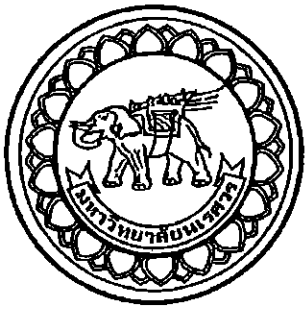


# การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อ ความเสถียรภาพและการไหล กรณีศึกษาวัสดุผิวทางที่นำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

# THE EFFECTS OF TEMPERATURE ON STABILITY AND FLOW OF RECYCLING ASPHALT CONCRETE


นายสุรกาญจน์ พลหมอ รหัส 50363471

นายปรัชญา สาระขันธ์ รหัส 50382373

นายศรายุทธ บุญชุม รหัส 50382960


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2553


ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 1551602X
เลขเรียกหนังสือ ม8.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ส845 ก 2553

# ใบรับรองปริญญานิพนธ์

**ชื่อหัวข้อโครงงาน** การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อความเสถียรภาพและการไหล กรณีศึกษาวัสดุผิวทางที่นำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

**ผู้ดำเนินโครงงาน** นายสุรกาญจน์ พลหมอ รหัส 50363471
นายปรัชญา สาระขันธ์ รหัส 50382373
นายศรายุทธ บุญชุม รหัส 50382960

**ที่ปรึกษาโครงงาน** อาจารย์บุญพล มีไชโย

**สาขาวิชา** วิศวกรรมโยธา

**ภาควิชา** วิศวกรรมโยธา

**ปีการศึกษา** 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
( อาจารย์บุญพล มีไชโย )

.....กรรมการ
( อาจารย์วรางค์ลักษณ์ ซ่อนกลิ่น )

.....กรรมการ
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ )

| | |
|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อความเสถียรภาพและการไหล กรณีศึกษาวัสดุผิวทางที่นำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายสุรกาญจน์ พลหมอ รหัส 50363471 |
| | นายปรัชญา สาระขันธ์ รหัส 50382373 |
| | นายศรายุทธ บุญชุม รหัส 50382960 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | อาจารย์บุญพล มีไชโย |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมโยธา |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมโยธา |
| **ปีการศึกษา** | 2553 |

.....


## บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อ เสถียรภาพ และ การไหลของวัสดุ Recycling Asphalt Concrete จึงได้ออกแบบการทดลองหาคุณสมบัติ ให้มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40 และ 50 °C ก่อนนำก้อนตัวอย่างที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติด้านความ เสถียรภาพ (Stability) และค่าการไหล (Flow) โดยวัสดุ Recycling Asphalt Concrete ในที่นี้ใช้วัสดุมวลรวมจากชั้นผิวทางของทางสาย 1023 ตอนต่อเขตเทศบาลแพร่ควบคุม-สามแยกบ้านปิ่น ระหว่าง กม.20+900 – 23+000 ผลการทดสอบ อุณหภูมิมีผลต่อ ค่าเสถียรภาพ และค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าเสถียรภาพจะลดลง คือ ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ60 °C ค่าเสถียรภาพมีค่าเป็น 3823.110, 3391.967, 2806.188 และ 2196.900 Lbs ตามลำดับ ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปของแต่ละช่วงอุณหภูมิคิดเป็น 11.277%, 17.269% และ 21.712 % % ของการเปลี่ยนแปลงของค่าเสถียรภาพทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความสามารถในการไหล (Flow) ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 °C ค่าการไหลมีค่าเป็น 11.33, 12.33, 12.67 และ 13.67 13 (1/100" Flow) ตามลำดับ แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสามารถในการไหลก็จะเพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบ ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อ เสถียรภาพ และ การไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ให้แอสฟัลต์ที่เคลือบมวลรวมเหลวขึ้น ความสามารถในการยึดเกาะกันของอนุภาคของมวลรวมลดลง เมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุกแอสฟัลต์คอนกรีตจึงเกิดการลื่นไถลได้ง่าย เนื่องจากมีความสามารถในการไหลสูง ส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของผิวทางลดลง

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Project title** | The Effects of Temperature on impact, Stability and Flow, A case study of Recycling Asphalt Concrete | | |
| **Name** | Mr. Surakarn | Pol-mo | ID. 50363471 |
| | Mr. Prudya | Sarakhan | ID. 50382373 |
| | Mr. Sarayut | Boonchum | ID. 50382960 |
| **Project advisor** | Mr. Boonphol | Meechaiyo | |
| **Major** | Civil Engineering | | |
| **Department** | Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University | | |
| **Academic year** | 2010 | | |

.....


## Abstract

This project aims to study the effect of temperature on stability and the flow of asphalt concrete. This experiment is designed to find property to control the temperature at 30, 40 and 50°C before to take asphalt concrete sample were tested property Stability (Stability) and flow (Flow). The materials in this Recycling Asphalt Concrete Aggregate material from the surface layer of the cable 1023 at the Municipal transmission control - in three separate houses between Pin km 20 +900 - 23 +000. The result of test, temperature affects the stability and the flow of asphalt concrete when the temperature was higher. The stability is reduced at 30, 40, 50 and 60 °C, the value stable is 3823.110, 3391.967, 2806.188 and 2196.900 Lbs., The change stability of each temperature range, representing 11.27%, 17.27% and 21.71% of change value of all stability. And the relationship between temperature and the ability to flow (Flow) at 30, 40, 50 and 60 °C, the flow is set to 11.33, 12.33, 12.67 and 13.67 (1 / 100 "Flow), indicating that at higher temperatures the flow will increase.

The results showed the effect of temperature on stability and the flow of the asphalt concrete can be concluded that because higher temperatures cause the asphalt coated aggregate more liquid. The ability to grip each of the mass of the particles decreased. When the load Asphalt concrete is caused to easily slip. Because the ability to flow much, it is the cause of the ability of the surface payload is decreased

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้ความอุปการะและการสนับสนุนด้านการเงิน และเป็นกำลังใจในการศึกษาและการจัดทำโครงงานนี้จนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณอาจารย์บุญพล มีไชโย ที่ปรึกษาโครงงานเป็นอย่างยิ่งที่ช่วยเหลือและให้คำปรึกษา และแนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่พบระหว่างการศึกษาและจัดทำโครงงาน รวมทั้งช่วยอำนวยความสะดวกในด้านเอกสารต่างๆ ที่จำเป็นในการจัดทำโครงงานจนโครงงานสำเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และรวมไปถึงการสั่งสอนในเรื่องที่เกี่ยวกับการทำงานและการดำรงชีวิต

คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ

1.สำนักงานทางหลวงที่ 2 จังหวัดแพร่

2.สำนักงานทางหลวงที่ 4 จังหวัดพิษณุโลก (ส่วนตรวจสอบวิเคราะห์ทางวิศวกรรม)

ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล คำแนะนำ และสนับสนุนด้านก้อนตัวอย่าง รวมทั้งอุปกรณ์การทดสอบ จนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านเอกสาร คำแนะนำและคำปรึกษาแก่คณะผู้ดำเนินงาน

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นายสุรกาญจน์ พลหมอ

นายปรัชญา สาระขันธ์

นายศรายุทธ บุญชุม

มีนาคม 2554

# สารบัญ

หน้า


ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ซ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน.....2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน.....3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....4
2.1 หลักการและเหตุผล.....4
2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต.....16
2.3 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนรวม.....17
2.4 การออกแบบ Recycling Asphalt concrete.....19
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....24
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....24
3.2 การเตรียมก้อนตัวอย่าง.....27
3.3 วิธีการทดสอบ.....28

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....30
4.1 ค่าปรับแก้ของค่าความเสถียรภาพ (Stability) ที่ความหนาต่างๆ.....30
4.2 ผลการทดสอบค่าความเสถียรภาพ (Stability).....31
4.3 ผลการทดสอบค่าการไหล (Flow).....33
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....34
5.1 สรุปผลการทดลอง.....34
5.2 ข้อเสนอแนะ.....39

บรรณานุกรม.....40

ภาคผนวก

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงาน ..... 3

2.1 ขนาดคละของมวลภายหลังการผสม ..... 5

2.2 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก ..... 7

2.3 ข้อกำหนดในการออกแบบ Recycling Asphalt Concrete ..... 10

2.4 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน ..... 11

2.5 แสดงส่วนผสมของ Recycling Asphalt Concrete ..... 21

2.6 ค่าปรับแก้ความเสถียรภาพ (Stability) ..... 22

4.1ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพที่ความหนาต่างๆที่อุณหภูมิ 30 °C ..... 29

4. 2 ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพที่ความหนาต่างๆที่อุณหภูมิ 40 °C ..... 30

4. 3 ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพที่ความหนาต่างๆที่อุณหภูมิ 50 °C ..... 30

4. 4 ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพที่ความหนาต่างๆที่อุณหภูมิ 60 °C .....30

4.5ค่าความเสถียรภาพ (Stability) ที่ได้จากการวัด ..... 30

4.6 แสดงผลการทดสอบในการปรับแก้ค่าความเสถียรภาพ (Stability) ณ อุณหภูมิต่างๆตามที่มาตรฐานได้กำหนด .....31

4.7 ค่าความเสถียรภาพ (Stability) ที่ได้จากการปรับแก้ .....31

4.8 ผลการทดสอบหาค่าการไหล (Flow) ที่อุณหภูมิต่างๆ .....32

5.1 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ (Stability)
ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete .....36

5.2 ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล (Flow)
ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete .....38

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

3.1 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Stability และ Flow.....24

3.2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ มาร์แชลล์ (Marshall).....25

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเสถียรภาพ.....33

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการไหล.....34

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าเสถียรภาพ (Stability)
ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete .....35

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล (Flow)
ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete .....37

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากน้ำมันดิบมีราคาสูงและมีปริมาณน้อยลง รวมไปถึงการขาดแคลนวัสดุมวลที่มีคุณภาพที่ดีในท้องตลาด โดยเฉพาะในส่วนของงานการทางซึ่งจำเป็นต้องใช้วัสดุเหล่านี้ในการก่อสร้างทาง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถนำวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะช่วยประหยัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายอีกทั้งยังช่วยรักษาทรัพยากรธรรมชาติ โดยมีเหตุผลที่สนับสนุนการนำกลับมาใช้ใหม่ดังนี้.

1. สามารถปรับปรุงคุณภาพถนนเดิมให้มีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นและเหมาะสม
2. สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 100% โดยวิธีปรับปรุงให้มีคุณภาพดีกว่าเดิม
3. ประหยัดเวลาและลดขั้นตอนในการทำงาน เพราะเครื่องจักรสามารถทำงานเสร็จในครั้งเดียว
4. สามารถเปิดให้การจราจรผ่านได้อย่างรวดเร็ว ภายหลังจากการปฏิบัติงานเสร็จ

ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีมากแต่ก็มีปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งของวัสดุที่นำกลับมาใช้งานใหม่ (Recycling) หรือวัสดุใหม่ก็ตามนั้นก็คือ อุณหภูมิของอากาศ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุที่นำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม และเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาต่างๆ ที่วิศวกรจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าว เพื่อที่จะได้ศึกษาพฤติกรรมนำไปสู่การป้องกันและแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับงานด้านวิศวกรรมการทางที่ผิวงานจะต้องสัมผัสกับความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดเวลาซึ่งวัสดุที่ใช้ในการปูผิวทาง จะต้องมีการขยายตัวเมื่อโดนความร้อนและมีการหดตัวกระทบกับความเย็น ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อวัสดุที่ใช้ในการปูผิวทางสำหรับในงานวิจัยเล่มนี้จะกล่าวถึงวัสดุที่มีชื่อว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการเลือกไปใช้งานอย่างมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นงานถนน งานผิวทาง สนามบิน ลานจอดรถขนาดใหญ่ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อ เสถียรภาพ (Stability) และ การไหล (Flow) ของผิวทาง Recycling Asphalt Concrete

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวโน้มของผลกระทบที่เกิดจากอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ผิวทาง Recycling Asphalt Concrete มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปในด้านของความเสถียรภาพ (Stability) และ การไหล (Flow)

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่ทีผลต่อความเสถียรภาพ (Stability) และการไหล (Flow) ของผิวทาง Recycling Asphalt Concrete

1.3.2 สามารถนำค่าความเสถียรภาพ (Stability) และ การไหล (Flow) ที่ได้จากการทดลอง ณ อุณหภูมิต่างๆมาเปรียบเทียบถึงความแตกต่างได้

## 1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

การศึกษาผลกระทบต่ออุณหภูมิที่มีผลต่อเสถียรภาพ(Stability) และการไหล (flow) จากมาตรฐานการทดสอบของมาร์แชลล์, Marshall (ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กรมทางหลวงใช้ในการทดสอบและออกแบบ) โดยใช้ก้อนตัวอย่างที่นำมาจากชั้นผิวทางของทางสาย 1023 ตอนต่อเขตเทศบาลแพร่ควบคุม-สามแยกบ้านปิ่น ระหว่างกม.20+900 – 23+000 โดยก้อนตัวอย่าง ได้เก็บและตำโดยใช้วิธีการออกแบบมาร์แชลล์ (Marshall) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40,50และ 60 องศาเซลเซียสในการทดสอบ.

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาข้อมูลและค้นคว้าในเรื่องของ Recycling Asphalt Concrete

1.5.2 ทบทวนและทำความเข้าใจในโครงงานเรื่อง Recycling Asphalt Concrete

1.5.3 จัดทำก้อนตัวอย่างและทำการทดสอบเพื่อหาค่าความ เสถียรภาพ (Stability) และ การไหล (Flow) ของผิวทาง Recycling Asphalt Concrete ของก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

1.5.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

1.5.5 ตรวจสอบ แก้ไขปรับปรุงให้สมบูรณ์ จัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนอรายงาน

**ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน**

| ที่ | กิจกรรม | เดือน | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. |
| 1 | ศึกษาข้อมูลและค้นคว้าในเรื่องของ Recycling Asphalt Concrete | ← | → | | | | | |
| 2 | ทบทวนและทำความเข้าใจในโครงงานเรื่อง Recycling Asphalt Concrete | | ← | → | | | | |
| 3 | จัดทำก้อนตัวอย่างและทำการทดสอบเพื่อหาค่าความ เสถียรภาพ (Stability) และการไหล (Flow) ของผิวทาง Recycling Asphalt Concrete ของก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ | | | ← | → | → | | |
| 4 | วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ | | | | | ← | → | |
| 5 | ตรวจสอบ แก้ไขปรับปรุงให้สมบูรณ์ จัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนอรายงาน | | | | | | ← | → |

## 1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1. ค่าวัสดุ , เอกสาร, อ้างอิง, รูปถ่าย 1,000 บาท
2. วัสดุอุปกรณ์ , เครื่องมือ 1,000 บาท
3. จัดทำรูปเล่มโครงงาน , เดินทาง 1,000 บาท

รวมค่าใช่จ่ายทั้งหมด 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

# บทที่ 2
# หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

## 2.1 หลักการและเหตุผล

แอสฟัลต์คอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling Asphalt concrete) คือการนำชั้นทางเดิมมาปรับปรุงคุณภาพแล้วนำไปใช้งานใหม่โดยให้มีคุณภาพและข้อกำหนด ในที่นี่อาจจะเพิ่มเติมวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงขนาดคละ และเพิ่มปริมาณ เช่น หิน ทราย Soil Aggregate ฯลฯ และวัสดุเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Stabilizing Agents) เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว แอสฟัลต์ และสารผสมเพิ่ม (Admixture) อื่นๆ ทั้งนี้ในการปรับปรุงอาจจะกระทำได้ ในที่ (In- place) หรือที่โรงงาน (Central Plant) หรือทั้งในที่หรือที่โรงงานด้วย ขึ้นอยู่กับการกำหนดไว้ในรูปแบบโดยจะต้องก่อสร้างให้ถูกต้องตามขั้นตอนและข้อกำหนด.

2.1.1 วัสดุที่ใช้ทำ Recycled Asphalt Concrete ประกอบด้วยวัสดุเก่า คือแอสฟัลต์คอนกรีตจากชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม โดยอาจใช้วัสดุใหม่ คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ หรือสารปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์และมวลรวม และหรือแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ ผสมเพิ่มด้วยก็ได้ตามความจำเป็น ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุเก่าที่นำมาใช้ โดยจะต้องดำเนินการทดลองและออกแบบส่วนผสมเฉพาะงานที่เหมาะสม

2.1.1.1 แอสฟัลต์คอนกรีตจากชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ได้จากการรื้อชั้นทางแอสฟัลต์ คอนกรีต โดยอาจใช้วิธีลาด (Ripping) แล้วนำมาย่อยจนได้ขนาดตามที่ต้องการ หรือวิธีตัดแบบเย็น (Cold milling) หรือวิธีตัดแบบร้อน (Hot milling) ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักร เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการ และลักษณะการใช้งาน วัสดุดังกล่าวที่นำมาใช้จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. ปราศจากมวลรวมของชั้นทางด้านล่างที่ไม่ใช่แอสฟัลต์คอนกรีตสิ่งสกปรกและวัสดุไม่พึงประสงค์อื่นๆ ปะปน

ข. มีขนาดค้างตะแกรงโตสุด สำหรับชุดตะแกรงของขนาดคละที่กำหนด ไม่มากกว่าร้อยละ 5 โดยมวล

ค. ขนาดคละของมวลรวมเดิมซึ่งเมื่อผสมกับมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่หรือผสมกับมวลรวมใหม่แล้ว จะต้องใช้ขนาดคละของมวลรวมทั้งหมดเป็นไปตามสูตร

ส่วนผสมเฉพาะงาน ที่ได้ออกแบบมาแล้ว และขนาดคละดังกล่าวจะต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.1 ด้วย

**ตารางที่ 2.1** ขนาดคละของมวลรวมภายหลังการผสม

| ขนาดที่ใช้เรียก (mm) (in) | | 9.5 (3/8) | 12.5 (1/2) | 19.0 (3/4) | 25.0 (1) |
|---|---|---|---|---|---|
| สำหรับชั้นทาง | | Wearing Course | Wearing Course | Binder Course | Base Course |
| ความหนา (mm) | | 25-30 | 40-70 | 40-80 | 70-100 |
| ขนาดตะแกรง (mm) | (in) | ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล | | | |
| 37.5 | 1 ½ in | | | | 100 |
| 25.0 | (1) | | | 100 | 90-100 |
| 19.0 | (3/4) | | 100 | 90-100 | - |
| 12.5 | (1/2) | 100 | 80-100 | - | 56-80 |
| 9.5 | (3/8) | 90-100 | - | 56-80 | - |
| 4.75 | (เบอร์ 4) | 55-85 | 44-74 | 35-65 | 29-5 |
| 2.36 | (เบอร์8) | 32-67 | 28-58 | 23-49 | 19-45 |
| 1.18 | (เบอร์16) | - | - | - | - |
| 0.600 | (เบอร์30) | - | - | - | - |
| 0.300 | (เบอร์50) | 7-23 | 5-21 | 5-19 | 5-17 |
| 0.150 | (เบอร์100) | - | - | - | - |
| 0.075 | (เบอร์200) | 2-10 | 2-10 | 2-8 | 1-7 |

หมายเหตุ 1. กรมทางหลวงอาจพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ แตกต่างจากตารางที่ 2.1 ก็ได้ ทั้งนี้ Recycled Asphalt Concrete ที่ได้ต้องมีคุณสมบัติและความแข็งแรงถูกต้องตามตารางที่ 3

2. ความหนาของตารางที่ 2.1 เป็นความหนาแนะนำเท่านั้น

2.1.1.2 มวลรวมและสารเพิ่ม มวลรวมผสมเพิ่มประกอบด้วยมวลหยาบ (Coarse Aggregate) และหรือมวลละเอียด (Fine Aggregate) กรณีที่มวลละเอียดมีส่วนละเอียดไม่พอ หรือต้องการปรับปรุงคุณภาพ และความแข็งแรงของ Recycled Asphalt Concrete อาจเพิ่มวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ด้วยก็ได้

2.1.1.2.1. มวลหยาบ หมายถึงส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) เป็นหินย่อย (Crushed Rock) หรือวัสดุอื่นใดที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้ ต้องเป็นวัสดุที่แข็งและคงทน (Hand and Durable) สะอาด ปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ใดๆ ที่อาจทำให้ Recycled Asphalt Concrete มีคุณภาพด้อยลง

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของมวลหยาบไว้เป็นอย่างอื่น มวลหยาบต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. เมื่อทดลองตามวิธีที่ ทล-ท.201/2515 "วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Course Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ความสึกหรอ ต้องไม่เกินร้อยละ40

ข. เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล-ท.213/2531 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟส จำนวน 5 รอบ ส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ต้องไม่เกินร้อยละ 9 มวลหยาบจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้ อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของกรมทางหลวง

ค.เมื่อทดลองตามวิธีการทดลอง AASHTO T182-84 "Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures" ผิวของมวลหยาบต้องมีแอสฟัลต์เคลือบไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

2.1.1.2.2 มวลละเอียด หมายถึงส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) เป็นหินฝุ่นหรือทรายที่สะอาดปราศจากสิ่งสกปรกหรือวัสดุอันไม่พึงประสงค์ใดๆ ปะปนอยู่ซึ่งอาจทำให้ Recycled Asphalt Concrete มีคุณภาพด้อยลง

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของมวลละเอียดไว้เป็นอย่างอื่น มวลละเอียดต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก. เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล-ท.203/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent" ต้องมีค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 50

ข. เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท213/2531 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟส จำนวน 5 รอบ ส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ต้องไม่เกินร้อยละ 9 มวลละเอียดจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้ อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของกรมทางหลวง

2.1.1.2.3 วัสดุผสมแทรก ใช้ผสมเพิ่มในกรณีเมื่อผสมมวลหยาบกับมวลละเอียดเป็นมวลรวมแล้วเป็นส่วนละเอียดในมวลรวมยังมีไม่พอ หรือใช้ผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพ Recycled Asphalt Concrete วัสดุผสมแทรกอาจเป็น Stone dust, Portland cement, Silica cement, Hydrated Lime หรือ วัสดุอื่นใดที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้

วัสดุผสมแทรกต้องแห้งไม่จับกันเป็นก้อน เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.205/2417 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ต้องมีขนาดคละตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก

| ขนาดตะแกรง<br>มิลลิเมตร | ปริมาณผ่านตะแกรง<br>ร้อยละโดยมวล |
|---|---|
| 0.600( เบอร์ 30) | 100 |
| 0.300(เบอร์ 50) | 75-100 |
| 0.075(เบอร์200) | 55-100 |

ในกรณีที่กรมทางหลวงเห็นว่าวัสดุที่มีขนาดคละแตกต่างไปจากตารางที่ 2.2 แต่เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผสมแทรกแล้ว จะทำให้ Recycled Asphalt Concrete มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนด ก็อาจจะอนุมัติให้ใช้วัสดุนั้นเป็นวัสดุผสมแทรกได้

2.1.1.3 แอสฟัลต์ ในกรณีที่ไม่ได้ระบุชนิดของแอสฟัลต์ไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 ตามมาตรฐานเลขที่ มอก.851 "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง"

2.1.1.4 สารปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ (Asphalt Recycling Agent) เป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์เหมาะสมที่จะใช้ปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซีเมนต์ในแอสฟัลต์คอนกรีตจากชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่เสื่อมคุณภาพ ให้กลับมีคุณภาพตามข้อกำหนดที่ต้องการ สารปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์จะต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนด ASTMD 4552-86 "Standard Practice for Classifying Hot Mix Recycling Agents"

การเก็บรักษาสารปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ ให้เก็บในถังเก็บชนิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถรักษาอุณหภูมิของสารปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ไว้ได้คงที่ตามที่กำหนดระหว่าง 38-163 องศาเซลเซียส (100-325 องศาฟาเรนไฮต์)

2.1.1.5 แอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ ในกรณีที่ต้องใช้แอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ผสมกับแอสฟัลต์คอนกรีตจากชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม แอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ที่จะนำมาใช้จะถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ และเมื่อผสมกับแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมแล้ว จะต้องมีขนาดคละของมวลรวมเป็นไปตามสูตรส่วนผสมเฉพาะงานที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ส่วนขนาดคละดังกล่าวจะต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.1 และคุณสมบัติอื่นๆเป็นไปตามตารางที่ 2.3

2.1.2 การใช้งาน

Recycled Asphalt Concrete นี้ ใช้สำหรับงานบำรุงผิวทางเดิม หรืองานบูรณะลาดยางให้สามารถใช้งานได้ต่อไป โดยใช้ปรับปรุงชั้นผิวทางเดิมให้เป็นชั้นผิวทางใหม่ หรือปรับปรุงเป็นชั้นทางอื่นใด

2.1.3 การออกแบบส่วนผสม Recycled Asphalt Concrete

2.1.3.1 ก่อนเริ่มงานไม่น้อยกว่า 30 วัน ผู้รับจ้างต้องเสนอเอกสารการออกแบบส่วนผสม Recycled Asphalt Concrete แก่นายช่างผู้ควบคุมงานเพื่อตรวจสอบ ผู้รับจ้างอาจจะร้องขอให้กรมทางหลวงเป็นผู้ออกแบบส่วนผสมให้ก็ได้ แต่ผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบผลความเสียหายใดๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งการปฏิบัติงานในสนามต้องสามารถดำเนินงานเป็นไปตามการออกแบบส่วนผสม Recycled Asphalt Concrete นั้นด้วย ค่าใช้จ่ายในการนี้ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบทั้งสิ้น

2.1.3.2 คุณภาพทั่วไปของวัสดุที่จะใช้ทำ Recycled Asphalt Concrete ให้เป็นไปตามข้อ 2.1.1

2.1.3.3 ปริมาณของแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ใช้ผสมทำชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ขึ้นอยู่กับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม และความเหมาะสมกับประเภทชั้นทาง

Recycled Asphalt Concrete ที่จะก่อสร้าง ซึ่งจะต้องเป็นไปตามผลการทดลองและออกแบบสูตรผสมเฉพาะงานที่ได้ทำไว้ล่วงหน้าแล้ว

2.1.3.4 การตรวจสอบสูตรส่วนผสม Recycled Asphalt Concrete โดยทดลองตามวิธี Marshall และจะต้องมีคุณภาพตามข้อกำหนดในตารางที่ 2.3

2.1.3.5 กรณีผู้รับจ้างออกแบบส่วนผสม กรมทางหลวงจะต้องเป็นผู้ตรวจสอบเอกสารการออกแบบส่วนผสม Recycled Asphalt Concrete ให้เพื่อใช้ควบคุมงานนั้นๆ

2.1.3.6 ในการผสม Recycled Asphalt Concrete ในสนาม มวลรวมขนาดหนึ่งขนาดใดหรือปริมาตรแอสฟัลต์ซีเมนต์ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 2.4 ถ้าคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่กำหนดนี้ จะถือว่า Recycled Asphalt Concrete นั้น คุณภาพไม่ถูกต้องตามที่กำหนด ผู้รับจ้างจะต้องปรับปรุงแก้ไข ค่าใช้จ่ายในการนี้ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบทั้งสิ้น

2.1.3.7 ผู้รับจ้างอาจขอเปลี่ยนสูตรส่วนผสม เฉพาะงานใหม่ได้ ถ้าวัสดุที่ใช้ผสม Recycled Asphalt Concrete เกิดการเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนสูตรส่วนผสมเฉพาะงานทุกครั้งต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

2.1.3.8 การทดลองออกแบบ และตรวจสอบการออกแบบสวนผสม Recycled Asphalt Concrete ทุกครั้งหรือทุกสัญญาจ้าง ผู้รับจ้างต้องชำระค่าธรรมเนียมตามอัตราที่กรมทางหลวงกำหนด

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดในการออกแบบ Recycling Asphalt Concrete

| ชั้นทาง | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| รายการ | Wearing Course ขนาด9.5 มม. | Wearing Course ขนาด 12.5 มม. | Binder Course | Base Course | Shoulder |
| Blows | 75 ครั้ง | 75 ครั้ง | 75 ครั้ง | 75 ครั้ง | 75 ครั้ง |
| Stability Min N (lb) | 6672 N (1500 lb) | 6672 N (1500 lb) | 6672 N (1500 lb) | 6672 N (1500 lb) | 6672 N (1500 lb) |
| Flow 0.25 mm. (0.01 in) | 8-16 (0.01 in) 2-14(mm) | 8-16 (0.01 in) 2-14(mm) | 8-16 (0.01 in) 2-14(mm) | 8-16 (0.01 in) 2-14(mm) | 8-16 (0.01 in) 2-14(mm) |
| Percen Air Voils | 1-5 | 3-5 | 2-6 | 3-6 | 4-5 |
| Percen Air Voils in Mineral Aggreate (VMA) Min | 15 | 14 | 13 | 12 | 14 |
| Stability/Flow Min N/0.25 mm (lb/0.01 in) | 556 (125) | 556 (125) | 556 (125) | 556 (125) | 556 (125) |
| Percent Strength | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |

<u>หมายเหตุ</u> การทดลองหาค่า Percent Strength Index ใช้วิธี Ontario Vacuum Immersion Marshall Test หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า การทดลองรายการนี้กรมทางหลวงจะพิจารณาตามความเหมาะสม

**ตารางที่ 2.4** เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

| ผ่านตะแกรงขนาด | % |
|---|---|
| 12.5 มม. (1/2 นิ้ว) และขนาดใหญ่กว่า | ±8 |
| 9.5 มม. (3/8 นิ้ว) และ 4.75 มม. (เบอร์ 4) | ±7 |
| 2.36 มม. (เบอร์ 8) | ±6 |
| 0.300 มม. (เบอร์ 50) | ±5 |
| 0.075 มม. (เบอร์ 200) | ±3 |
| ปริมาณแอสฟัลต์ | ±0.5 |

2.1.4 เครื่องจักรและมือที่ใช้ในการก่อสร้าง

2.1.4.1 เครื่องจักรแบบ Central Plant Recycling ประกอบด้วย

2.1.4.1.1 เครื่องจักรรื้อผิวทางเดิม อาจจะใช้แบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

ก. เครื่องจักรื้อผิวทางเดิมโดยใช้วิธีคราด (Ripping) แล้วนำไปย่อยด้วยเครื่องย่อย (Crusher) จนได้ขนาดตามที่ต้องการ

ข. เครื่องจักรตัดผิวทางแบบตัดผิวร้อน (Heater Planer) มีอุปกรณ์ให้ความร้อนผิวทางเดิมที่จะตัดแบบใช้น้ำมัน ก๊าซ หรือ แสงอินฟราเรด และอุปกรณ์ตัดผิว แบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

- แบบใช้มีดปาดเฉือน (Shearing or Scraping with a Blade)
- แบบใบตัด (Cutting Edges) ซึ่งหมุนรอบแกนดิ่ง
- แบบใช้เขี้ยว (Teeth) ติดรอบ Horizontal Rotating Drum

ค. เครื่องตัดผิวทางแบบตัดเย็บ (Cold Planer) ซึ่งสามารถตัดผิวทางเดิมได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนผิวทางเดิมที่จะตัด

2.1.4.1.2 Batch Plant ที่ออกแบบหรือปรับปรุงผสมวัสดุ Recycling โดยเฉพาะ

2.1.4.1.3 Drum-mix Plant ที่ออกแบบผสมวัสดุ Recycling โดยเฉพาะ

2.1.4.2 เครื่องจักรแบบ In-Place recycling ประกอบด้วย

2.1.4.2.1 เครื่อง Pre heater แบบ Gas-Fired หรือ Infra-Red Heater สำหรับให้ความร้อนผิวทางเดิมจนได้อุณหภูมิประมาณ 110 – 130 องศาเซลเซียส

2.1.4.2.2 เครื่อง Re mixer จะต้องสามารถทำงานได้ดังนี้

ก. ให้ความร้อนผิวทางเดิมต่อเนื่องจากที่ได้ดำเนินการตามข้อ 4.2.1 จนผิวทางเดิมมีอุณหภูมิประมาณ 140 – 170 องศาเซลเซียส

ข. รื้อผิวทางเดิมออกให้ความลึกตามที่ต้องการ

ค. รวบรวมและปรับระดับผิววัสดุผิวทางเดิมที่รื้อออกด้วยใบมีดปรับระดับ (Leveling Blade) แล้วส่งต่อไปยังส่วนกลางของเครื่อง Re mixer ด้วยระบบ Auger เข้าสู่ห้องผสมซึ่งเป็นแบบ Flow-Through-Shaft Mixer

ง. มีระบบ Auger เกลี่ยกระจายวัสดุที่ผสมเสร็จแล้ว และปูให้เรียบร้อยด้วย Vibrating and/or Tamping Screed สามารถปรับความกว้างได้ 3.00 - 4.50 ม.

2.1.4.2.3 โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ตามมาตรฐานที่ ทล-ม. 408/2532 "แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-mix Asphalt)"

2.1.4.3 เครื่องจักรบดทับและเครื่องมืออื่นๆตามมาตรฐานที่ ทล-ม. 408/2532 "แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-mix Asphalt)" เครื่องจักและเครื่องมือที่ใช้ทุกชนิดจะต้องมีสภาพใช้งานที่ดี โดยผ่านการตรวจสอบและตรวจปรับ และนายช่างผู้ควบคุมงานอนุญาตให้ใช้ได้ ในระหว่างการก่อสร้างผู้รับจ้างจะต้องบำรุงรักษาเครื่องจักรและเครื่องมือดังกล่าว ให้อยู่สภาพดีอยู่เสมอ

2.1.4.4 เครื่องมือทดลองและห้องปฏิบัติการ

2.1.4.4.1 ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาเครื่องมือการทดลองที่ได้มาตรฐานและมีสภาพดี เพื่อให้ตรวจสอบคุณภาพ Recycled Asphalt Concrete. ระหว่างการก่อสร้าง ดังรายการทดลองต่อไปนี้

(1) Grading analysis of aggregate and filler.

(2) Flakiness and Elongation Index of course aggregate.

(3) Sand Equivalent of aggregate.

(4) Bulk specific gravity of aggregate.

(5) Compacted density of mix (Marshall Density)

(6) Marshall Stability and Flow.

(7) Strength Index.

(8) Density of compacted asphalt concrete.

(9) Asphalt extraction.

(10) Asphalt Penetration.

2.1.4.4.2 ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาห้องปฏิบัติการทดลอง หรือห้องปฏิบัติการเคลื่อนที่ ที่ติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ Recycling Asphalt Concrete ระหว่างการก่อสร้าง

หมายเหตุ อัตราการผลิตตาม ทล.-ม. 408/2532 ให้เปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมของงาน Recycling

2.1.5 การก่อสร้าง

การเตรียมชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ก่อนก่อสร้างชั้นทาง Recycling Asphalt Concrete ผู้รับจ้างจะต้องทำความสะอาดผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม กำจัดวัสดุหลุดหลวม สิ่งสกปรกและวัสดุไม่พึงประสงค์อื่นๆ ซึ่งจะทำให้คุณภาพของ Recycling Asphalt Concrete ด้อยลงออกให้หมด

2.1.6 การก่อสร้าง

2.1.6.1 งานบูรณะ (Rehabilitation) เป็นงานที่ต้องรื้อชั้นใต้ผิวทางใดๆเพื่อการก่อสร้างใหม่

2.1.6.1.1 งานตัดโดยวิธี Rip ping ถ้าต้องการนำผิวทางเดิมมา Recycling ให้ใช้เครื่อง Ripper ขุดเอาผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยไม่ให้วัสดุชั้นทางติดขึ้นมาด้วยแล้วนำไป Stock Pile ไว้เมื่อได้ก่อสร้างชั้นทางอื่นๆจนชั้นทางพื้นทางและ prime Coat เรียบร้อยแล้วจึงนำเอาแอสฟัลต์คอนกรีตที่ Stock pile ไว้ไปทำ Recycled Asphalt Concrete ได้โดยใช้ central plant Mix ที่ได้ออกแบบหรือปรับปรุงสำหรับวัสดุผสมวัสดุ Recycling โดยเฉพาะส่วนวิธีการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532

2.1.6.1.2 การตัดผิวทางแบบเย็น การตัดผิวแบบเย็นนี้ต้องคัดส่วนที่ไม่เหมาะสมออก เพราะเครื่องตัดจะตัดผ่านเม็ดหินทำให้ Gradation ของหินเปลี่ยนแปลง เช่นมีปริมาณฝุ่นสูงและทำการ Recycled Asphalt Concrete นี้ต้องใช้ Central Plant Mix ที่ได้ออกแบบหรือปรับปรุงวัสดุ Recycling โดยเฉพาะส่วนวิธีการก่อสร้างผิวทางให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532

2.1.6.1.3 การตัดผิวทางแบบร้อน การตัดผิวทางแบบร้อนสามารถนำวัสดุที่ตัดออกผิวทางเดิมไปทำ Recycled Asphalt Concrete โดยใช้ central plant Mix ที่ได้ออกแบบหรือ

ปรับปรุงสำหรับผสมวัสดุ Recycling โดยเฉพาะ เพื่อไปใช้ในงานบูรณะแทนการ Rippingในข้อ 2.1.6.1.1 และแทนเครื่องตัดเย็นในข้อ 2.1.6.1.2 ได้

2.1.6.2 งานบำรุงทาง

ในกรณีที่วัสดุแอสฟัลต์ในผิวทางเดิม เสื่อมสภาพ ผิวทางเป็นคลื่น หรือไม่เรียบ มีผิวทางเยิ้มหรือต้องแก้ไขปรับปรุงโดยตัดออกมาผสมกับวัสดุใหม่ หรือ (Asphalt Recycling Agent) ด้วยก็ได้ทั้งนี้เพื่อปรังปรุงคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ให้ใช้งานได้แล้วปูวัสดุ Recycled Asphalt Concrete กลับไปดังเดิม

ในกรณีนี้ต้องใช้เครื่องตัดแบบร้อน โดยมี Pre heater และเครื่องตัดสามารถให้ความร้อนแก่ผิวทางด้วย Infra-red Heater จนมีอุณหภูมิ 140-170 องศาเซลเซียส เครื่องตัดเป็นแบบใช้เขี้ยว (Teeth) ติดรอบ (Horizontal Rotating Drum) วิธีนี้จะทำให้ไม่มีการตัดผ่านเม็ดหิน ไม่ทำให้เม็ดหินแตกวัสดุที่ได้ออกมามีลักษณะร่วนแบบ Hot-mix สำหรับเครื่องผสมและเครื่องปูเป็นแบบเคลื่อนที่ได้ (In-Place Recycling) ซึ่งสามารถผสมกับ Hot-Mix ใหม่ หรือ Asphalt Recycling Agent ด้วยก็ได้

2.1.6.3 การปูส่วนผสม Recycling Asphalt Concrete

2.1.6.3.1 การปูชุดเครื่องพร้อมปูแบบเคลื่อนที่ การก่อสร้างให้ดำเนินการตามคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องจักที่นำมาใช้งานนั้นโดยได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน วิธีการปูมี 2 วิธี

วิธีที่ 1 ปูแบบชั้นเดียว เมื่อใช้ขูดวัสดุเก่าลงในเครื่องผสม โดยจะเพิ่มส่วนผสมใหม่ (Hot-mix และ/หรือ Asphalt Recycling Agent) ให้ตรงตามสูตร ส่วนผสมเฉพาะงาน แล้วปูกลับบนผิวทางเดิมเป็นชั้นเดียว

วิธีที่ 2 ปูสองชั้นเมื่อได้ขูดวัสดุเก่าลงเครื่องผสมและอาจผสม Asphalt Recycling Concrete ด้วยก็ได้ ให้ปูส่วนผสม Recycling Asphalt Concrete นี้กลับลงบนผิวทางทันที และพร้อมกันนั้นให้ปูทับด้วย Asphalt Concrete ใหม่ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532

2.1.6.3.2 การปูด้วยเครื่องปู การปูส่วนผสม Recycling Asphalt Concrete ที่ผลิตจากโรงงานผสม ให้ดำเนินการตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 "แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-mix Asphalt)"

2.1.6.4 การเตรียมและผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่

การเตรียมและผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตใหม่ โดยโรงงานสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะนำมาผสมทำ Recycling Asphalt Concrete เป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 โดยอนุโลม

2.1.6.5 การบดทับชั้นทาง Recycling Asphalt Concrete

การบดทับชั้นทาง Recycling Asphalt Concrete ให้ดำเนินการบดทับตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 "แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-mix Asphalt)" โดยอนุโลม

2.1.7 การตรวจสอบชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete

การตรวจสอบชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วมีหลักเกณฑ์อย่างน้อยดังต่อไปนี้

2.1.7.1 ลักษณะผิว (Surface Texture)

ชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องได้ระดับความลาดตามแบบ มีลักษณะผิวและลักษณะการบดทับที่สม่ำเสมอ ไม่ปรากฏความเสียหาย เช่น Recycled Asphalt Concrete ที่ผิวหน้าหลุด (Full) รอยฉีก (Torn) ผิวหน้าหลวมหรือแยกตัว (Segregation) เป็นคลื่น (Ripple) หรือความเสียหายอื่นๆหากตรวจสอบแล้วปรากฏความเสียหายดังกล่าว ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้องเรียบร้อยตามที่นายช่างควบคุมงานเห็นสมควร

2.1.7.2 ความเรียบที่ผิว (Surface Tolerance)

เมื่อใช้ไม้บรรทัดวัดความเรียบยาว 3.00 m วางทาบบนผิวของชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ในแนวตั้งฉากและในแนวขนานกับเส้นแบ่งกึ่งกลางถนน ระดับผิวชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ภายใต้ไม้บรรทัดวัดความเรียบ จะแตกต่างจากระดับของไม้บรรทัดวัดความเรียบได้ไม่เกิน 6 mm และ 3 mm ตามลำดับ

2.1.7.3 ความแน่น (Density)

สำหรับชั้นผิวทาง ชั้นรองพื้นทาง ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 25 mm ค่าความหนาแน่นของชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ในสนามจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างที่บดอัดในห้องทดลอง

สำหรับชั้นพื้นทางและผิวไหล่ทาง Recycled Asphalt Concrete ค่าความหนาแน่นของชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ในสนามจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 97 และ 96 ของค่าความ

หนาแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างที่บดอัดในห้องทดลองที่ใช้เปรียบเทียบตามลำดับหากความแน่น (Density) แตกต่างไปจากที่ระบุไว้ข้างต้น ให้ถือปฏิบัติตามข้อกำหนดในสัญญา

**2.1.8 การอำนวยการและการควบคุมการจราจรระหว่างการก่อสร้าง**

ในระหว่างการก่อสร้างชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ผู้รับจ้างจะต้องจัดและควบคุมการจราจรไม่ให้ผ่านชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ที่ก่อสร้างใหม่ จนกว่าชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete จะเย็นตัวมากพอที่เปิดให้การจราจรผ่านแล้วจะไม่ทำให้เกิดร่องรอยบนชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete โดยจะต้องติดตั้งป้ายจราจรพร้อมอุปกรณ์ควบคุมการจราจรอื่นๆ ที่จำเป็นตามที่กรมทางหลวงกำหนด พร้อมจัดบุคลากรเพื่ออำนวยการจราจรให้ผ่านพื้นที่ก่อสร้างได้โดยสะดวกปลอดภัย และไม่ทำให้ชั้นทาง Recycled Asphalt Concrete ที่ก่อสร้างใหม่นั้นเกิดความเสียหาย ระยะเวลาในการเปิดและปิดการจราจรให้อยู่ในดุลพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน.

## 2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่นช่องอากาศช่องระหว่างอนุภาคมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์

**2.2.1 ความหนาแน่น (Density)**

ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง มวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากจะทำให้อายุการใช้งานได้นานและมีคุณภาพดี โดยทั่วไปการบดอัดโดยรถบดในงานจริงจะได้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ดังนั้น จึงได้เกิดค่าความหนาแน่นต่ำสุด ที่บดได้จากงานจริงให้เป็นค่าร้อยละของค่าความหนาแน่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดให้ใช้ไม่ต่ำกว่า 98% ของความหนาแน่นที่ได้จากหองปฏิบัติการ

**2.2.2 ช่องว่างอากาศ (Air Void)**

ช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ได้รับการอัดแล้ว จะต้องมีปริมาตรอากาศที่เพียงพอ เนื่องจากหลังเปิดให้บริการแอสฟัลต์คอนกรีต จะแน่นขึ้นกว่าเดิม ทำให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยลง ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศหลังก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ทะลักขึ้นมา บนผิวแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับ

แอสฟัลต์คอนกรีตที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนอีกด้วย ซึ่งสำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศร้อยละ 3 ถึง 5 ส่วนผสมทางชั้นล่างจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศร้อยละ 4 ถึง 7

**2.2.3 ช่องว่างระหว่างอนุภาคและมวลรวม (Void in Mineral Aggregates)**

ช่องว่างระหว่างอนุภาค (VMA) ของมวลรวมหมายถึง ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ทั้งนี้รวมถึงช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) สูงจะมีค่าความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) น้อยกว่า

**2.2.4 ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content)**

ปริมาณแอสฟัลต์ในแอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะใช้ต้องถูกต้องแม่นยำแน่นอน ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละ และคุณสมบัติในการดูดกลืนแอสฟัลต์

## 2.3 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนรวม

**2.3.1เสถียรภาพ (Stability)**

เสถียรภาพ (Stability) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักการจรจรโดยไม่เกิดร่องล้อ หรือเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเปลี่ยนไปจากเดิม

ความเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต ขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานอนุภาคของมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลที่มาจากคุณสมบัติของมวลรวม ซึ่งได้แก่ รูปร่างของอนุภาคของมวลรวม ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือขรุขระของผิวอนุภาคของมวลรวม ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลที่มาจากคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตในการยึดเกาะกับอนุภาคของมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทาน และแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคของมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคของมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักของยานพาหนะมากระทำ

โดยทั่วไปแล้วมวลรวมที่มีรูปร่างของอนุภาคเป็นเม็ดเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง แรงยึดเกาะจะมีค่ามากถ้าแอสฟัลต์มีความหนืดสูงถ้าแอสฟัลต์มีอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มมากขึ้นแต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึง

ค่าหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ไปเคลือบอนุภาคมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลง จึงทำให้เสถียรภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตลดลงด้วย

ในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบเสถียรภาพให้มีค่าสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ แต่ควรคำนึงไว้ว่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น ซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปูลงบนพื้นทาง หรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัวสูง

2.3.2 การไหล (Flow)

คือการเคลื่อนไหวทั้งหมด (Movement) หรือการเสียรูป (deformation) ในหน่วยของ 0.25mm (0.01") ที่เกิดขึ้นระหว่างไม่มีน้ำหนักบรรทุกกับเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกสูงสุดขณะทดสอบ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อถนนลาดยาง เพราะถ้ามีค่าการไหล (Flow) มากจะทำให้ถนนลาดยางที่ทำจากแอสฟัลต์คอนกรีตมีการชำรุดเสียหายได้ง่าย แต่ถ้ามีค่าน้อยเกิดไปจะทำให้ถนนลาดยางขาดความยืดหยุ่นก็จะส่งผลทำให้ถนนลาดยางชำรุดเสียหายได้ง่ายเช่นเดียวกัน

2.3.3. ความทนทาน (Durability)

ความทนทาน ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความต้านทานต่อความเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพส่วนใหญ่เกิดจากสภาพการใช้งาน และอุณหภูมิของอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยเล่มนี้ได้ยกหัวข้อปัจจัยด้านอุณหภูมิของอากาศ มาเป็นตัวที่ทำการศึกษาและวิจัย ปัจจัยที่กล่าวมานี้จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอันเนื่องจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่น และกระบวนการออกซิเดชั่น

2.3.4. ความต้านการซึมของน้ำและอากาศ (Impermeability)

ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จะส่งผลโดยตรงต่อความทนทานของแอสฟัลต์คอนกรีต

2.3.5. ความสามารถในการปูหรือบดอัด (Workability)

ความสามารถในการปูหรืออัด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของแอสฟัลต์คอนกรีต เพราะแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีนั้น จะต้องสามารถทำการปูและบดอัดได้ง่าย ไม่หนืดหรืออ่อนจนเกินไป สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการปูและบดอัดได้ยาก สามารถแก้ปัญหาโดยการออกแบบใหม่ หรือทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของมวลรวม หรือเปลี่ยนขนาดของมวลรวม

**2.3.6. ความสามารถในการยืดหยุ่น (Flexibility)**

ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว ได้โดยที่แอสฟัลต์คอนกรีตไม่แตก เป็นสิ่งที่ต้องการอย่างมากในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัวและทรุดตัวต่ำลงเมื่อมีการรับน้ำหนักจากด้านบน และจะเกิดการโป่งนูนเนื่องจากชั้นดินที่อยู่ข้างล่างเกิดขยายตัว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้ดีมักจะมีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้น้อยกว่า

**2.3.7. ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance)**

ความต้านทานต่อการล้า คือ ความสามารถในการดัดโค้งแบบซ้ำๆ (Repeated Bending) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตกอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักกระทำ ปริมาตรของช่องว่างอากาศที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแอสฟัลต์ และความหนืดของแอสฟัลต์ จะมีผลต่อการล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างของอากาศไม่ว่าจะเป็นผลจากการออกแบบ หรือจากการบดอัดที่ไม่แน่นดีพอ ก็จะส่งผลกระทบทำให้ความสามารถในการต้านทานความล้าลดลงด้วย

**2.3.8. ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance)**

ความต้านทานต่อการลื่นไถล เป็นคุณสมบัติอีกประการหนึ่งของแอสฟัลต์คอนกรีตที่สำคัญ เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณอุบัติเหตุ

## 2.4 การออกแบบ Recycling Asphalt Concrete

การออกแบบRecycling asphalt Concrete จะใช้วิธีเดียวกับกับการออกแบบวัสดุใหม่ คือ วิธี Marshall ในการออกแบบ

**การออกแบบวิธี Marshall มีดังนี้**

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อปริมาณแอสฟัลต์ค่าหนึ่ง ๆ ดังนั้นในการศึกษาการออกแบบส่วนผสมร้อนโดยทั่วไป ซึ่งใช้ปริมาณแอสฟัลต์แตกต่างกัน 6 ค่า จะต้องการตัวอย่างทดสอบ18 ตัวอย่าง โดยที่แต่ละตัวอย่างจะต้องใช้มวลรวม (Aggregate) ประมาณ 1.2 กิโลกรัม แสดงว่าต้องการปริมาณมวลรวมไม่น้อยกว่า 23 กิโลกรัม และต้องใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์อย่างน้อย 4 ลิตร ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. เตรียมมวลรวม ทำมวลรวมให้แห้งเพื่อให้มีน้ำหนักคงที่ โดยอบที่อุณหภูมิ 105 ถึง110 °C แล้วแยกมวลรวมออกเป็นขนาดต่าง ๆ โดยร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ตามสัดส่วนขนาด (Size Fraction) ที่ต้องการ ทั้งนี้ Size Fraction จะแตกต่างกันขึ้นอยู่วัตถุประสงค์ในการใช้งานของผิวจราจร เช่น ใช้เป็นผิวจราจรของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย ปานกลาง หรือมาก (light, medium,

or heavy traffic) เป็นต้น และมีปริมาณเพียงพอทำให้แต่ละตัวอย่างมีความสูง 63.5 ± 1.3 มิลลิเมตร หลังจากบดอัดแล้ว (ประมาณ 1,200 กรัมต่อหนึ่งตัวอย่าง)

2. เลือกยางที่ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนควรใช้ยางชนิด Penetration เกรด 60/70 เช่นเดียวกับสัดส่วนขนาดของมวลรวม ปริมาณยางที่ใช้ในการทดสอบก็จะแตกต่างกันตามจุดประสงค์ในการนำไปใช้งาน (ตัวอย่างเช่น สำหรับการทดสอบเพื่อนำไปใช้ในทางหลวงดังตัวอย่างในข้อ (1) จะใช้ปริมาณยางระหว่างร้อยละ 4 – 6 (โดยแต่ละคราวเพิ่มร้อยละ0.5) หลังจากนั้นนำยางที่จะใช้ไปให้ความร้อน ณ อุณหภูมิที่ทำให้ยางมีความหนืด 170 ± 20 ตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที (หรือ Centi-stoke, cSt )

3. นำมวลรวมไปอบในเตาอบ ณ อุณหภูมิที่สูงกว่าของอุณหภูมิที่ให้ความร้อนแก่ยาง (ในข้อ 2) ไม่น้อยกว่า 28 °C

4. เทมวลรวมลงในภาชนะผสม จากนั้นก่อมวลรวมส่วนผสมให้พูนสูงและเป็นเบ้าตรงกลาง เทยางแอสฟัลต์ร้อนที่ชั่งน้ำหนักเตรียมพร้อมแล้ว ลงในเบ้ามวลรวม แล้วผสมแอสฟัลต์กับมวลรวมอย่างรวดเร็วจนกระทั่งแอสฟัลต์เคลือบผิวมวลรวมอย่างทั่วถึง อุณหภูมิระหว่างผสมจะต้องอยู่ในช่วงของอุณหภูมิที่ได้กำหนดในข้อ (2)

5. เตรียมแบบหล่อ และค้อนบดอัด แบบหล่อตัวอย่างทดสอบและผิวของค้อนบดอัดจะต้องสะอาดนำไปทำให้ร้อนโดยการอบหรือวางบนแผ่นร้อน (Hot Plate) จนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 93 °C ถึง149 °C อนึ่ง ก่อนเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ ให้วางกระดาษซุบไขที่ตัดได้ขนาดลงที่ก้นแบบหล่อ อาจใช้กระดาษกรองแทน

6. เทส่วนผสมทั้งหมดลงในแบบหล่อ ใช้พาย หรือเกรียงร้อน ขุดแซะส่วนผสมอย่างรวดเร็ว 15 ครั้งรอบ ๆ บริเวณขอบของแบบหล่อ และตรงกลางภายในอีก 10 ครั้ง นำปลอกต่อด้านบนออก ปรับแต่งผิวให้มีลักษณะโค้งมนเล็กน้อย

7. สวมปลอกต่อเข้ากับแบบอย่างเดิม จากนั้นนำแบบหล่อไปวางลงบนแท่นรองการบดอัด ทำการบดอัดด้วยค้อนบดอัดที่มีน้ำหนัก 4,536 กรัม ระยะตกกระทบ 457.2 มิลลิเมตร จำนวนครั้งที่บดอัดขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรของผิวทาง ( 35 , 50 , หรือ 75 ครั้ง สำหรับปริมาณจราจรน้อย ปานกลางหรือมาก ตามลำดับ) หลังจากบดอัดได้ครบตามจำนวนที่ต้องการแล้ว ให้ถอดฐานรองและปลอกต่อออก จากนั้นประกอบแบบหล่อเข้าไปใหม่โดยกลับแบบเอาด้านล่างขึ้นมา แล้วบดอัดแท่งตัวอย่างด้วยจำนวนครั้งที่เท่ากัน (บนด้านที่กลับขึ้นมา) จากนั้นถอดฐานรองและปลอกต่อออกแล้วปล่อยตัวอย่างทดสอบให้เย็นลงในอากาศจนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนรูปร่าง โดยอาจใช้พัดลมเป่าให้อุณหภูมิลดลงเร็วขึ้น

8. เอาตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่ออย่างระมัดระวังโดยใช้เครื่องดันก้อนตัวอย่าง แล้วนำไปวางบนผิวที่เรียบและได้ระดับ ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นที่อุณหภูมิห้อง

**<u>หมายเหตุ</u>** ในการออกแบบครั้งนี้ใช้การบดอัดที่ 75 ครั้ง

**ตารางที่ 2.5** แสดงส่วนผสมของ Recycling Asphalt Concrete

| Type | Combination | | | | Grad Grade Combine From job Mix Tolerance | | | | | | | | | | | % A/C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B1 | B2 | B3 | B4 | 11/2" | 1" | ¾" | ½" | 3/8" | #4 | #48 | #16 | #30 | #50 | #100 | #200 | |
| Wearing Course | 44 | 28 | 16 | 12 | - | - | 100 | 88.1 | 72.6 | 45.3 | 28.9 | 18.2 | 11.5 | 7.5 | 5.6 | 4.5 | 5.0 |
| PBM | | | | | | | | | | | | | | | | | 4.7-5.3 |

จากตาราง2.5 อัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต ชั้น Wearing Course **ของผิวทาง ของ**

**ทาง**สาย 1023 ตอนต่อเขตเทศบาลแพร่ควบคุม-สามแยกบ้านปิ่น ระหว่างกม.20+900 – 23+000

**จะมี**อัตราส่วนผสมดังนี้

B1 หินฝุ่น = 44 %

B2 หิน 3/8" = 28 %

B3 หิน ½" = 16 %

B4 หิน 1" = 12 %

โดยที่จะใช้ยาง PMB ทั้งหมด 5± 0.3 โดยน้ำหนักมวลรวม

ตารางที่ 2.6 ค่าปรับแก้ Stability จากความหนาของวัสดุในการทดสอบ

| Volume of specimen ($cm^3$) | Approximate thickness of specimen (mm) | Correlation ratio[1] |
|---|---|---|
| 200-213 | 25.4 | 5.56 |
| 214-225 | 27.0 | 5.00 |
| 226-237 | 28.6 | 4.55 |
| 238-250 | 30.2 | 4.17 |
| 251-264 | 31.8 | 3.85 |
| 265-276 | 33.3 | 3.57 |
| 277-289 | 34.9 | 3.33 |
| 290-301 | 36.5 | 3.03 |
| 302-316 | 38.1 | 2.78 |
| 317-328 | 39.7 | 2.50 |
| 329-340 | 41.3 | 2.27 |
| 341-353 | 42.9 | 2.08 |
| 354-367 | 44.4 | 1.92 |
| 368-379 | 46.0 | 1.79 |
| 380-392 | 47.6 | 1.67 |
| 393-405 | 49.2 | 1.56 |
| 406-420 | 50.8 | 1.47 |
| 421-431 | 52.4 | 1.39 |
| 432-443 | 54.0 | 1.32 |
| 444-456 | 55.6 | 1.25 |
| 457-470 | 57.2 | 1.19 |
| 471-482 | 58.7 | 1.14 |
| 483-495 | 60.3 | 1.09 |
| 496-508 | 61.9 | 1.04 |
| 509-522 | 63.5 | 1.00 |
| 523-535 | 65.1 | 0.96 |
| 536-546 | 66.7 | 0.93 |
| 547-559 | 68.3 | 0.89 |
| 560-573 | 69.8 | 0.86 |
| 574-585 | 71.4 | 0.83 |
| 586-598 | 73.0 | 0.81 |
| 599-610 | 74.6 | 0.78 |
| 611-625 | 76.2 | 0.76 |

หมายเหตุ [1] นำค่าเสถียรภาพที่วัดได้มาคูณด้วยค่า Correlation Ratio จะได้เป็นค่าเสถียรภาพที่เทียบเท่าค่าที่วัดได้จากตัวอย่างความสูงมาตรฐาน (63.5 มิลลิเมตร)

# บทที่ 3
# วิธีการทดลอง

**3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์**

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ แสดงในรูปที่ 1 มีรายละเอียด ดังนี้

**3.1.1** เครื่องมือทดสอบของมาร์แชลล์ (Marshall testing machine) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบการอัด (Compression test) โดยการถ่ายแรงลงไปสู่ตัวอย่างโดยผ่านทางหัวทดสอบรูปครึ่งวงกลม (Semicirculartesting heads) ด้วยอัตราการกด หรืออัตราเคลื่อนที่ (Rate of strain) คงที่ 50.8 มิลลิเมตร ( 2นิ้ว) ต่อนาที หัวทดสอบเสถียรภาพของมาร์แชลล์ (Marshall stability testing head) นี้จะติดตั้งประกอบกับ Calibrated proving ring สำหรับตรวจวัดแรงกระทำ ขณะเดียวกันอุปกรณ์วัดค่าการไหลของมาร์แชลล์ (Marshall flow meter) จะหาหน่วยการไหลขณะทดสอบจนกระทั่งภาวะที่ค่าแรงสูงสุดบางครั้ง สามารถใช้ Universal testing machine ที่ติดตั้งเครื่องมืออ่านค่าแรงกระทำและวัดหน่วยการไหลแทนเครื่องมือทดสอบของมาร์แชลล์ได้

**3.1.2** Flow meter ใช้หาค่าการไหลของตัวอย่าง อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร และ 0.01 มิลลิเมตร

**3.1.3** เครื่องดันก้อนตัวอย่าง (Marshall Sample Ejector) ใช้สำหรับดันก้อนตัวอย่างที่บดอัดแล้วออกจากแบบหล่อ

**3.1.4** ถาดโลหะก้นแบน สำหรับใส่มวลรวมร้อน

**3.1.5** ถาดโลหะก้นกลม มีความจุประมาณ 4 ลิตร ใช้สำหรับผสมแอสฟัลต์กับมวลรวม

**3.1.6** เตาอบและแผ่นร้อน (Hot Plate) ใช้ในการให้ความร้อนแก่มวลรวม แอสฟัลต์ หรืออื่น ๆ

**3.1.7** ที่ตัก (Scoop) สำหรับตักมวลรวมใส่แบบ

**3.1.8** ภาชนะบรรจุแอสฟัลต์เพื่อนำไปอบ

**3.1.9** เทอร์โมมิเตอร์ ที่มีก้านเป็นโลหะ วัดได้ตั้งแต่ 10 °C ( 50 °F ) จนถึง 232 °C ( 450 °F ) สำหรับหาอุณหภูมิของมวลรวม แอสฟัลต์และส่วนผสม

**3.1.10** เครื่องชั่งน้ำหนัก วัดได้ถึง 5 กิโลกรัม ละเอียดถึง 1 กรัม ใช้ชั่งน้ำหนักของมวลรวมกับแอสฟัลต์

**3.1.11** เครื่องชั่งน้ำหนัก วัดได้ถึง 2 กิโลกรัม ละเอียดถึง 0.1 กรัม ใช้ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการบดอัดแล้ว

**3.1.12** ช้อนผสม หรือเกรียงโลหะ

**3.1.13** พายโลหะ (Spatula)

**3.1.14** เครื่องผสม (Mechanical mixer) ความจุไม่ต่ำกว่า 4 ลิตร ประกอบกับภาชนะกลมสำหรับผสม และพายสำหรับกวนอย่างละ 2 อัน Marshall - 50

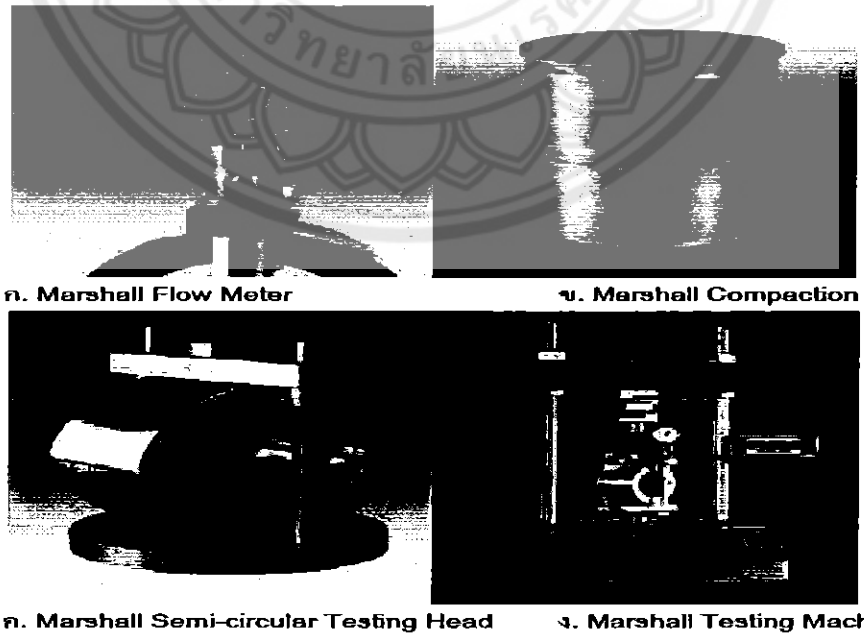
**3.1.15** อ่างควบคุมอุณหภูมิน้ำ ประกอบด้วยแผ่นนำความร้อนและอ่างสำหรับใส่น้ำ ใช้ในการให้ความร้อนแก่ค้อนบดอัดและแบบหล่อตัวอย่าง

**3.1.16** แท่นรองสำหรับบดอัด (Compaction pedestal)

**3.1.17** แบบหล่อสำหรับบดอัดขึ้นรูป (Compaction Mold) ประกอบด้วยแผ่นฐานรอง (Base Plate) แบบหล่อ (Mold) และปลอกต่อ (Collar Extension) โดยแบบหล่อ จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และสูงประมาณ 75 มิลลิเมตร (3 นิ้ว)

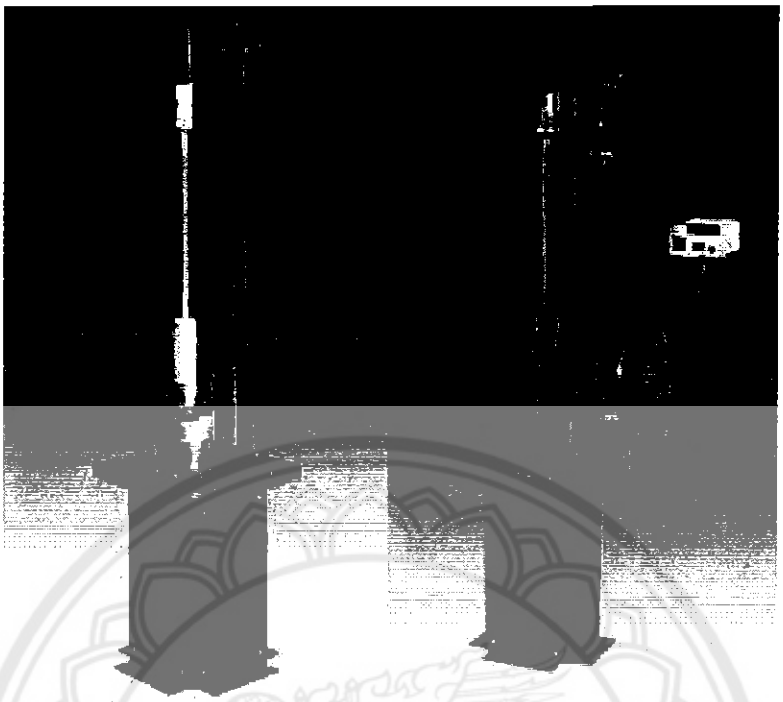
**3.1.18** ค้อนบดอัด (Compaction Hammer) มีตุ้มน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม (10 ปอนด์) โดยมีระยะตกของตุ้มน้ำหนัก 457 มิลลิเมตร ( 18 นิ้ว)

**3.1.19.** ถุงมือหนังสำหรับหยิบจับเครื่องมือที่อุณหภูมิสูง และถุงมือยางสำหรับหยิบตัวอย่างทดสอบจากอ่างน้ำร้อน




**รูปที่ 3.1** ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Stability และ Flow

15516028
วร.
ฝ 8057
2553



จ. Marshall Compaction Hammer ฉ. Marshall Mechanical Compaction Set

**รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Marshall**

## 3.2 การเตรียมก้อนตัวอย่าง

3.2.1 เตรียมมวลรวม ทำมวลรวมให้แห้งเพื่อให้มีน้ำหนักคงที่ โดยอยู่ที่อุณหภูมิ 105 ถึง110 °C แล้วแยกมวลรวมออกเป็นขนาดต่าง ๆ โดยร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ตามสัดส่วนขนาด (Size Fraction) ที่ต้องการ ทั้งนี้ Size Fraction จะแตกต่างกันขึ้นอยู่วัตถุประสงค์ในการใช้งานของผิวจราจร เช่น ใช้เป็นผิวจราจรของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย ปานกลาง หรือมาก (light, medium, or heavy traffic) เป็นต้น และมีปริมาณเพียงพอทำให้แต่ละตัวอย่างมีความสูง 63.5 ± 1.3 มิลลิเมตร หลังจากบดอัดแล้ว (ประมาณ 1,200 กรัมต่อหนึ่งตัวอย่าง)

3.2.2 เลือกยางที่ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนควรใช้ยางชนิด Penetration เกรด 60/ 70 เช่นเดียวกับสัดส่วนขนาดของมวลรวม ปริมาณยางที่ใช้ในการทดสอบก็จะแตกต่างกันตามจุดประสงค์ในการนำไปใช้งานหลังจากนั้นนำยางที่จะใช้ไปให้ความร้อน ณ อุณหภูมิที่ทำให้ยางมีความหนืด 170 ± 20 ตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที (หรือ Centi-stoke, cSt) ในที่นี้ใช้เปอร์เซ็นต์ยางที่ 5 ± 0.3 เปอร์เซ็นต์ยาง

3.2.3 นำมวลรวมไปอบในเตาอบ ณ อุณหภูมิที่สูงกว่าของอุณหภูมิที่ให้ความร้อนแก่ยาง (ในข้อ 2) ไม่น้อยกว่า 28 °C

3.2.4 เทมวลรวมลงในภาชนะผสม จากนั้นก่อมวลรวมส่วนผสมให้พูนสูงและเป็นเบ้าตรงกลาง เทยางแอสฟัลต์ร้อนที่ชั่งน้ำหนักเตรียมพร้อมแล้ว ลงในเบ้ามวลรวม แล้วผสมแอสฟัลต์กับมวลรวมอย่างรวดเร็วจนกระทั่งแอสฟัลต์เคลือบผิวมวลรวมอย่างทั่วถึง อุณหภูมิระหว่างผสมจะต้องอยู่ในช่วงของอุณหภูมิที่กำหนดในข้อ (2)

3.2.5 เตรียมแบบหล่อ และค้อนบดอัด แบบหล่อตัวอย่างทดสอบและผิวของค้อนบดอัดจะต้องสะอาดนำไปทำให้ร้อนโดยการอบหรือวางบนแผ่นร้อน (Hot Plate) จนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 93 °C ถึง 149 °C อนึ่ง ก่อนเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ ให้วางกระดาษซุบไขที่ตัดได้ขนาดลงที่ก้นแบบหล่อ อาจใช้กระดาษกรองแทนได้

3.2.6.เทส่วนผสมทั้งหมดลงในแบบหล่อ ใช้พาย หรือเกรียงร้อน ขุดแซะส่วนผสมอย่างรวดเร็ว 15 ครั้ง รอบ ๆ บริเวณขอบของแบบหล่อ และตรงกลางภายในอีก 10 ครั้ง นำปลอกต่อด้านบนออก ปรับแต่งผิวให้มีลักษณะโค้งมนเล็กน้อย

3.2.7 สวมปลอกต่อเข้ากับแบบอย่างเดิม จากนั้นนำแบบหล่อไปวางลงบนแท่นรองการบดอัด ทำการบดอัดด้วยค้อนบดอัดที่มีน้ำหนัก 4,536 กรัม ระยะตกกระทบ 457.2 มิลลิเมตร จำนวนครั้งที่

บดอัดขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรของผิวทาง (35, 50, หรือ 75 ครั้ง สำหรับปริมาณจราจรน้อย ปานกลางหรือมาก ตามลำดับ)

(*** ในที่นี้ใช้การบดอัด 75 ครั้ง) หลังจากบดอัดได้ครบตามจำนวนที่ต้องการแล้ว ให้ถอดฐานรองและปลอกต่อออก จากนั้นประกอบแบบหล่อเข้าไปใหม่โดยกลับแบบเอาด้านล่างขึ้นมา แล้วบดอัดแท่งตัวอย่างด้วยจำนวนครั้งที่เท่ากัน (บนด้านที่กลับขึ้นมา) จากนั้นถอดฐานรองและปลอกต่อออก แล้วปล่อยตัวอย่างทดสอบให้เย็นลงในอากาศจนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนรูปร่าง โดยอาจใช้พัดลมเป่าให้อุณหภูมิลดลงเร็วขึ้น

3.2.8 เอาตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่ออย่างระมัดระวังโดยใช้เครื่องดันก้อนตัวอย่าง แล้วนำไปวางบนผิวที่เรียบและได้ระดับ ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นที่อุณหภูมิห้อง

**3.3 วิธีการทดสอบ**

การทดสอบความเสถียรภาพและการทดสอบการไหลได้ใช้มาตรฐานการทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์

3.3.1 ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเสถียรภาพและการไหลให้อ่านค่าศูนย์ โดยสอดโลหะทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) เข้าไปในหัวทดสอบ นำอุปกรณ์วัดค่าการไหลติดตั้งเหนือ Guide rod แล้วจึงปรับให้อ่านค่าเป็นศูนย์

3.3.2 แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 30 ± 1 °C ,40 ± 1 °C, 50 ± 1 °C และ 60 ± 1 °C เป็นเวลา 30 - 40 นาที ก่อนนำตัวอย่างไปทดสอบ

3.3.3 ทำความสะอาดผิวด้านในของหัวทดสอบให้ทั่ว ควรรักษาอุณหภูมิของหัวทดสอบให้อยู่ระหว่าง 21.1 - 37.8 °C อาจใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ หยอดน้ำมันหล่อลื่นทาง Guide rod ให้น้ำมันไหลอย่างเป็นอิสระเป็นฟิล์มบาง ๆ หากใช้ Proving ring ในการวัดแรงให้ตรวจสอบว่าเข็มชี้ที่หน้าปัดนิ่ง และอ่านค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีแรงกระทำ (กรณีเครื่องมือทดสอบแสดงค่าเป็นตัวเลข ให้ปรับค่าเริ่มต้นให้อ่านค่าได้ศูนย์)

3.3.4 เมื่อเครื่องมือพร้อม ให้นำตัวอย่างทดสอบขึ้นจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ เช็ดผิวให้แห้งอย่างระมัดระวัง วางตัวอย่างทดสอบในหัวทดสอบอันล่าง (Lower Testing Head) จากนั้น เลื่อนหัวทดสอบอันบนลงมาประกอบกันให้สมบูรณ์เป็นชุดเครื่องมือที่ให้แรงกระทำพร้อมกับติดตั้งเครื่องวัดค่าการไหลบนก้านนำเหนือตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้

3.3.5 ให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบโดยควบคุมอัตราการยุบตัวของตัวอย่างคงที่เท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร ( 2 นิ้ว) ต่อนาที จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ ค่าแรงสูงสุด (นิวตัน หรือปอนด์) ที่ทำให้ตัวอย่างวิบัติที่อุณหภูมิ 30 °C,40 °C,50 °C และ60 °C จะเป็นค่าเสถียรภาพของมาร์แชลล์ ในระหว่างทดสอบเสถียรภาพ จะต้องยึดอุปกรณ์วัดค่าการไหลให้มั่นคงในตำแหน่งเหนือ Guide rod และยกออกเมื่อแรงเริ่มลดลง ให้อ่านค่าของเครื่องวัด Flow จาก Dial Gauge และบันทึกค่า ค่าที่อ่านได้นี้เป็น ค่าการไหล (Flow Rate) สำหรับตัวอย่างทดสอบ โดยหนึ่งหน่วยของการไหลเป็นค่าการยุบตัว 0.254 มิลลิเมตร( 1/100 นิ้ว) ตัวอย่างเช่น หากตัวอย่างยุบตัว 3 มิลลิเมตร หรือ 0.12 นิ้ว ค่าการไหลเท่ากับ12 เป็นต้น

3.3.6 การอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่กดจาก Proving ring เป็นค่าที่อ่านได้ (measured) ซึ่งต้องแก้ไข (adjust) สำหรับตัวอย่างมาตรฐานที่หนา 6.35 เซนติเมตร (2.5นิ้ว) ตามตารางปรับแก้

3.3.7 ทั้งการทดสอบเสถียรภาพ และทดสอบการไหลจะต้องทำให้เสร็จสิ้นภายใน 30 วินาที นับตั้งแต่เริ่มนำตัวอย่างทดสอบออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

หมายเหตุ แช่ก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ 30, 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ใช้งานจริง

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

การทดสอบเพื่อหาค่าความเสถียรภาพโดยวิธี มาร์แชลล์ เป็นการทดสอบที่จำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงกับถนนแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นการจำลองเหตุการณ์ที่มียานพาหนะวิ่งผ่านถนนหรือมีน้ำหนักบรรทุกมากระทำต่อถนนแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งในขณะนั้นถนนแอสฟัลต์คอนกรีตก็อยู่ในสภาวะที่น้ำท่วมขังอยู่ และมีอุณหภูมิ อยู่ในช่วง 30, 40, 50, และ60 °C (ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้งานจริงตามที่มาตรฐานกำหนด) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดการชำรุดเสียหายได้ง่าย เช่น ผิวถนนแตกลายหนังจระเข้ , ผิวทางแตกใกล้ขอบถนน และเป็นหลุมเป็นบ่อ เป็นต้น.

การทดสอบด้วยวิธี มาร์แชลล์ (Marshall) โดยใช้เครื่อง Proving Ring โดยสังเกตหาค่าเสถียรภาพ ( Stability ) และการไหล (Flow) ซึ่งได้ค่าความเสถียรภาพ ( Stability ) และการไหล (Flow) ของก้อนตัวอย่าง ทั้งหมด 12 ก้อนตัวอย่าง พบว่าก้อนตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีขนาดคลาดเคลื่อนจากขนาดมาตรฐานที่ความหนา 6.35 เซนติเมตร(2.5นิ้ว) จึงต้องมีการปรับแก้ค่าความเสถียรภาพ (Stability) ใหม่ ตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ดังนั้นการออกแบบด้วยวิธี มาร์แชลล์ จึงได้กำหนดปรับแก้ค่าความเสถียรภาพไว้ตาม ตารางที่ 2.6ในบทที่ 2 ดังนั้นค่าความเสถียรภาพที่ได้จากการปรับแก้จะได้จากค่าความเสถียรภาพที่ได้จากการวัดมาคูณกับค่าปรับแก้ตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ เพื่อให้ได้เป็นค่าเสถียรภาพที่เทียบเท่าค่าที่วัดได้จากก้อนตัวอย่างความหนามาตรฐาน (63.5 มิลลิเมตร)

ในการทดสอบนี้ได้วัดค่าความหนาของก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนแล้วได้ค่าปรับแก้ของก้อนตัวอย่างที่ความหนาต่างๆตามตารางดังต่อไปนี้

## 4.1 ค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพ (Stability) ที่ความหนาต่างๆ

ตารางแสดงค่าปรับแก้ของก้อนตัวอย่างที่ความหนาต่างๆในแต่ละอุณหภูมิดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพ ที่ความหนาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 30 °C**

| จำนวนก้อนตัวอย่าง | ความหนา ( mm ) | ค่าปรับแก้ |
|---|---|---|
| 1 | 64.443 | 0.9820 |
| 2 | 63.333 | 0.9983 |
| 3 | 63.200 | 1.0325 |

**ตารางที่ 4.2** ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพ ที่ความหนาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 °C

| จำนวนก้อนตัวอย่าง | ความหนา (mm) | ค่าปรับแก้ |
|---|---|---|
| 1 | 64.500 | 0.9833 |
| 2 | 64.467 | 0.9800 |
| 3 | 64.667 | 0.9833 |

**ตารางที่ 4.3** ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพ ที่ความหนาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 °C

| จำนวนก้อนตัวอย่าง | ความหนา (mm) | ค่าปรับแก้ |
|---|---|---|
| 1 | 64.800 | 0.97833 |
| 2 | 64.700 | 0.98000 |
| 3 | 64.833 | 0.97833 |

**ตารางที่ 4.4** ตารางแสดงค่าปรับแก้ของความเสถียรภาพ ที่ความหนาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 °C

| จำนวนก้อนตัวอย่าง | ความหนา (mm) | ค่าปรับแก้ |
|---|---|---|
| 1 | 64.133 | 0.9900 |
| 2 | 64.367 | 0.9850 |
| 3 | 64.400 | 0.9850 |

## 4.2 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability)

**ตารางที่ 4.5** ค่าความเสถียรภาพ (Stability) ที่ได้จากการวัด

| อุณหภูมิ (°C ) | ความเสถียรภาพ , Stability (ปอนด์) | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | ก้อนตัวอย่างที่ 1 | ก้อนตัวอย่างที่ 2 | ก้อนตัวอย่างที่ 3 | |
| 30 | 3850 | 3800 | 3750 | 3800.0 |
| 40 | 3400 | 3360 | 3600 | 3453.3 |
| 50 | 2850 | 2950 | 2800 | 2866.7 |
| 60 | 2180 | 2250 | 2250 | 2226.7 |

**ตารางที่ 4.6** ผลการทดสอบที่ได้จากการวัดและการปรับแก้ค่า Stability ณ อุณหภูมิต่างๆตามที่มาตรฐานได้กำหนด

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ก้อนตัวอย่าง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 30 | 3850x0.9820 =3803.800 | 3800x0.9983 =3793.654 | 3750x1.0325 =3871.875 | 3823.110 |
| 40 | 3400x0.9833 =3343.220 | 3360x0.9800 =3292.800 | 3600x0.9833 =3539.880 | 3391.967 |
| 50 | 2850x0.9783 =2788.241 | 2950x0.9800 =2891.000 | 2800x0.9783 =2739.324 | 2806.188 |
| 60 | 2180x0.9900 =2158.200 | 2250x0.9850 =2216.25 | 2250x0.9850 =2216.250 | 2196.900 |

**ตารางที่ 4.7** ค่าความเสถียรภาพ (Stability) ที่ได้จากการปรับแก้

| อุณหภูมิ (°C ) | ความเสถียรภาพ , Stability (ปอนด์) | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | ก้อนตัวอย่างที่ 1 | ก้อนตัวอย่างที่ 2 | ก้อนตัวอย่างที่ 3 | |
| 30 | 3803.800 | 3793.654 | 3871.875 | 3823.110 |
| 40 | 3343.220 | 3292.800 | 3539.880 | 3391.967 |
| 50 | 2788.241 | 2891.000 | 2739.324 | 2806.188 |
| 60 | 2158.200 | 2216.25 | 2216.250 | 2196.900 |

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่า Stability ในก้อนตัวอย่างของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 °C โดยพบค่า Stability อยู่ในช่วง 2100 – 3800 lb

## 4.3 ผลทดสอบค่าการไหล (Flow)

**ตารางที่ 4.8** ผลการทดสอบหาค่าการไหล Flow ที่อุณหภูมิต่างๆ

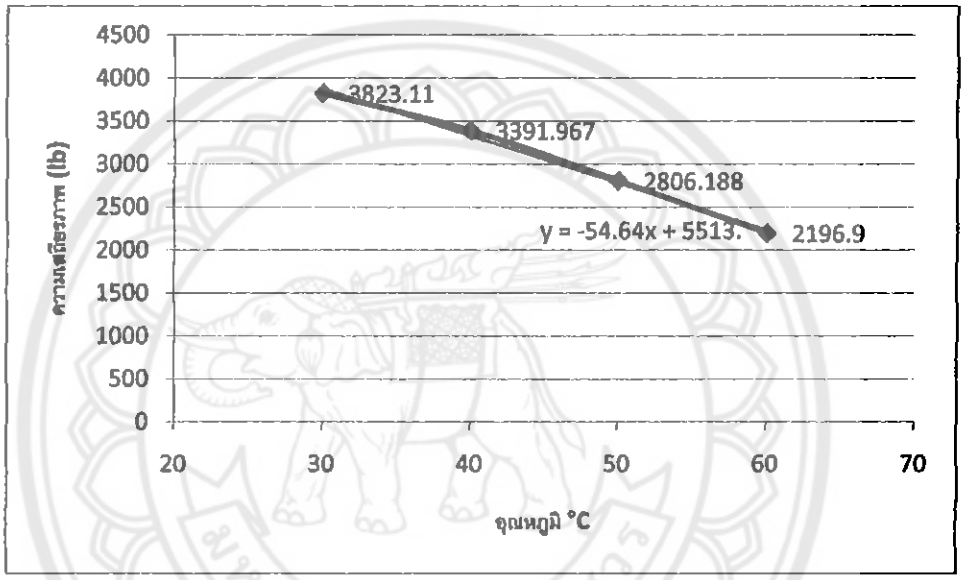
| อุณหภูมิ (°C ) | การไหล ,Flow (0.01 นิ้ว) | | | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | ก้อนตัวอย่างที่ 1 | ก้อนตัวอย่างที่ 2 | ก้อนตัวอย่างที่ 3 | |
| 30 | 11 | 11 | 12 | 11.333 |
| 40 | 12 | 13 | 12 | 12.333 |
| 50 | 13 | 13 | 12 | 12.667 |
| 60 | 14 | 13 | 14 | 13.667 |

จากตารางที่ 4.8 ที่แสดงค่า Flow ในก้อนตัวอย่างของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 °C โดยพบค่า Stability อยู่ในช่วง 11 – 14 in

# บทที่ 5
# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่าความเสถียรภาพ (Stability) และการไหล (Flow) จากก้อนตัวอย่างทั้งหมด 12 ก้อน ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 °C ซึ่งค่าที่ได้ในแต่ละอุณหภูมิจะมีค่าความเสถียรภาพ (Stability) และการไหล (Flow) ที่แตกต่างกันซึ่งนำมาเขียนกราฟจะได้ดังนี้




**รูปที่ 5.1** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความความเสถียรภาพ

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพและอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำค่าของความเสถียรภาพก็จะสูงแต่ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความเสถียรภาพ (Stability) ต่ำลง นอกจากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสถียรภาพ (Stability) และอุณหภูมิ ยังสามารถนำไปหาอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์การลดของค่าความเสถียรภาพ (Stability) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปดังนี้

-เมื่ออุณหภูมิ จาก 30 องศาเซลเซียส เพิ่มเป็น 40 องศาเซลเซียส ค่า Stability จะลดลง 11.27 %

-เมื่ออุณหภูมิ จาก 40 องศาเซลเซียส เพิ่มเป็น 50 องศาเซลเซียส ค่า Stability จะลดลง 17.27 %

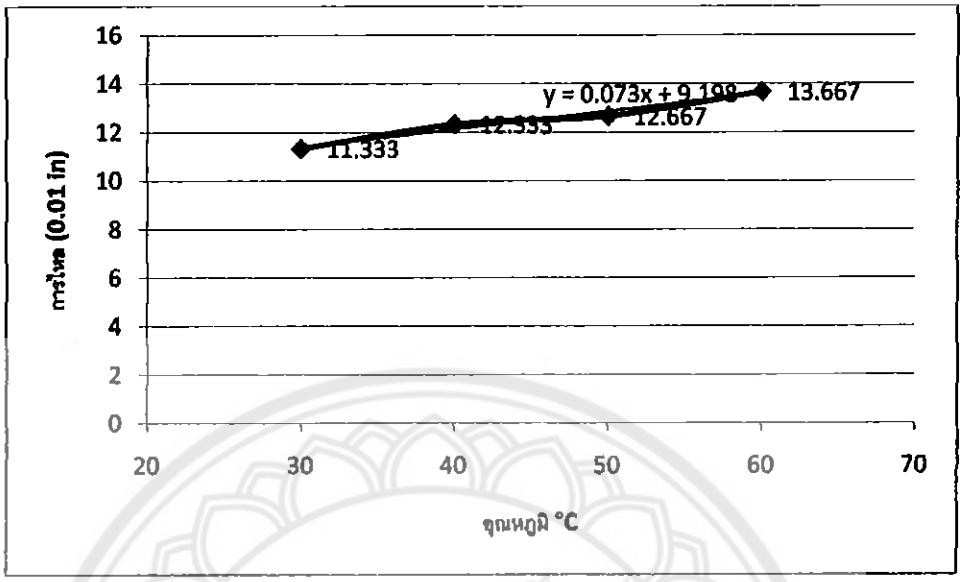
-เมื่ออุณหภูมิ จาก 50 องศาเซลเซียส เพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียส ค่า Stability จะลดลง 21.71 %

และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิในแต่ละช่วงดังต่อไปนี้

ในช่วง 30°C ถึง 40°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C ความเสถียรภาพ (Stability) จะลดลง 1.271 %

ในช่วง 40°C ถึง 50°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C ความเสถียรภาพ (Stability) จะลดลง 2.087 %

ในช่วง 50°C ถึง 60°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C ความเสถียรภาพ (Stability) จะลดลง 2.773 %




รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการไหล (Flow)

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล(Flow) และอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูง ค่าของการไหล (Flow) ก็จะสูงแต่ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิต่ำลงค่าการไหล (Flow) ต่ำลง นอกจากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการไหล (Flow) และอุณหภูมิแล้ว ยังสามารถนำไปหาอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์การลดของค่าการไหล (Flow) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปดังนี้

-เมื่ออุณหภูมิ จาก 30 °C เพิ่มเป็น 40 °C ค่า Flow จะเพิ่มขึ้น 8.33 %

-เมื่ออุณหภูมิ จาก 40 °C เพิ่มเป็น 50 °C ค่า Flow จะเพิ่มขึ้น 2.69 %

-เมื่ออุณหภูมิ จาก 50 °C เพิ่มเป็น 60 °C ค่า Flow จะเพิ่มขึ้น 7.14 %

และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิในแต่ละช่วงดังต่อไปนี้

ในช่วง 30°C ถึง 40°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C การไหล (Flow) จะเพิ่มขึ้น 0.882 %

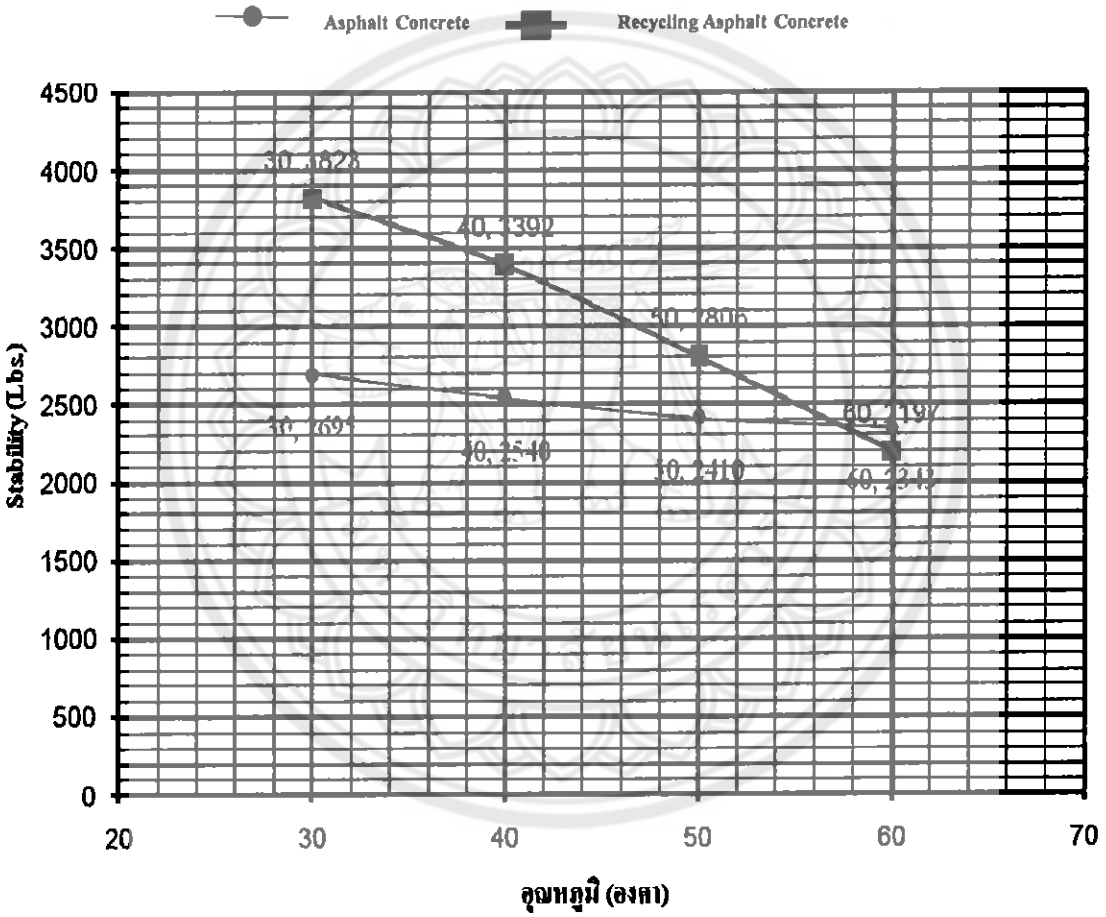
ในช่วง 40°C ถึง 50°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C การไหล (Flow) จะเพิ่มขึ้น 0.271 %

ในช่วง 50°C ถึง 60°C เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C การไหล (Flow) จะเพิ่มขึ้น 0.789 %

จากข้อมูลดังกล่าว จะพบว่าอุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่อ Asphalt Cement ซึ่ง Asphalt Cement จะเปรียบเสมือนกาวที่ยึดเกาะหรือเชื่อมประสานมวลรวมใน Asphalt Concrete เข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำๆ หรือเย็นลง จะทำให้ Asphalt Cement แข็งตัว ซึ่งจะมีประสิทธิภาพต่อการยึดเกาะหรือเชื่อมประสานกันระหว่างมวลรวมใน Asphalt Concrete ที่สูง จึงทำให้ค่าความ

เสถียรภาพมีค่าสูง และค่าการไหล จะต่ำ เนื่องจากการเสียรูปได้ยาก แต่ในทางกลับกันที่อุณหภูมิสูงๆ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงหรือร้อนมากก็จะทำให้ Asphalt Cement เกิดความหนืดขึ้น ซึ่งทำให้คุณสมบัติของการยึดเกาะของมวลรวมใน Asphalt Concrete ลดน้อยลง การรับน้ำหนักบรรทุกหรือความเสถียรภาพมีค่าน้อย แต่ ค่าการไหลจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเสียรูปได้ง่าย

**ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ (Stability) ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete**

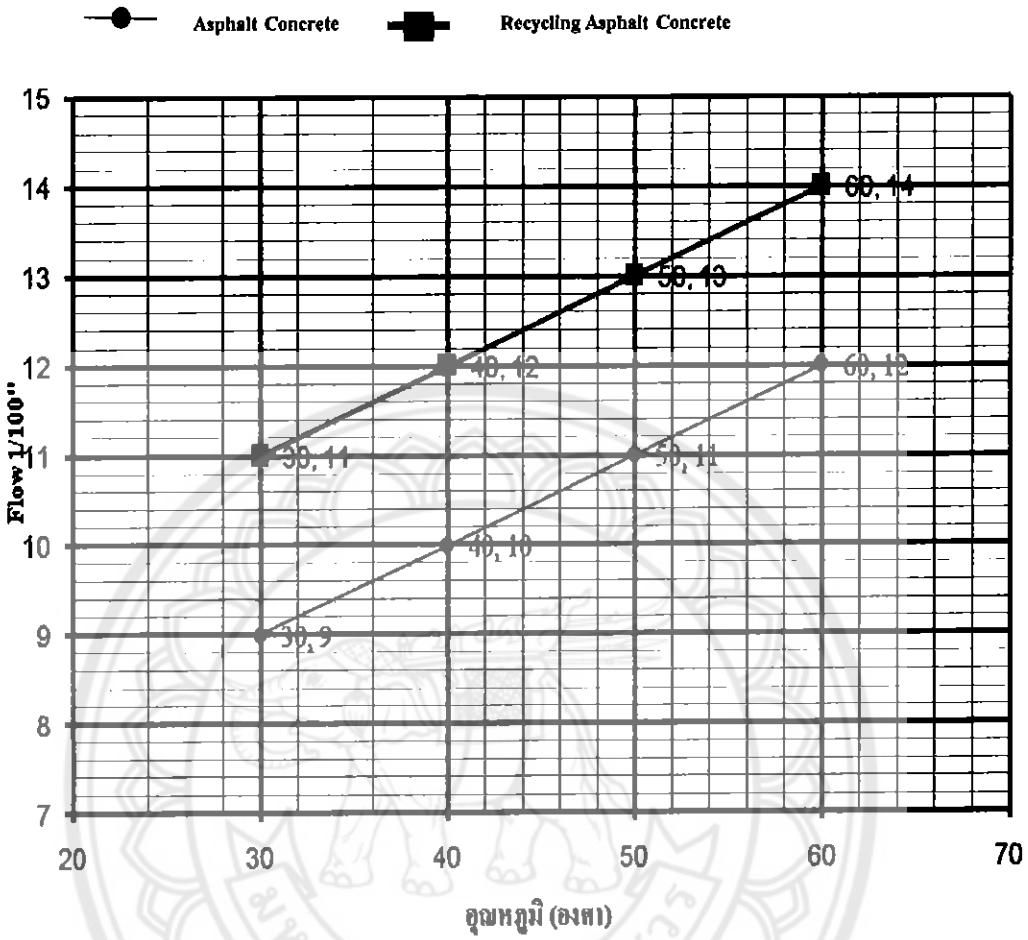



**รูปที่ 5.3** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าเสถียรภาพ (Stability) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete

**ตารางที่ 5.1** ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ (Stability) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete

| อุณหภูมิ | ค่าเสถียรภาพของ Asphalt Concrete (Lbs.) | %ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไป | ค่าเสถียรภาพของRecycling Asphalt Concrete (Lbs.) | %ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไป |
|---|---|---|---|---|
| 30 | 2,695 | | 3,823 | |
| 40 | 2,540 | 5.75 | 3,392 | 11.27 |
| 50 | 2,410 | 5.12 | 2,806 | 17.28 |
| 60 | 2,343 | 2.78 | 2,197 | 21.70 |

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าเสถียรภาพ(Stability) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete พบว่า เปอร์เซ็นต์ ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปของ Recycling Asphalt Concrete มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ในทางกลับกันหาก อุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ ค่าเสถียรภาพที่เปลี่ยนไปของAsphalt Concrete จะมีค่าลดลง แสดงว่า Slopความลาดชันของ Recycling Asphalt Concrete มากกว่า Asphalt Concrete อุณหภูมิช่วง 30 – 57 องศา ค่าเสถียรภาพของ Recycling Asphalt Concrete มากกว่า Asphalt Concrete เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 57 องศา ค่าเสถียรภาพของ Recycling Asphalt Concrete น้อยกว่า Asphalt Concrete




**รูปที่ 5.4** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล (Flow) ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete

**ตารางที่ 5.2** ตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล (Flow) ของ Asphalt Concrete และRecycling Asphalt Concrete

| อุณหภูมิ | ค่าการไหลของ Asphalt Concrete (1/100" Flow) | %ค่าการไหลที่เปลี่ยนไป | ค่าการไหลของ Recycling Asphalt Concrete (1/100" Flow) | %ค่าการไหลที่เปลี่ยนไป |
|---|---|---|---|---|
| 30 | 9 | | 11 | |
| 40 | 10 | 10 | 12 | 8.33 |
| 50 | 11 | 9.09 | 13 | 7.69 |
| 60 | 12 | 8.33 | 14 | 7.14 |

จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าการไหล(Flow)ของ Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete พบว่าหากอุณหภูมิสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ ค่าการไหลที่เปลี่ยนไปจะมีค่าลดลงเหมือนกัน แสดงว่า Asphalt Concrete และ Recycling Asphalt Concrete มีSlop ความลาดชันเท่ากัน แต่ค่าการไหลของ Recycling Asphalt Concrete มากกว่า Asphalt Concrete

Recycling Asphalt Concrete เป็นการนำ Asphalt Concrete ที่มีอยู่เดิมกลับมาใช้ใหม่ จึงมีความทนทานต่ออุณหภูมิน้อยกว่า เมื่อเปิดใช้งานถนน Recycling Asphalt Concrete จะมีอายุการใช้งานน้อยกว่า Asphalt Concrete

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1.การทดสอบจะตั้งทำให้เสร็จสิ้นภายใน 30 วินาที เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของก้อนตัวอย่างต่ำกว่าที่ต้องการ

2.ผลการทดลองนี้เป็นแนวทางเพื่อที่จะใช้ในการศึกษาต่อ

# บรรณานุกรม

วัชรินทร์ วิทยกุล. วัสดุการทาง. กรุงเทพฯ. ; ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2537

รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล. การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน วิธีมาร์แชลล์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.2544

สำนักงานวิเคราะห์วิจัย. การนำผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่ามาผสมซ้ำในที่ใช้งานใหม่. กรุงเทพฯ. กรมทางหลวง , 2540

สำนักงานวิเคราะห์วิจัย และพัฒนาการทาง. มาตรฐานวิธีการทดลอง. กรุงเทพฯ. กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 2515

กองวิเคราะห์และวิจัย. การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่. กรุงเทพฯ. กรมทางหลวง , 2544

การสัมมนาวิชาการ. เรื่องรีไซเคิลถนนแอสฟัลต์. กรุงเทพฯ ; กรมทางหลวง, 2544

# ภาคผนวก

## การเตรียมก้อนตัวอย่างที่ผสมเสร็จจาก Plant

1. ตักวัสดุ Recycling Asphalt Concrete ที่ผสมแล้วโดยวิธี Marshall จากรถขนส่ง

2. ทำการชั่งวัสดุ Recycling Asphalt Concrete

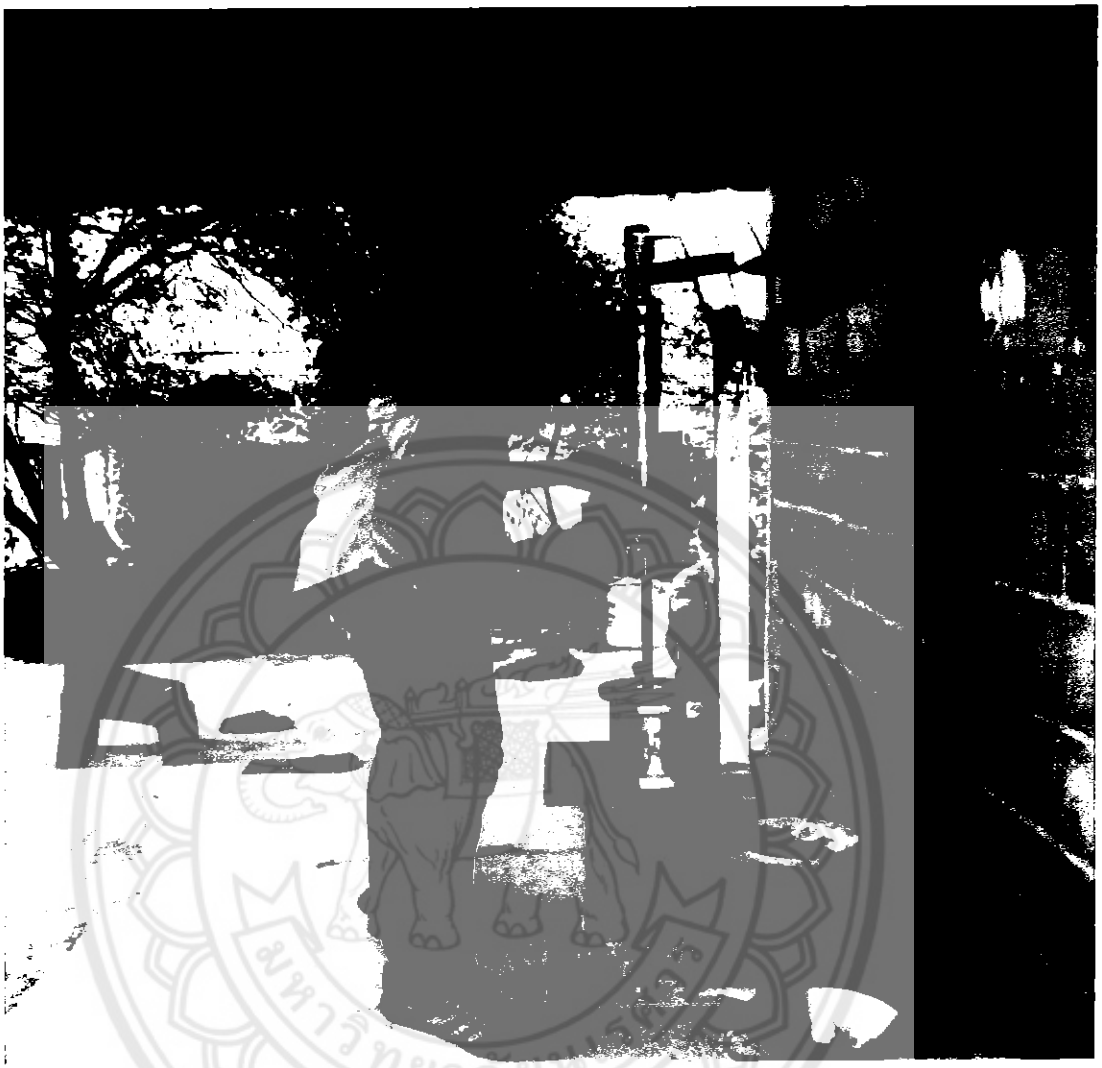
3. นำแบบหล่อ (Marshall Compaction Mold) ใส่ในเครื่องบดอัด (Marshall Compaction Hammer)

4. นำวัสดุ Recycling Asphalt Concrete ที่ชั่งแล้วไปเทลง Marshall Compaction Mold ที่เตรียมไว้

5. ใช้พาย หรือเกรียงร้อน ขุดแซะส่วนผสมอย่างรวดเร็ว 15 ครั้งรอบ ๆ บริเวณขอบของแบบหล่อ และตรงกลางภายในอีก 10 ครั้ง

6. นำค้อนบดอัด (Compaction Hammer) มีตุ้มน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม (10 ปอนด์) โดยมีระยะตกของตุ้มน้ำหนัก 457 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) ประกอบเข้ากับแบบหล่อ (Marshall Compaction Mold)

7. ทำการบดอัดก้อนตัวอย่างด้านบนและด้านล่าง ด้านละ 75 ครั้ง



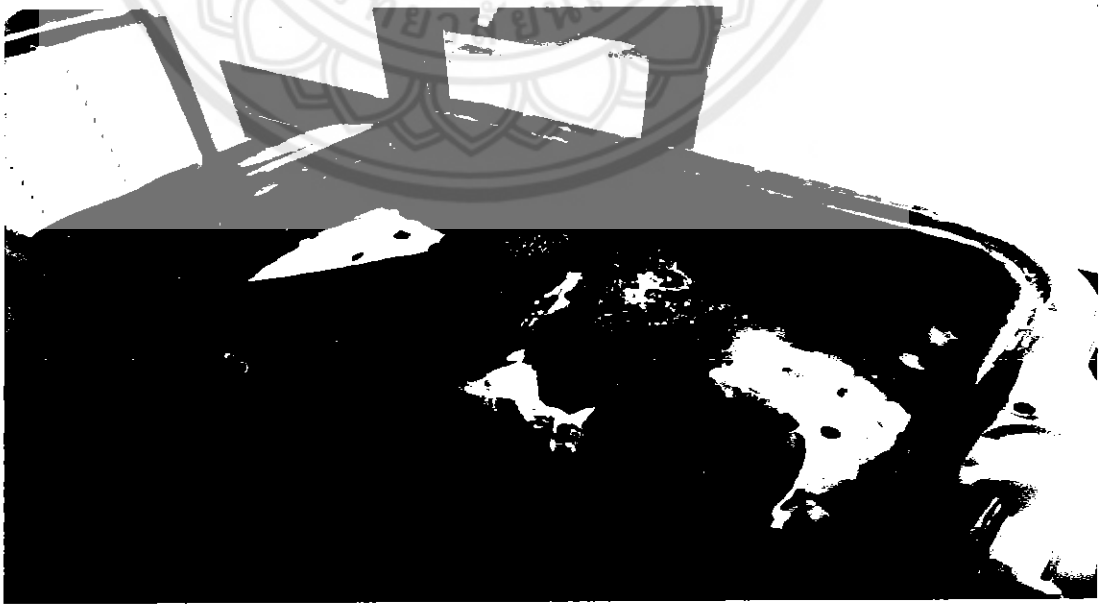
8. นำแบบหล่อ (Marshall Compaction Mold) ออกจากเครื่องบดอัด (Marshall Compaction Hammer)

9. เอาตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่ออย่างระมัดระวังโดยใช้เครื่องดันก้อนตัวอย่าง

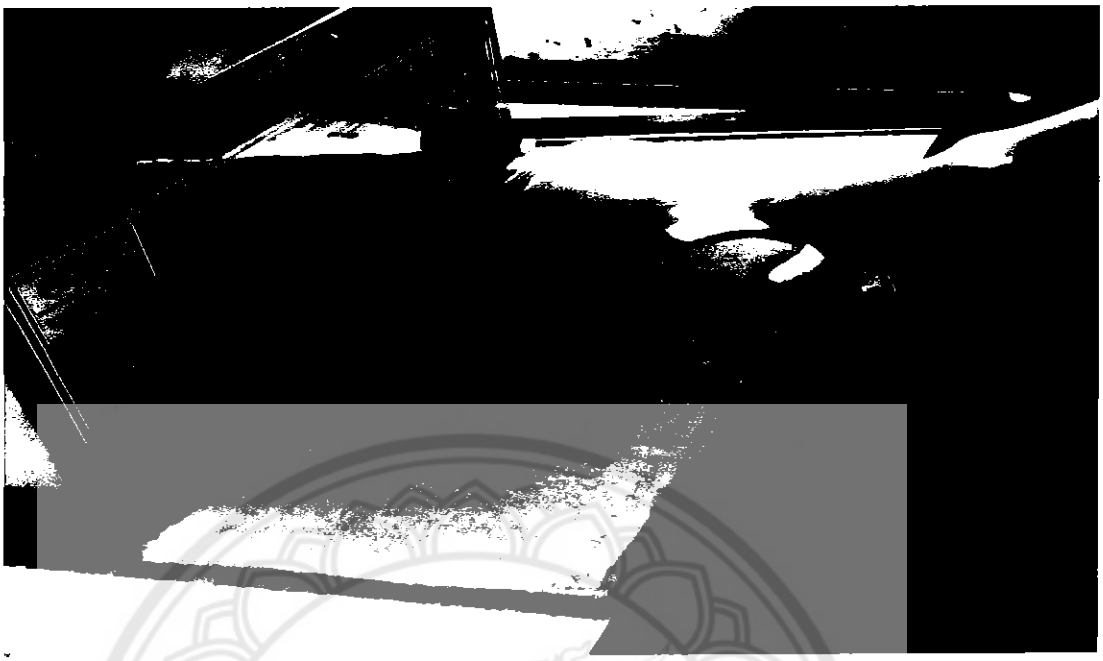
## การทดลองเพื่อหาค่า ความเสถียรภาพ (Stability) และ การไหล (Flow)

1. แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 30 ± 1 °C ,40 ± 1 °C, 50 ± 1 °C และ60 ± 1 °C เป็นเวลา 30 - 40 นาที ก่อนนำตัวอย่างไปทดสอบ

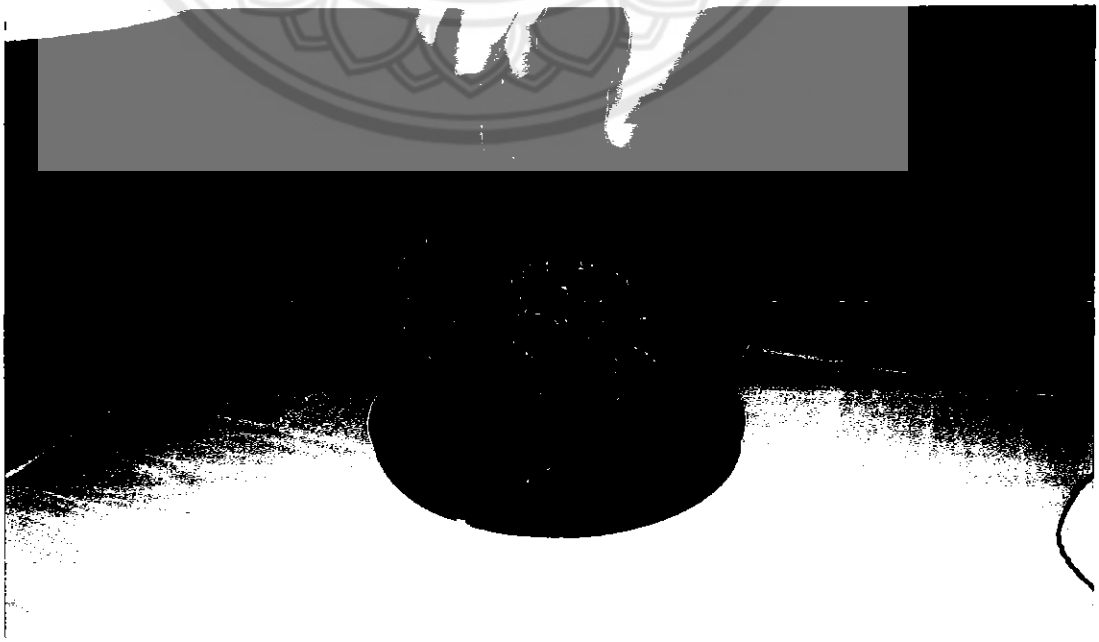
2. นำตัวอย่างทดสอบขึ้นจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ



3. เช็ดผิวให้แห้งอย่างระมัดระวัง



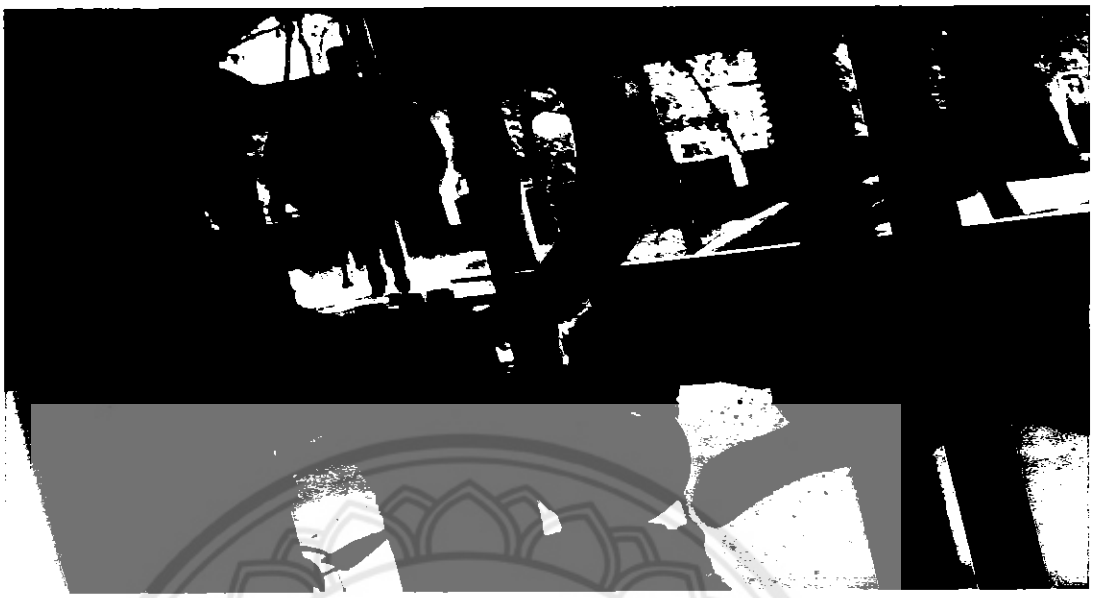
4. วางตัวอย่างทดสอบในหัวทดสอบอันล่าง (Lower Testing Head)



5. เลื่อนหัวทดสอบอันบนลงมา

6. ประกอบกันให้สมบูรณ์เป็นชุดเครื่องมือที่ให้แรงกระทำพร้อมกับติดตั้งเครื่องวัดค่าการไหลบนก้านนำ เหนือตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้

7. ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเสถียรภาพและการไหลให้อ่านค่าศูนย์



8. อ่านค่าที่ได้จากการทดลองแล้วบันทึกผล

# ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายสุรกาญจน์ พลหมอ
วัน/เดือน/ปี 12 มีนาคม 2531
ภูมิลำเนา 141/1 หมู่ 3 ต.นากลาง อ.นากลาง
จ. หนองบัวลำภู 39170

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนคำแสนวิทยาสรรค์ อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

E-mail: Surakarn_1988@hotmail.com

---

ชื่อ นายปรัชญา สาระขันธ์
วัน/เดือน/ปี 03 เมษายน 2531
ภูมิลำเนา 130/1 หมู่ 4 ต.ไหล่หิน อ. เกาะคา
จ.ลำปาง 52130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนไหล่หินวิทยา อ.เกาะคา จ.ลำปาง
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

E-mail: Prudya_aod@hotmail.com

ชื่อ นายศรายุทธ บุญชุม
วัน/เดือน/ปี 19 มีนาคม 2531
ภูมิลำเนา 220 หมู่ 8 ต. งิม อ.ปง จ.พะเยา 56140
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนปงพัฒนาวิทยาคม อ.ปง จ.พะเยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

E-mail: tongtang_nu@hotmail.com