, 60.6% และ 58.5% ตามลำดับ (100-% Passing #4) นั่นแสดงให้เห็นว่าการเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีที่ 1 ได้วัสดุส่วนหยาบมากกว่าวิธีที่ 2 และวิธีที่ 3 ส่วน % Passing ตะแกรง #200 ซึ่งเป็นขนาดที่สนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากมีขนาดเล็กมากเปรียบได้เป็นฝุ่น มีความสำคัญในการจับตัวกับวัสดุส่วนหยาบเพื่อเติมเต็มช่องว่าง และมีผลในทางที่ดีในการผสมกับซีเมนต์ กล่าวคือ หาก % Passing ตะแกรง #200 มาก (แต่ต้องไม่มากเกินค่าเหมาะสม จากประสบการณ์ของผู้ศึกษา ค่าเหมาะสมอยู่ในช่วง 8.0-13.0%) จะส่งผลให้ได้ค่ากำลังอัดสูงขึ้น ทำให้ใช้ปริมาณซีเมนต์ที่น้อยลง ซึ่งผลที่ได้เท่ากับ 6.0%, 6.7% และ 9.1% ตามลำดับ

สำหรับค่า Max. Dry density และ OMC นั้นได้ค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยความหนาแน่นแห้งสูงสุดของการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ค่อนข้างมีความใกล้เคียงกัน อันเป็นผลมาจาก % Passing ตะแกรง #200 มีความใกล้เคียงกันนั้นเอง ซึ่งต่างจากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีที่ 3 ที่มี % Passing ตะแกรง #200 สูงที่สุด ทำให้ค่า OMC สูงตามด้วยเช่นกัน

ค่าปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างทั้งสามวิธีนั้น มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเท่ากับร้อยละ 3.7, 3.6 และ 3.5 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้มีความสอดคล้องกับขนาดคละ (Gradation) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังอัด กล่าวคือ วัสดุที่มีขนาดคละดี มีขนาดเม็ดหยาบมาก มีฝุ่นไม่น้อยเกินไป จะมีความต้องการใช้ปริมาณซีเมนต์น้อยกว่าวัสดุที่มีขนาดคละไม่ดี ขนาดเม็ดหยาบน้อย และปริมาณฝุ่นน้อย เพื่อให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่เท่ากัน

การเปรียบเทียบราคาค่าก่อสร้าง

จากเงื่อนไขดังที่กล่าวในเงื่อนไขการคำนวณราคากลางและจากค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการออกแบบ ทำให้สามารถทำการคำนวณและเปรียบเทียบค่างานต้นทุน ได้ดังตารางที่ 4-11 โดยในโครงการก่อสร้างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้นั้น ได้ใช้ค่าวัสดุผสม (ราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 + ค่าขนส่ง) งาน Pavement in-place recycling เท่ากับ 2,233.26 บาทต่อตัน อย่างไรก็ตามค่างานต้นทุนที่แสดงในตารางที่ 4-11 ยังมิใช่ราคากลางค่าก่อสร้างที่ใช้ในการยื่นเสนอแผนงานเพื่อของบประมาณ เนื่องจากยังไม่ได้พิจารณาถึง Factor, F ดังที่ได้กล่าวไว้บทที่ 2 หัวข้อหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง

ข้อมูลจากตารางที่ 4-11 แสดงให้เห็นถึงค่างานต้นทุนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีที่ 3 (วิธีใช้รถขุดผสม) นั้น มีราคาที่ต่ำที่สุด เนื่องจากค่าปริมาณซีเมนต์ที่ออกแบบได้ มีค่าน้อยที่สุด

ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง ด้วยการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีใช้รถขุดผสมนั้น เป็นการได้มาซึ่งตัวอย่างจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง แต่จะดำเนินการหาค่าปริมาณซีเมนต์เพื่อคิดราคากลางในการเสนอเพื่อของบประมาณได้นั้น แผนงานที่เสนอไปต้องได้รับงบประมาณ เกิดการประกวดราคาจ้าง มีการทำสัญญาจ้าง กระทั่งผู้รับจ้างได้ขนย้ายเครื่องจักรเข้าไปดำเนินการ จึงจะสามารถเก็บตัวอย่างตัวแทนวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริงได้ เพื่อหาปริมาณซีเมนต์ส่งให้ผู้คิดราคากลางได้ดำเนินการ ดังนั้นผลการนำเสนอครั้งนี้ได้นำเสนอเพื่อให้ทราบว่าการที่จะคิดราคากลางงาน Pavement in-place recycling โดยสามารถให้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริง ให้แก่ผู้คิดราคากลางในขั้นตอนนำเสนอแผนเพื่อขอรับงบประมาณนั้น สามารถใช้วิธีเก็บตัวอย่างตัวแทนเพื่อมาหาค่าปริมาณซีเมนต์ได้โดยวิธีที่ 1 หรือ วิธีที่ 2 ของผลงานนำเสนอที่ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับวิธีการที่เก็บจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง (วิธีที่ 3) ทำให้สามารถคิดราคากลางของงานได้ใกล้เคียงมากขึ้น และสามารถดำเนินการได้ตั้งแต่ขั้นตอนทำแผนงานนำเสนองบประมาณ โดยไม่ต้องใช้วิธีกำหนดค่าปริมาณซีเมนต์แบบเดิมที่ใช้ที่ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก

อย่างไรก็ตาม ค่างานต้นทุนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีที่ 1 และ 2 (วิธีใช้เครื่อง SAW และวิธีใช้กากผิว) นั้น ก็มิได้แตกต่างไปจากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีที่ 3 มากนัก โดยมีค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีที่ 3 เท่ากับ 5.16% และ 2.54% ตามลำดับ

ตารางที่ 4-11 ข้อมูลเปรียบเทียบราคาต้นทุนงาน Pavement in-place recycling

วิธีที่	วิธีการ	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ก./มล.)	ปริมาณซีเมนต์ (%)	ค่าวัสดุ (ปูนซีเมนต์) (บาท/ตัน)	ค่าวัสดุ (ปูนซีเมนต์) (บาท/ตร.ม.)	ความแตกต่าง (%)
1	ใช้เครื่อง SAW	2.282	3.7	2,233.26	37.71	5.16
2	ใช้กากผิว	2.287	3.6		36.77	2.54
3	ใช้รถขุดผสม	2.294	3.5		35.86	-

หากคำนวณปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ต่อถนนยาว 1.0 กม. กว้าง 1 ช่องทางจราจร (3.5 ม.) โดยทำการขุดผสมที่ความลึก 20 ซม. ตารางที่ 4-12 สามารถแสดงให้เห็นถึงต้นทุนที่ลดลงจากการใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแต่ละวิธี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ค่าปริมาณ

ซีเมนต์ในเชิงประสบการณ์ (ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก) โดยสมมุติให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ 2,300 กก./ลบ.ม. และราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (รวมค่าขนส่ง) เท่ากับ 2,233.26 บาทต่อตัน มีค่าเท่ากันในทุกวิธี

ตารางที่ 4-12 ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์และต้นทุนที่ลดลงได้ (ต่อถนนยาว 1.0 กม., กว้าง 3.5 ม. และความลึก 20 ซม.)

วิธีที่	วิธีการ	ปริมาณซีเมนต์	ปริมาณซีเมนต์ (กก./ตร.ม)	ค่าวัสดุ (ปูนซีเมนต์) (บาท/ตร.ม.)	(บาท)	ต้นทุนที่ลดลงได้ (บาท)	ต้นทุนที่ลดลงได้ (%)
-	เชิงประสบการณ์	4.0	18.40	41.09	143,821.94	-	-
1	ใช้เครื่อง SAW	3.7	17.02	38.01	133,035.30	10,786.64	7.50
2	ใช้กากผิว	3.6	16.56	36.98	129,439.75	14,382.19	10.00
3	ใช้รถขุดผสม	3.5	16.10	35.96	125,844.20	17,977.74	12.50

จากตารางที่ 4-12 พบว่า ต้นทุนที่ลดลงจากการใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีที่ 3 (ใช้รถขุดผสม) เมื่อเทียบกับค่าเชิงประสบการณ์นั้น มีค่าสูงถึงร้อยละ 12.5 ซึ่งสามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่า หากใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนักในการคิดราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของราคาค่าก่อสร้างมากเมื่อเทียบกับการทำงานจริงในสนาม

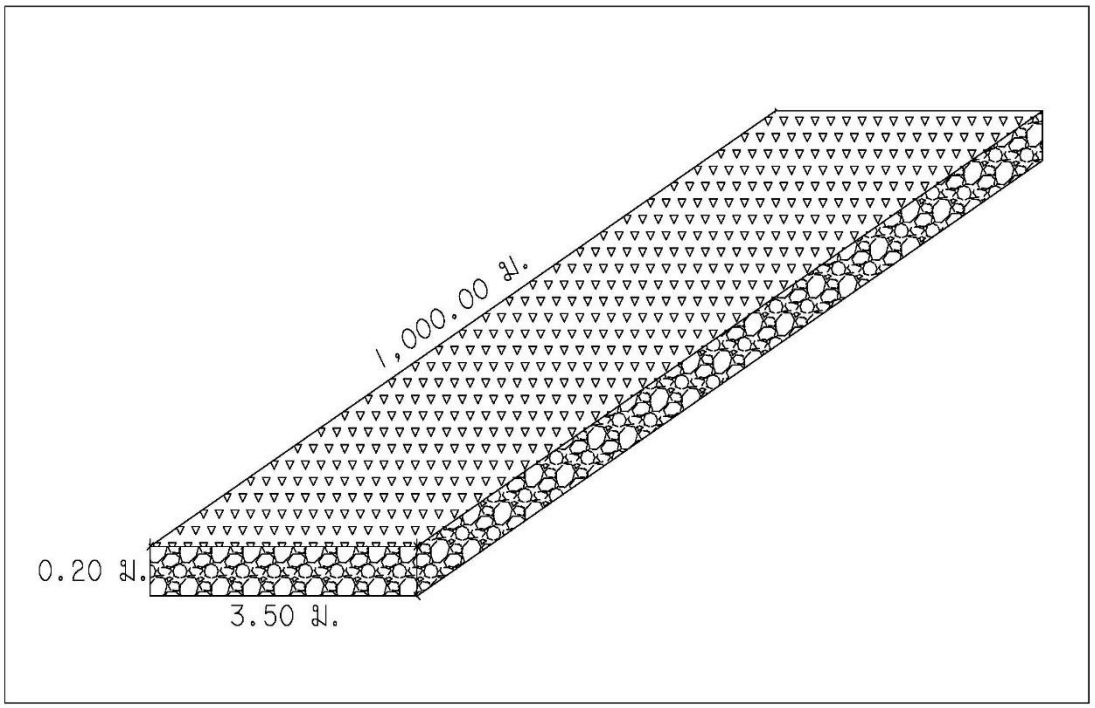
อย่างไรก็ตาม การเก็บตัวอย่างวิธีที่ 1 และ 2 (วิธีใช้เครื่อง SAW และวิธีใช้กากผิว) ก็สามารถลดความคลาดเคลื่อนในการคิดราคาต้นทุนค่าก่อสร้างได้เช่นกัน ซึ่งต้นทุนที่ลดลงมีค่าร้อยละ 7.5 และ 10.0 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบราคาในกรณีราคารวมทั้งหมดของการทำงานเฉพาะรายการงาน Pavement in-place recycling (ในโครงการก่อสร้าง 1 โครงการมีรายการงานจำนวนหลายรายการ ผู้ศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบเฉพาะรายการงานที่ศึกษา) โดยคิดรวมค่าดำเนินการและค่า Factor, F รวมเป็นราคากลาง สำหรับงานโครงการก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344 ที่ผู้ศึกษาทำการศึกษานั้น มีราคากลางรายการงาน Pavement in-place recycling เท่ากับ 104.00 บาท/ตร.ม. ดังนั้น หากพิจารณาเปรียบเทียบในด้านราคากลาง โดยใช้ราคาซีเมนต์ตามตารางที่ 4-12 ได้รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ข้อมูลเปรียบเทียบราคากลางงาน Pavement in-place recycling

วิธีที่	วิธีการ	ปริมาณซีเมนต์ % (1)	ราคาซีเมนต์ที่ใช้ต่อตร.ม. บาท/ตร.ม. (2)	ราคาต้นทุนที่ลดลง บาท/ตร.ม. (3)	ราคากลาง บาท/ตร.ม. (4)	ร้อยละของราคาที่ลดลง (เทียบกับราคากลาง) % (5) = (3) / (4) x 100
-	เชิงประสบการณ์	4.0	41.09	-	104.00	-
1	ใช้เครื่อง SAW	3.7	38.01	3.08	-	2.96
2	ใช้กากผิว	3.6	36.98	4.11	-	3.95
3	ใช้รถขุดผสม	3.5	35.96	5.14	-	4.94

จากตารางที่ 4-13 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จากวิธี SAW, วิธีกากผิว และวิธีใช้รถขุดผสม (วิธีที่เก็บจากเครื่องจักรที่ทำงานจริง) เทียบกับวิธีเชิงประสบการณ์ ทำให้ราคาต้นทุนลดลงเท่ากับ 3.08, 4.11 และ 5.14 บาท/ตร.ม. ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับราคากลางของวิธีเชิงประสบการณ์ พบว่ามีร้อยละของราคาที่ลดลงเท่ากับ 2.96, 3.95 และ 4.94 ตามลำดับ ค่าร้อยละของราคาที่ลดลงของราคากลางมีค่าน้อยกว่าค่าร้อยละของราคาที่ลดลงของราคาต้นทุน เนื่องจากคิดเทียบกับราคากลางซึ่งมีค่ามากกว่าราคาต้นทุนนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากคิดในแง่ของจำนวนเงินที่ลดลงจะมีจำนวนที่เท่ากัน (รายละเอียดการคำนวณ ตารางที่ 4-12)



ภาพที่ 4-11 ภาพประกอบการคำนวณเปรียบเทียบราคา

ถนนยาว 1,000 ม. กว้าง 3.50 ม. ความลึกในการขุดผสม 20 ซม. สมมุติส่วนผสมมวลรวมประกอบด้วย ผิวทางเดิมและพื้นทางเดิม ณ ความแน่นแห้งสูงสุดหนัก 2,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถคำนวณหาปริมาณซีเมนต์ได้ ดังนี้

คำนวณปริมาณซีเมนต์

ปริมาณซีเมนต์ กก./ตร.ม. = % ซีเมนต์ / 100 x ความแน่น x ความกว้าง x ความยาว x ความลึก

ใช้ปูน 4.0% = 4.0 / 100 x 2,300 x 1 x 1 x 0.2 = 18.40 กก./ตร.ม.

ใช้ปูน 3.7% = 3.7 / 100 x 2,300 x 1 x 1 x 0.2 = 17.02 กก./ตร.ม.

ใช้ปูน 3. % = 3.6 / 100 x 2,300 x 1 x 1 x 0.2 = 16.56 กก./ตร.ม.

ใช้ปูน 3.5% = 3.5 / 100 x 2,300 x 1 x 1 x 0.2 = 16.10 กก./ตร.ม.

คำนวณราคาต่อตารางเมตร

ราคาซีเมนต์ บาท/ตร.ม. = ปริมาณซีเมนต์ต่อตารางเมตร x ราคาซีเมนต์

ใช้ปูน 4.0% = 18.40 / 1,000 x 2,233.26 = 41.09 บาท/ตร.ม.

ใช้ปูน 3.7% = 17.02 / 1,000 x 2,233.26 = 38.01 บาท/ตร.ม.

ใช้ปูน 3.6% = 16.56 / 1,000 x 2,233.26 = 36.98 บาท/ตร.ม.

ใช้ปูน 3.5% = 16.10 / 1,000 x 2,233.26 = 35.96 บาท/ตร.ม.

คำนวณราคาต่อถนนยาว 1,000 ม. กว้าง 3.50 ม.

ราคาซีเมนต์ที่ใช้ทั้งหมด = ราคาซีเมนต์ต่อตารางเมตร x ความยาวถนน x ความกว้างถนน

ใช้ปูน 4.0% = 41.09 x 1,000 x 3.50 = 143,821.94 บาท

ใช้ปูน 3.7% = 38.01 x 1,000 x 3.50 = 133,035.30 บาท

ใช้ปูน 3.6% = 36.98 x 1,000 x 3.50 = 129,439.75 บาท

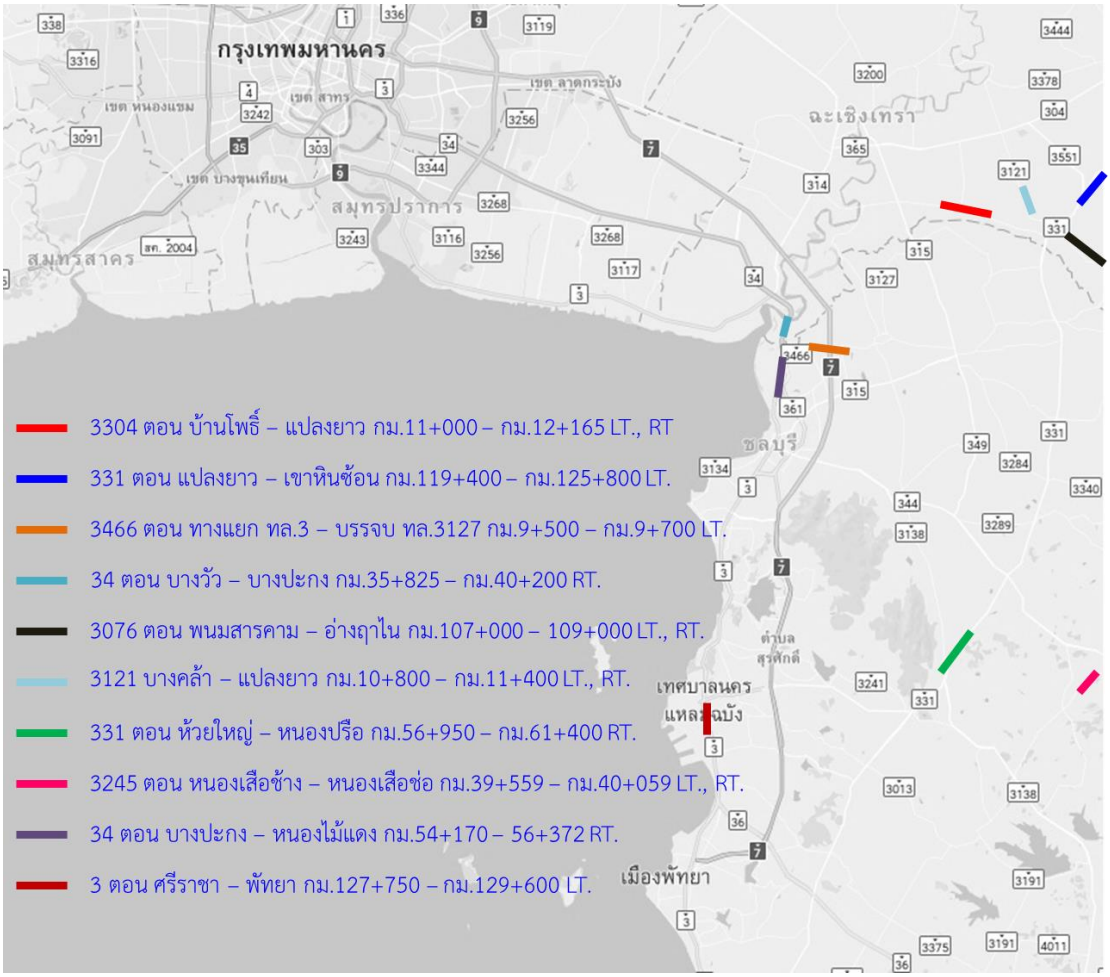
ใช้ปูน 3.5% = 35.96 x 1,000 x 3.50 = 125,844.20 บาท

หมายเหตุ: ตัวเลขที่ได้เกิดจากการคำนวณชุดข้อมูลในคราวเดียว

เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 วิธี กับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ก่อสร้างจริงของโครงการก่อสร้างอื่น ๆ ในตารางที่ 4-13 พบว่าค่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้จริงนั้นมีค่าระหว่างร้อยละ 3.5-3.8 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ซึ่งมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ก่อสร้างจริงส่วนใหญ่มักน้อยกว่าร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าที่ผู้จัดทำแผนงานใช้คิดราคากลาง ยิ่งเป็นการสนับสนุนในการศึกษาครั้งนี้ที่มีจุดประสงค์หาวิธีทดแทนการเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง ซึ่งไม่สามารถดำเนินการได้ ณ ขั้นตอนจัดทำแผนเสนองบประมาณ เพื่อหาค่าปริมาณซีเมนต์ส่งให้ผู้จัดทำแผนงานใช้คิดราคากลาง เพราะมีความใกล้เคียงมากกว่าการใช้ค่าเชิงประสบการณ์ (ที่ตั้งของแต่ละโครงการ แสดงไว้ดังภาพที่ 4-12)

ตารางที่ 4-14 ข้อมูลการใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ งาน Pavement In-Place Recycling เฉพาะโครงการก่อสร้างที่มีสัดส่วนผิวทางเดิมหนา 5 ซม. และพื้นทางเดิมหนา 15 ซม.

ลำดับที่	ทางหลวงหมายเลข	ตอน	ช่วง			ระยะทาง กม.	ร้อยละปูนซีเมนต์ที่ใช้
			กม.	กม.	ด้าน		
1	3304	บ้านโพธิ์ - แปลงยาว	11+000	12+165	LT., RT.	1.1650	3.8
2	331	แปลงยาว - เขาหินซ้อน	119+400	125+800	LT.	6.4000	3.6
3	3466	ทางแยก ทล.3 - บรรจบ ทล. 3127	9+500	9+700	LT.	0.2000	3.5
4	34	บางวัว - บางปะกง	35+825	40+200	RT.	4.3750	3.6
5	3076	พนมสารคาม - อ่างฤาไน	107+000	109+000	LT., RT.	2.0000	3.6
6	3121	บางคล้า - แปลงยาว	10+800	11+400	LT., RT.	0.6000	3.7
7	331	ห้วยใหญ่ - หนองปรือ	56+950	61+400	RT.	4.4500	3.6
8	3245	หนองเสือช้าง - หนองเสือช่อ	39+559	40+059	LT., RT.	0.5000	3.5
9	34	บางปะกง - หนองไม้แดง	54+170	56+372	RT.	2.2020	3.5
10	3	ศรีราชา - พัทยา	127+750	129+600	LT.	1.8500	3.7



ภาพที่ 4-12 ที่ตั้งโครงการก่อสร้างงาน Pavement In-Place Recycling เฉพาะโครงการก่อสร้างที่มีสัดส่วนผิวทางเดิมหนา 5 ซม. และพื้นทางเดิมหนา 15 ซม.

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาค่าปริมาณซีเมนต์ออกแบบของส่วนผสมสำหรับการทำงาน Pavement in-place recycling สำหรับกรณีที่ผิวทางเดิมหนา 5 ซม. พื้นทางเดิมหินคลุกหนา 15 ซม. ในทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 344 ระหว่าง กม. 25+800 – กม.28+740 อ.บ้านบึง จ.ชลบุรี ดำเนินการเก็บตัวอย่างวัสดุโดยวิธีที่ผู้ศึกษานำเสนอ 2 วิธี คือ วิธีใช้เครื่อง SAW (วิธีที่1) และวิธีใช้กากผิว (วิธีที่ 2) เพื่อศึกษาหาค่าปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในส่วนผสมในการทำงานให้ผลเป็นเช่นไร เนื่องจากค่าปริมาณซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักหรือมีความแปรผันต่อราคางาน โดยเพื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณซีเมนต์ทีได้จากวิธีที่ 1 และ 2 กับค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง (วิธีที่ 3) เพื่อต้องการใช้วิธีที่ 1 และ 2 ในการให้ข้อมูลกับผู้จัดทำแผนงานในการคิดราคากลางแทนการใช้ค่าเชิงประสบการณ์ ในขั้นตอนการคิดราคากลางเพื่อทำแผนงานเสนอของบประมาณ เพราะทั้งสองวิธีสามารถดำเนินการเก็บตัวอย่างวัสดุมาทดลองและออกแบบหาค่าปริมาณซีเมนต์ได้ตั้งแต่ขั้นตอนจัดทำแผนงาน โดยไม่ต้องรอให้เกิดการทำสัญญาจ้างเหมาก่อสร้าง เพื่อรอให้ผู้รับจ้างขนย้ายเครื่องจักรที่ใช้งานจริงเข้าไปเก็บตัวอย่างวัสดุมาทดลองและออกแบบ

จากผลการศึกษาที่แสดงในบทที่ 4 ค่าปริมาณซีเมนต์ทีได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุ โดยวิธีที่ 1 และ วิธีที่ 2 ให้ค่าปริมาณซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 3.7 และ 3.6 ของมวลรวมโดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากวิธีที่ 3 ซึ่งเป็นวิธีที่เก็บวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้งานจริง ซึ่งมีปริมาณซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 3.5 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก โดยเมื่อเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างด้านราคาต้นทุนเมื่อเทียบกับวิธีที่ 3 อยู่ที่ 5.16 และ 2.54 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างค่อนข้างน้อย

การได้ค่าปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ใช้งานจริง ซึ่งยังไม่สามารถทำได้ ณ ขั้นตอนการจัดทำแผนงานเพื่อขอเสนองบประมาณนั้น แต่จำเป็นต้องมีข้อมูลค่าปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้เพื่อคิดราคาค่างาน ตั้งแต่ขั้นตอนการจัดทำแผนงานเพื่อเสนอของบประมาณ ดังนั้น การศึกษาเพื่อหาวิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุที่ให้ค่าปริมาณซีเมนต์ได้ ใกล้เคียงกับการทำงานจริง และสามารถดำเนินการได้ทันที ตั้งแต่กระบวนการจัดทำแผนงานเพื่อเสนอของบประมาณ ทำให้ราคาค่างานที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง แทนที่จะใช้ค่าเชิง

ประสบการณ์เป็นค่าที่ใช้คิดราคาค่างานทุกงาน ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าค่าที่ใช้งานจริง ทำให้ราคาค่างานที่คำนวณได้สูงกว่าความเป็นจริง มีความคลาดเคลื่อนมาก ทำให้รัฐเสียหาย

ดังนั้น จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ได้ว่า การแก้ไขปัญหาการคิดราคากลางงาน Pavement in-place recycling สามารถใช้วิธีเก็บตัวอย่างวัสดุวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ตามที่ผู้ศึกษานำเสนอได้ แทนการใช้วิธีการเดิมซึ่งให้ผลใกล้เคียงค่าที่ได้จากการทำงานจริงมากขึ้น ทำให้ราคากลางที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

สรุปผลการศึกษา

1. ผลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีใช้เครื่อง SAW วิธีใช้กากผิว และวิธีใช้รถขุดผสม ในการศึกษาครั้งนี้ ในแง่ของขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่มีผลต่อความต้องการใช้ซีเมนต์มีความสอดคล้องกับสมมุติฐาน โดยขนาดคละ (Gradation) ที่ได้จากวิธีใช้เครื่อง SAW มีขนาดคละหยาบที่สุด เป็นผลให้มีความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากกว่า เพื่อให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 24.5 กก./ซม.^{2} เท่ากัน เมื่อเทียบกับวิธีใช้กากผิวและวิธีใช้รถขุดผสม เนื่องจากขนาดคละด้อยกว่า ส่วนความต้องการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยที่สุดนั้น คือ วิธีที่ 3 ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างโดยเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจริง ซึ่งมีขนาดคละที่เหมาะสมกว่า

2. ปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการศึกษา ทั้ง 3 วิธีมีความใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.7, 3.6 และ 3.5 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 เทียบกับวิธีที่ 3 เท่ากับ 0.2% และ 0.1% ตามลำดับ โดยหากใช้ค่าเชิงประสบการณ์ที่ร้อยละ 4.0 ของมวลรวมโดยน้ำหนัก จะคลาดเคลื่อนกับวิธีที่ 3 (วิธีที่เก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ทำงานจริง) เท่ากับ 0.5% นั่นแสดงให้เห็นว่า วิธีการเก็บตัวอย่างวัสดุที่ผู้ศึกษานำเสนอมีความใกล้เคียงกว่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าใช้วิธีเชิงประสบการณ์ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้วิธีที่ 1 (วิธี SAW) หรือ วิธีที่ 2 (วิธีใช้กากผิว) เพื่อใช้ในการให้ข้อมูลสำหรับการคิดราคาเพื่อจัดทำแผนงานเสนอของบประมาณแทนวิธีใช้ค่าเชิงประสบการณ์ได้ตามวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ โดยสามารถลดความคลาดเคลื่อนลงได้ และยังสามารถนำไปใช้ได้ในการทำงานก่อสร้าง หากมีข้อจำกัดด้านเวลาหรือความไม่สะดวกที่ผู้รับจ้างไม่ย้ายเครื่องจักรมาเก็บตัวอย่างวัสดุจากเครื่องจักรที่ทำงานจริงได้

3. เมื่อพิจารณาในแง่ของค่างานต้นทุนที่คำนวณจากปริมาณซีเมนต์ของการเก็บตัวอย่างในแต่ละวิธีนั้น มีความแตกต่างกันไม่มากนัก โดยค่างานต้นทุนของวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 แตกต่างจากวิธีที่ 3 เท่ากับร้อยละ 5.16 และ 2.54 ตามลำดับ

4. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่างาน โดยคำนวณกรณีตัวอย่างถนนยาว 1 กิโลเมตร กว้าง 3.50 เมตร และสมมุติให้ค่าน้ำหนักของมวลรวมของส่วนผสม ณ ความหนาแน่นแห้งสูงสุด มีค่า 2,300 กก./ลบ.ม. เท่ากันทุกวิธี โดยราคาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เท่ากับ 2,233.26 บาทต่อตัน ผลที่ได้แสดงในตาราง 4-12 และ 4-13 โดยเมื่อเปรียบเทียบค่างานต้นทุนของทั้ง 3 วิธี เทียบกับวิธีเดิมที่ใช้ค่าเชิงประสบการณ์ มีความแตกต่างของค่างานเท่ากับ 10,786.64 , 14,382.19 และ 17,977.74 บาท คิดเป็นร้อยละ 7.50 ร้อยละ 10.00 และร้อยละ 12.50 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในกรณีราคากลาง มีความแตกต่างของค่างานเท่ากับร้อยละ 2.96 ร้อยละ 3.95 และร้อยละ 4.94 ตามลำดับ โดยหากเมื่อคิดในกรณีเป็นงานโครงการก่อสร้างจริงซึ่งจะมีระยะทางและความกว้างมากกว่า ราคาค่างานก็จะแตกต่างมากขึ้น และถ้าคิดจำนวนของโครงการก่อสร้างหลายๆโครงการ ก็ยิ่งทำให้ค่างานที่แตกต่างนั้นมีค่ามากขึ้น ดังนั้นในแง่ของการศึกษาตามวัตถุประสงค์สามารถสรุปว่า การใช้วิธีที่ 1 หรือ 2 ในการเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อหาค่าปริมาณซีเมนต์เพื่อให้ข้อมูลแก่ผู้คิดราคากลางนั้น สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนจากวิธีเชิงประสบการณ์ได้มากขึ้น แต่หากพิจารณาในด้านจำนวนเงินที่แตกต่าง เป็นอำนาจการตัดสินใจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการในการคิดราคากลางต่อไป

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดในการศึกษาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 ที่มีข้อจำกัดในด้านการใช้เครื่องจักรในการทำงานค่อนข้างมาก การเก็บตัวอย่าง การทดลองและออกแบบของตัวอย่างจำนวนมาก รวมถึงจำนวนโครงการก่อสร้างที่ใช้ในการศึกษา ผู้ศึกษาขอเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1. ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาเพียงถนนสายเดียว ซึ่งอาจให้ข้อมูลที่ไม่หลากหลาย แต่ได้ทดแทนโดยการเก็บตัวอย่างวัสดุมาศึกษาจำนวนหลายตัวอย่างเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามผู้ศึกษาขอแนะนำให้ผู้ที่สนใจในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยทำการศึกษากับถนนหลาย ๆ สาย หรือหลาย ๆโครงการ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้น

2. ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาเพียงกรณีที่ถนนเดิมมีความหนาผิวทางหนา 5 ซม. ความหนาพื้นทางเดิมหินคลุกหนา 15 ซม. เท่านั้น ในการทำงาน Pavement in-place recycling ยังมีกรณีที่ความหนาผิวทางเดิมหนา 10 ซม. และความหนาพื้นทางเดิมหินคลุกหนา 10 ซม. อีกกรณีหนึ่ง จึงขอแนะนำให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้

บรรณานุกรม

กรมทางหลวง. (2543). *มาตรฐานที่ ทล.-ม. 213/2543 การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling)*. เข้าถึงได้จาก http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs213-43.pdf

กรมบัญชีกลาง. (2555). *หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม*. กรุงเทพฯ: กรมบัญชีกลาง.

เจนวิทย์ จันทร์พยัพ. (2557). *อิทธิพลของปริมาณหินฝุ่นต่อกำลังอัดของผิวทางเดิมที่ปรับปรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนผิวทางเดิมครั้งที่สอง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

จุฑา สุนิตย์กุล, อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช, พลเทพ เลิศวรวนิช และเศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ. (2550). วิธีการออกแบบส่วนผสมสำหรับวัสดุงานทางที่ปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมสำหรับวัสดุที่ใช้ในงานทางด้วยซีเมนต์. *สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง, รายงานฉบับที่ วพ.239.*

อธิวัฒน์ โยอาศรี. (2559). ระบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการด้วยอิเล็กทรอนิกส์. ใน *การประชุมฝ่ายเลขานุการคณะอนุกรรมการกำกับหลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน.

สุทัศน์ คุณโฑ. (2556). *การศึกษาเพื่อลดค่าก่อสร้างงานบูรณะทาง โครงการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ กรณีพื้นทางเดิมเป็นหินคลุกผสมซีเมนต์*. มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม วิชาเอกเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Crivelli, H. (1995). *Pavement Recycling Precast Surface Paving Overlay Comprising Rubber Crumbs and Clay Particles*. United States of America: United States Patent.

Ramanujam, J. M. (1995). Performance Monitoring of Thin Lift (Cement/Bitumen) and Deep Lift (Cement/Flyash and Cement/Slag) Pavement Recycling Project. *Pavement Rehabilitation Workshop*., 24 & 25 August 1995, Queensland, 1-20.

Reeves, I. N. (1995). Innovation Impacting Pavement Recycling Options. *Pavement Rehabilitation Workshop*. N.p.

Ruenkrairergsa, T. (1982). Design, Construction, and Performance of Silty Sand Stabilized Road Base. *Proceedings, ARC Soil Mechanics and Foundations*, *1*, 136-143.

Wirtgen Co., Ltd. (2012). *Wirtgen Cold Recycling Technology*. Germany: Wirtgen GmbH, 118-119

Wirtgen Co., Ltd. (2014). *Recycling and Milling With a Single Machine, Cold Recycler 2200 CR*. Germany: Wirtgen GmbH. Brochure