





## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกน  
ของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาว วรณิกา ชันคำนันต์ รหัส 54364863

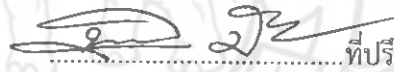
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ บุญพล มีไชโย

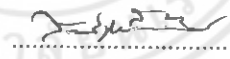
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา


ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรัม อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(อาจารย์ บุญพล มีไชโย)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สลิกรณณ์ เหลืองวิชเจริญ)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ภัคพงศ์ ทอมเนียม)

|                   |  |
|-------------------|--|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | การศึกษาคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกน<br>ของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต |
| ผู้ดำเนินโครงการ  | นางสาว วรรณิกา ชั้นคำนันตะ รหัส 54364863                           |
| ที่ปรึกษาโครงการ  | อาจารย์ บุญพล มีไชโย   |
| สาขาวิชา          | วิศวกรรมโยธา   |
| ภาควิชา           | วิศวกรรมโยธา   |
| ปีการศึกษา        | 2557   |

---

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติด้านการคืบตัวโดยใช้แรงกระทำซ้ำของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต และเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับการทดสอบดังกล่าวสามารถทดสอบและวัดค่าโดยใช้เครื่องทดสอบ Nottingham Asphalt Tester (NAT) รุ่น NU 10 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงกระทำซ้ำในแนวแกน (Repeated Load Axial Test, RLAT) เป็นไปตามข้อกำหนดการทดสอบตามมาตรฐานของ BSi. DD 226:1996 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ซึ่งกำหนดอุณหภูมิของการทดสอบ 3 ค่า คือ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส แรงกระทำ กำหนดแรงกระทำของการทดสอบ 3 ค่า คือ 100, 200 และ 300 กิโลปาสคาล และชนิดผิวทาง ได้กำหนดชนิดผิวทาง 5 ชนิด คือ AC9.5, AC12.5, HF, WMA9.5 และ WMA12.5 ผลการศึกษาพบว่าค่าการคืบตัวก่อนแอสฟัลต์คอนกรีตมีการคืบตัวตามอุณหภูมิและขนาดแรงที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบเปรียบเทียบชนิดยางพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางชนิด AC60/70 ขนาด 12.5 มีการคืบตัวต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าสามารถต้านทานต่อความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิและแรงกระทำได้ดี

**Project title** A Study of The Properties of Repeated Load Axial Test of Asphalt Mixtures  
**Name** Miss Wannika Kancomnanta ID. 54364863  
**Project advisor** Mr.Boonpol Meechaiyo  
**Major** Civil Engineering  
**Department** Civil Engineering  
**Academic year** 2014

.....

### Abstract

This project is about the creep of asphalt concrete mixtures in the laboratory. This study aim to study the factors that affect the property repeated in the alignment of asphalt concrete mix and compare the unique features in the alignment of asphalt concrete mix. A test could be tested and measured by using a tester Nottingham Asphalt Tester (NAT) models NU 10, for test the repeated in the axial direction (Repeated Load Axial Test, RLAT) which according to BSi. DD 226: 1996 testing standard. In this test used a temperature of 30, 35 and 40 degrees Celsius. Forces of 100, 200 and 300 kPa. And type of pavement is AC9.5, AC12.5, HF, WMA9.5 and WMA12.5. The results of this study shows that the creep of asphalt concrete fluctuated as a function of temperature and force. And the rubber asphalt concrete AC60 / 70 12.5 is the lowest creep, Shows that can resistance to damage caused by temperatures and loads well.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอาจารย์บุญพล มีไชโย อาจารย์ที่ปรึกษา นายรัชสมล บัว  
ชื่น ผู้ช่วยงานวิจัย และ นางสาวกาญจนศ ศรีเสถียร ผู้ช่วยงานวิจัย เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้ความช่วยเหลือ  
และให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆที่พบระหว่างการศึกษา รวมถึงให้ข้อมูลความรู้ใน  
เรื่องต่างๆ และช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆที่จำเป็นในการจัดทำโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้  
ด้วยดี รวมไปถึงการอบรมสั่งสอนในด้านที่เกี่ยวกับงาน

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณสำนักทางหลวงที่ 5 จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์  
ด้านข้อมูลรวมถึงสนับสนุนวัสดุเชื่อมประสาน คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ และออกแบบอัตราส่วนผสม  
แอสฟัลต์คอนกรีตทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณโรงโม่หินศิลาพัฒนา อำเภอด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย ที่  
สนับสนุนวัสดุมวลรวม คือ หินปูน เพื่อนำมาใช้ในโครงการ จนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม  
นางสาว วรรณิกา ชันคำนันตะ  
พฤษภาคม 2558



## สารบัญ

|  | หน้า      |
|--|-----------|
| ใบรับรองปริญญาโท.....                                    | ก         |
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                     | ข         |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                  | ค         |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                     | ง         |
| สารบัญ.....  | จ         |
| สารบัญตาราง.....   | ช         |
| สารบัญรูป.....   | ซ         |
| สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....                          | ณ         |
| <br>   |           |
| <b>บทที่ 1</b> บทนำ.....                                 | <b>1</b>  |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....                | 1         |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....                          | 1         |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                       | 2         |
| 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....                              | 2         |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....                             | 2         |
| 1.6 แผนการดำเนินงาน.....                                 | 3         |
| <br>   |           |
| <b>บทที่ 2</b> หลักการและทฤษฎี.....                      | <b>4</b>  |
| 2.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต..... | 4         |
| 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....                              | 5         |
| 2.3 ทบทวนวรรณกรรม.....                                   | 8         |
| 2.4 สิ่งที่ได้รับจากการศึกษาในอดีต.....                  | 9         |
| <br>   |           |
| <b>บทที่ 3</b> วิธีดำเนินโครงการ.....                    | <b>10</b> |
| 3.1 วัสดุ.....   | 10        |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....                         | 11        |
| 3.3 ขั้นตอนการทดสอบ.....                                 | 13        |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                     | หน้า |
|-------------------------------------|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์..... | 16   |
| 4.1 ผลการศึกษา.....                 | 16   |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....    | 28   |
| 5.1 บทสรุป.....                     | 28   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....                 | 28   |
| เอกสารอ้างอิง.....                  | 29   |

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ภาคผนวก ข

ภาพขั้นตอนการดำเนินการโครงการ



## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.1 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/709.5, AC60/7012.5 และ HF | 19   |
| 4.2 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ WMA 9.5, WMA12.5 และ HF        | 19   |
| 4.3 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/70 9.5 , WMA9.5 และ HF    | 20   |
| 4.4 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/70 12.5, WMA12.5 และ HF   | 20   |
| 4.5 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/709.5, AC60/7012.5 และ HF | 21   |
| 4.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ WMA 9.5, WMA12.5 และ HF        | 22   |
| 4.7 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/709.5, WMA9.5 และ HF      | 22   |
| 4.8 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/7012.5, WMA12.5 และ HF    | 23   |
| 4.9 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/709.5, AC60/7012.5 และ HF | 24   |
| 4.10 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ WMA 9.5, WMA12.5 และ HF       | 24   |
| 4.11 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/70 9.5, WMA9.5 และ HF    | 25   |
| 4.12 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC60/7012.5, WMA12.5 และ HF   | 25   |





## สารบัญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 Repeated Load  | 5    |
| 2.2 สภาพความเสียหายร่องล้อจากชั้นพื้นทาง   | 6    |
| 2.3 สภาพความเสียหายร่องล้อจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต                                | 6    |
| 2.4 เครื่องมือ NAT NU-10   | 6    |
| 2.5 ตัวอย่างการทดสอบ Repeated Load Axial Test                                      | 7    |
| 2.6 ตัวอย่างการแสดงผลทดสอบ Repeated Load Axial Test                                | 7    |
| 3.1 อุปกรณ์ผสมแอสฟัลต์คอนกรีต  | 11   |
| 3.2 แบบหล่อก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต (Marshall Compaction molds)                         | 11   |
| 3.3 ชุดการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test)                | 12   |
| 3.4 แม่แรงดันก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากแบบหล่อ (Hydraulic Jet)                      | 12   |
| 3.5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิและทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต NAT-NU 10             | 12   |
| 4.1 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60/70 9.5                  | 16   |
| 4.2 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60/70 12.5                 | 17   |
| 4.3 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA 9.5                       | 17   |
| 4.4 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA 12.5                      | 18   |
| 4.5 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด HF                            | 18   |
| 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชนิดผิวทางที่แรงกระทำ 100 kPa | 21   |
| 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชนิดผิวทางที่แรงกระทำ 200 kPa | 23   |
| 4.8 ผลการเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชนิดผิวทางที่แรงกระทำ 300 kPa | 26   |

## สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

|               |   |                               |
|---------------|---|-------------------------------|
| HMA           | = | Hot-Mix Asphalt               |
| WMA           | = | Warm-Mix Asphalt              |
| HF            | = | High Friction                 |
| UTM           | = | Universal Testing Machine     |
| NAT           | = | The Nottingham Asphalt Tester |
| RLAT          | = | Repeated Load Axial Test      |
| kPa           | = | kilopascal                    |
| $\mu\epsilon$ | = | Microstrain                   |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากในอดีตถึงปัจจุบันถนนมีความสำคัญต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชากรในประเทศมาก โดยใช้เป็นเส้นทางสัญจรและติดต่อซื้อขายแลกเปลี่ยนสิ่งของต่างๆ ก่อให้เกิดความเจริญทางด้านเศรษฐกิจมากขึ้น ทำให้ปริมาณการใช้ถนนของประชากรที่เพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องสร้างถนนเพิ่มขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการที่เพิ่มขึ้น ซึ่งถนนที่นิยมสร้างประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่อายุการใช้งานมากมักพบปัญหาการเสื่อมสภาพของผิวทางทำให้เกิดอุบัติเหตุง่ายขึ้น สิ้นเปลืองงบประมาณในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเป็นจำนวนมาก การเสื่อมสภาพของพื้นทางอาจมีสาเหตุจากวัสดุที่นำมาใช้ทำพื้นทาง ซึ่งในอดีตเทคโนโลยีการก่อสร้างผิวถนนยังไม่หลากหลายและสร้างด้วยความเร่งรีบเพื่อตอบสนองความต้องการใช้เส้นทางของประชากร ผิวถนนจึงเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว แต่ในปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่หลากหลายมีส่วนช่วยในการพัฒนาการก่อสร้างผิวถนนให้มีคงทน ช่วยเพิ่มอายุการใช้งานและลดปัญหาความเสียหาย สำหรับเทคโนโลยีแอสฟัลต์ที่นิยมใช้สร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot-Mix Asphalt, HMA) และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm-Mix Asphalt, WMA) รวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบส่วนผสม (Job-Mix Formula Design) ที่เหมาะสม ทำให้ได้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณภาพ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะได้ผิวทางที่ดีมีคุณภาพแต่ยังพบว่ายังมีปัจจัยอื่นๆ ทำให้ผิวถนนเกิดความเสียหาย เช่น ปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่กระทำซ้ำๆ บนผิวทางรวมไปถึงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในเวลาต่างๆ ของการจราจร ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เมื่อสะสมเป็นเวลานานจึงก่อให้เกิดการคับตัวของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
- 1.3.2 ทราบข้อมูลการเปรียบเทียบคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่แรงกระทำ และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

### 1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

- 1.4.1 ใช้หินปูน (Limestone) จากโรงโม่หิน ศิลาพัฒนา บ้านด่านลานหอย จังหวัด สุโขทัย และแอสฟัลต์ซีเมนต์จากสำนักทางหลวงที่ 5 จังหวัดพิษณุโลก
- 1.4.2 ออกแบบโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test)
- 1.4.3 ใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)  
The Nottingham Asphalt Tester (NAT) - NU10
- 1.4.4 อุณหภูมิ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส
- 1.4.5 แรงกระทำ 100, 200 และ 300 kPa
- 1.4.6 ชนิดของแอสฟัลต์คอนกรีต แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot-Mix Asphalt, HMA) แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm-Mix Asphalt, WMA) แอสฟัลต์คอนกรีตแรงเสียดทานสูง (High Friction, HF)

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 วางแผนการดำเนินงาน
- 1.5.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.3 ออกแบบพร้อมทดสอบคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต
- 1.5.4 ทดสอบแรงกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต (Repeated Load Axial Test, RLAT)
- 1.5.5 วิเคราะห์ผลและสรุปผล



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

#### 2.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม และปริมาณของแอสฟัลต์

##### 2.1.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง มวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมาก จะทำให้มีอายุการใช้งานได้นานและมีคุณภาพดี โดยทั่วไป การบดอัดโดยรถบดในงานจริงจะได้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงได้กำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุด ที่บดได้จากงานจริงให้เป็นค่าร้อยละของค่าความหนาแน่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดให้ใช้ไม่ต่ำกว่า 98% ของความหนาแน่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

##### 2.1.2 ช่องว่างอากาศ (Air Void)

ช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับการบดอัดแล้ว จะต้องมียุทธศาสตร์ช่องว่างอากาศที่เพียงพอ เนื่องจากหลังเปิดให้ใช้บริการแอสฟัลต์คอนกรีต แอสฟัลต์คอนกรีตจะแน่นขึ้นกว่าเดิม ทำให้มีปริมาตรอากาศที่น้อยลง ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศหลังก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ทะลักขึ้นมาบนผิวแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนอีกด้วย ซึ่งสำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ส่วนผิวทางชั้นล่างจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 4 ถึง 7

##### 2.1.3 ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Void in Mineral Aggregates)

ช่องว่างระหว่างอนุภาค (VMA) ของมวลรวม หมายถึง ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ทั้งนี้รวมถึงช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) น้อยกว่า

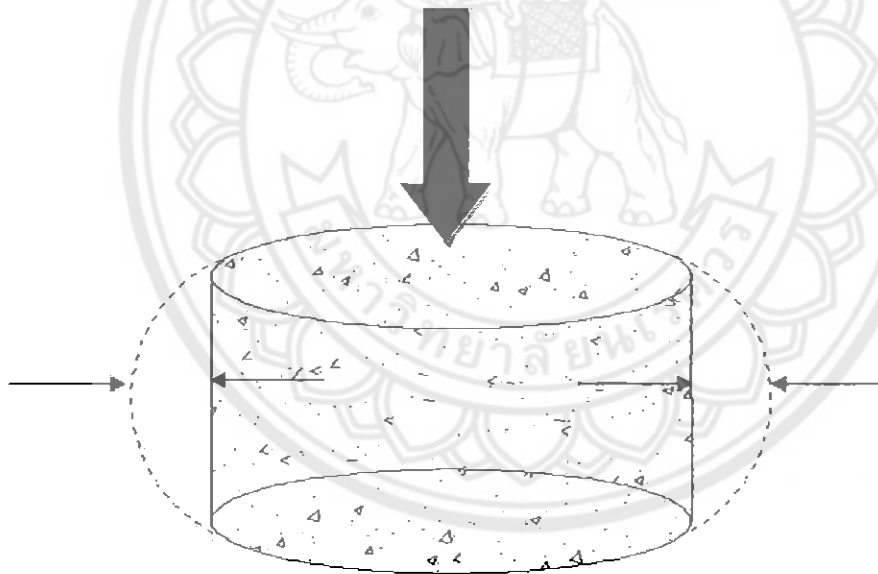
### 2.1.4 ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Concrete)

ปริมาณแอสฟัลต์ ในแอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ที่จะใช้ต้องถูกต้องแน่นอน ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละ และคุณสมบัติในการดกกลืนแอสฟัลต์

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

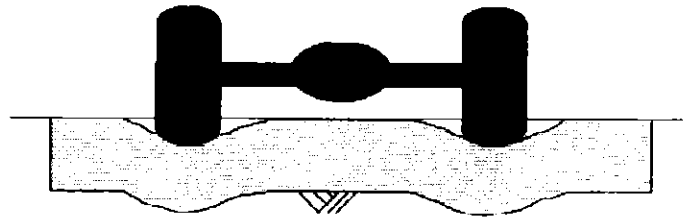
### 2.2.1 ความเครียด (Strain)

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนแปลงของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ การทดสอบแรงกระทำซ้ำในแนวแกน (Repeated Load) เป็นการทดสอบหาค่าการเปลี่ยนแปลงรูปของ วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยให้แรงกระทำในแนวตั้งกับวัสดุ จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุใน แนวราบ

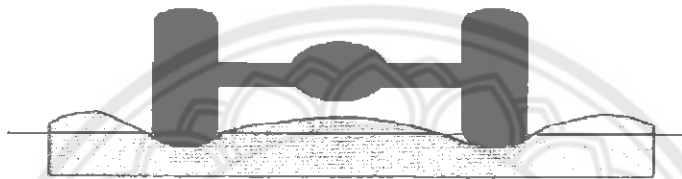


รูปที่ 2.1 Repeated Load

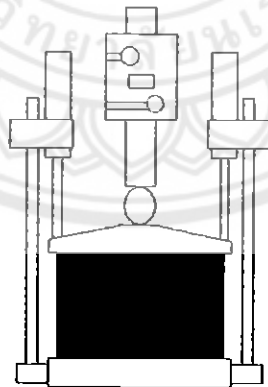
การทดสอบการให้แรงกระทำซ้ำ (Repeated Load) เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของการจราจรที่ น้ำหนักบรรทุกต่างๆ กระทำซ้ำๆ ในแนวตั้งกับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวใน แนวราบ เมื่อมีการกระทำซ้ำๆ สม่ำเสมอ ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความเสียหายได้



ร่องล้อที่เกิดจากชั้นดินเดิมหรือชั้นพื้นทางอ่อนแอ  
รูปที่ 2.2 สภาพความเสียหายร่องล้อจากชั้นพื้นทาง



รอยร่องล้อที่เกิดจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต  
รูปที่ 2.3 สภาพความเสียหายร่องล้อจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต  
(ที่มา : สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบกรมทางหลวง)

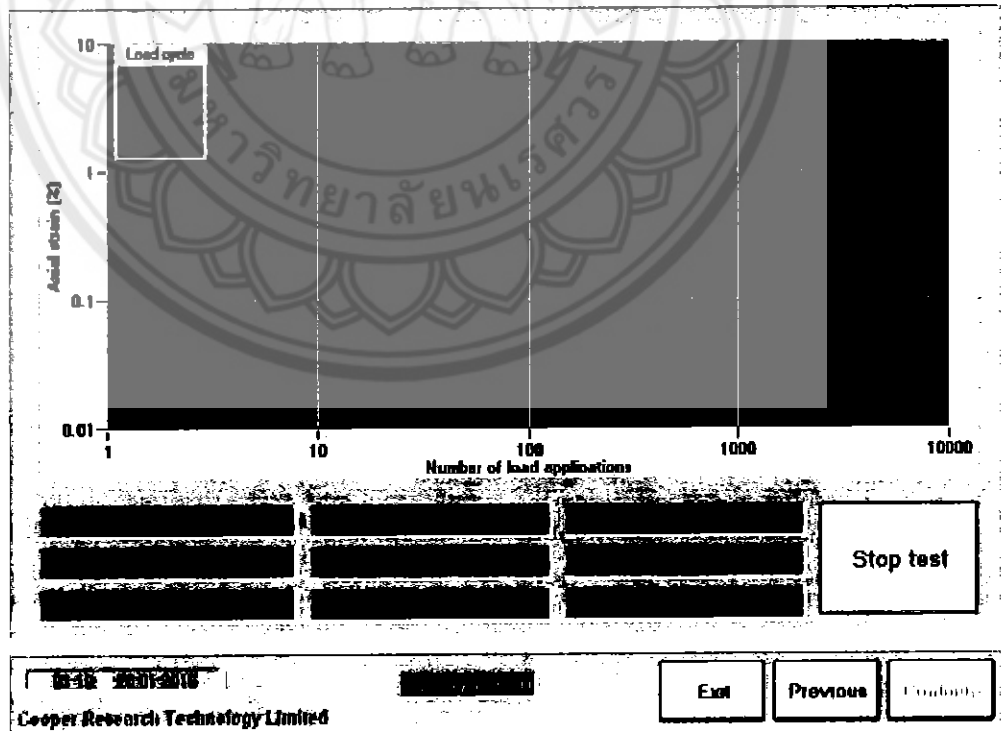


รูปที่ 2.4 เครื่องมือ NAT NU-10





รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทดสอบ Repeated Load Axial Test



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแสดงผลทดสอบ Repeated Load Axial Test

## 2.3 ทบทวนวรรณกรรม

### 2.3.1 การศึกษาในอดีต

Al-Khateeb และคณะ (2011) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดร่องล้อบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ อุณหภูมิ แรงดันลมยาง และความแข็งแรงของดินฐานราก ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง Finite Element พบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตอย่างมาก วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิเท่ากับ 40, 25 และ 5 องศาเซลเซียส จะมีค่า Dynamic Modulus เท่ากับ 1,700, 1,900 และ 3,500 MPa ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้เกิดร่องล้อลึกประมาณ 0.9, 0.3 และ 0.2 เซนติเมตร ตามลำดับ ในกรณีที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตภายใต้แรงดันลมยาง เท่ากับ 0.80, 0.70 และ 0.55 MPa จะเกิดร่องล้อลึกประมาณ 0.9, 0.5 และ 0.3 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ร่องล้อบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตยังลดลงเมื่อค่า CBR ของดินฐานราก Subgrade เพิ่มขึ้น

Dong และคณะ (2010) พบว่าการกระจายของหน่วยแรงภายในโครงสร้างชั้นทาง ช่วงการออกตัว และการชะลอความเร็วเพื่อจอดรอสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก มีความแตกต่างไปจากสภาพการใช้งานปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระจายตัวและขนาดของหน่วยแรงเฉือนสูงสุดและหน่วยแรงเฉือนในแนวราบ ภายใต้น้ำหนักบรรทุก ส่งผลให้เกิดการเสียรูปและวิบัติแบบแรงเฉือน โดยในสภาวะดังกล่าวโครงสร้างชั้นทาง จะแสดงพฤติกรรมหรือคุณลักษณะที่ส่งผลให้เกิดร่องล้อบนผิวจราจร

นภัสรพี อนันตชัยพงศ์ และคณะ (2552) ศึกษาการทดสอบผลทดสอบหาค่าเสถียรภาพและค่าการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงและพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมี ค่าเสถียรภาพสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 ตามลำดับ ส่วนดัชนีความแข็งแรง ชนิดของยาง ทั้ง 3 มีผลใกล้เคียงกันคือเกินค่ามาตรฐานที่ 80% (ข้อกำหนดทางหลวงไม่น้อยกว่า 75%) ดังนั้นผิวทาง PMA ให้ผลต่อการต้านทานร่องล้อได้ดีกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 40/50 และ แอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 60/70 ตามลำดับ

ทวีช ขอบพานิช (2552) ศึกษาหาคุณสมบัติของวัสดุงานทางแบบมาตรฐานซูเปอร์เพฟเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60/70 เกรด 40/50 และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (PMA) ในการต้านทานการเกิดร่องล้อซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการแตกร้าว เนื่องจากความล้า พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 60/70 มีความต้านทานการเกิดร่องล้อต่ำที่สุดและแอสฟัลต์คอนกรีต เกรด 40/50 มีความต้านทานการเกิดร่องล้อสูงที่สุดเมื่อทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ แต่ PMA จะมีความต้านทานการเกิดร่องล้อสูงที่สุดเมื่อทดสอบที่อุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ Dynamic Creep Test

กฤษณะ จันทรโชติ (2551) ศึกษาการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมที่ 5 อุณหภูมิ พบว่า โดยทั่วไปแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 ตามลำดับ สำหรับการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 5 อุณหภูมิพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA ที่อุณหภูมิ 5-35 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์ คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่า ในขณะที่แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวต่ำสุดและผลจากการทดสอบ Dynamic Creep test ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 จะเริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรเร็วกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 และ PMA ในทุกอุณหภูมิ

S.F. Brown และคณะ (1994) ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคือ The Nottingham Asphalt Tester (NAT) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบคุณสมบัติวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต จากมหาวิทยาลัยนอตติงแฮม ประเทศอังกฤษ

#### 2.4 สิ่งที่ได้รับจากการศึกษาในอดีต

จากการศึกษาผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อแนวทางการทำโครงการ  
ดังนี้

1. อุณหภูมิและน้ำหนักบรรทุกทุกมีผลต่อความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
2. วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต
3. เปรียบเทียบผิวทาง PMA ให้ผลต่อการต้านทานร่องล้อได้ดีกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 40/50 และ แอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 60/70 ตามลำดับ
4. เครื่องมือ The Nottingham Asphalt Tester (NAT) เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมแก่การทดสอบคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถให้ค่าที่แม่นยำและถูกต้อง

## บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะเป็นขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงการ เริ่มตั้งแต่วัสดุอุปกรณ์ และปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาการกระทำซ้ำในแนวแกนของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต รวมไปถึงขั้นตอนในการทดสอบ รายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้สำหรับการทดสอบการคืบตัวโดยให้แรงกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นวัสดุที่ทดสอบมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มคือ วัสดุประสานและมวลรวม วัสดุประสานได้แก่ ชนิดยาง AC 60/70 และชนิดยางผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Cement) ส่วนมวลรวมได้แก่มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

#### 3.1.1 วัสดุประสาน

- ชนิดยาง AC 60/70 เป็นชนิดยางที่กรมทางหลวงใช้งานจริงในการปูผิวทาง ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานทางหลวงที่ 4 จังหวัดพิษณุโลก
- ชนิดยางผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Cement) เป็นชนิดยางที่มีสูตรสารผสมเฉพาะเพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานเทคโนโลยีแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt)

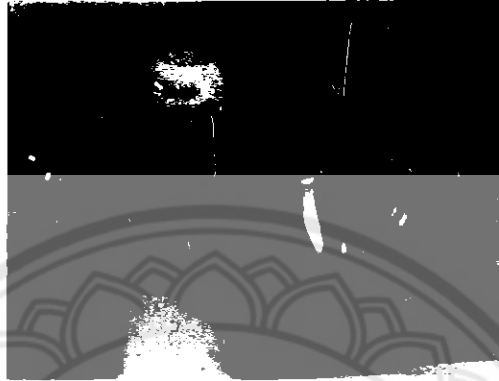
#### 3.1.2 มวลรวม

- มวลรวมละเอียด มวลรวมละเอียดที่ใช้ทดสอบคือ หินฝุ่น จากโรงโม่หินศิลาพัฒนา บ้านด่านลานหอย อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย เป็นหินปูนจากภูเขาหินปูน ซึ่งเป็นหิน cold bin ต้องเตรียมให้ความชื้นผิวอยู่ที่ระหว่าง 1-2 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ASTM C 33
- มวลรวมหยาบ มวลรวมหยาบที่ใช้ทดสอบคือ หินขนาดโตสุดเท่ากับ 3/4 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว จากโรงโม่หินศิลาพัฒนา บ้านด่านลานหอย อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย เป็นหินปูนจากภูเขาหินปูน ซึ่งเป็นหิน cold bin ทดสอบขนาดคละของหิน ตามมาตรฐาน ASTM C33

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆสำหรับโครงการนี้เริ่มจากขั้นตอนแรกไปจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการทดสอบการสืบตัวแบบให้แรงกระทำซ้ำในแนวแกน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 อุปกรณ์ผสมแอสฟัลต์คอนกรีต อุปกรณ์ผสมแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยกะละมังและเกียงผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ใช้ผสมมวลรวมและชนิดยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ที่อัตราส่วนผสม 1200 กรัม



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2.2 แบบหล่อแอสฟัลต์คอนกรีต (Marshall Compaction molds) แบบหล่อสำหรับการทดสอบคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของแอสฟัลต์คอนกรีต ใช้แบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาด  $\varnothing 65 \times 200$  มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 แบบหล่อก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต (Marshall Compaction molds)

3.2.3 ชุดการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test) ชุดการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test) นี้ บดอัดที่ 75 ครั้ง จำลองปริมาณการจราจรที่หนาแน่น



รูปที่ 3.3 ชุดการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test)

3.2.4 แม่แรงดันก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากโมล (Hydraulic Jet) ใช้สำหรับดันก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิลดลงออกจากโมลด้วยแม่แรง



รูปที่ 3.4 แม่แรงดันก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากแบบหล่อ (Hydraulic Jet)

3.2.5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิและทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต (Universal Testing Machine) ด้วยโปรแกรม (The Nottingham Asphalt Tester, NAT-NU 10) สำหรับการศึกษานี้ วัดค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุผสมแอสฟัลต์ภายใต้สภาวะที่มีน้ำหนักกระทำซ้ำ

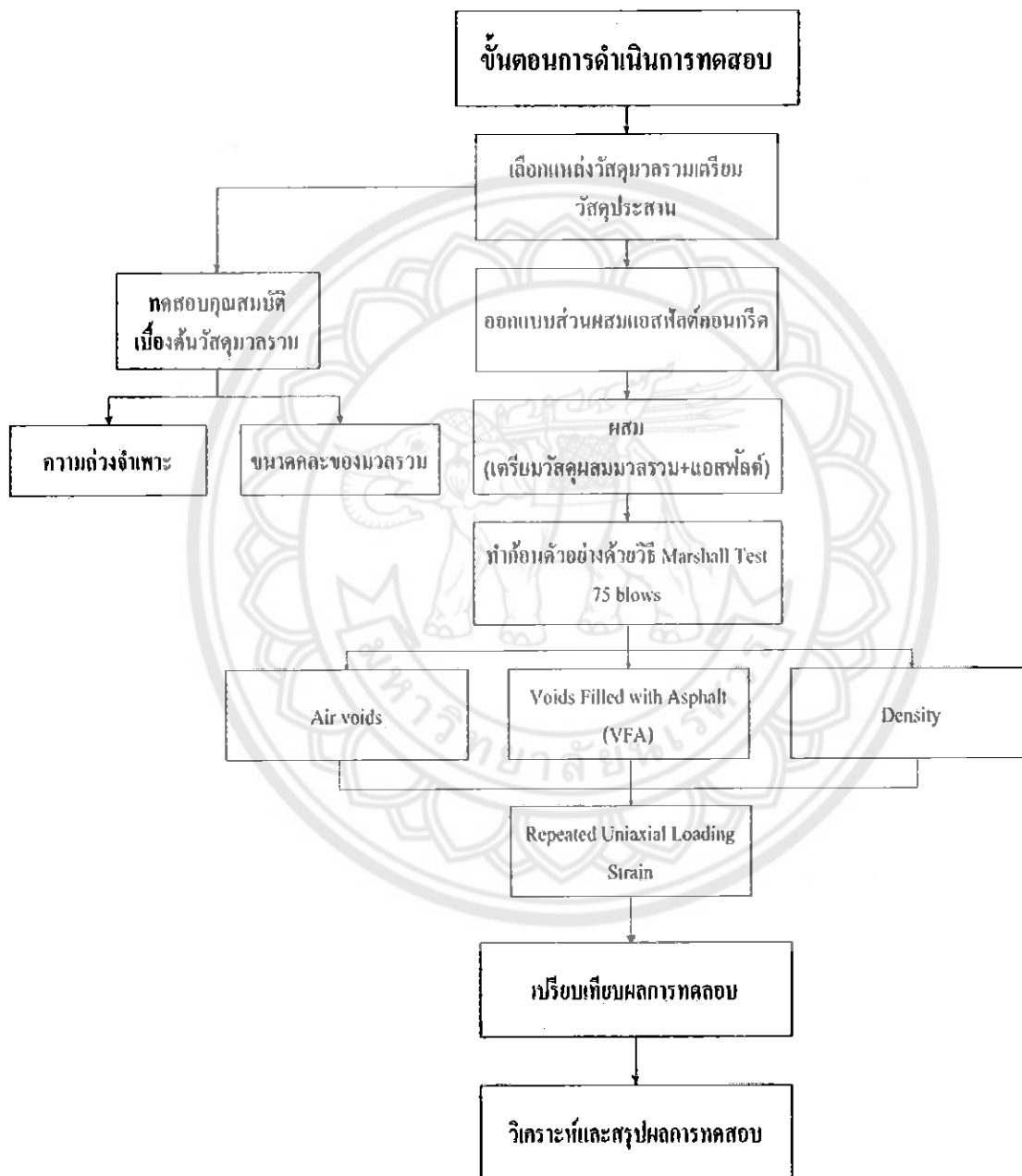


รูปที่ 3.5 เครื่องควบคุมอุณหภูมิและทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต (Universal Testing Machine, UTM) และ (The Nottingham Asphalt Tester, NAT-NU 10)

### 3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

การศึกษาคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นการศึกษาการเปลี่ยนรูปหรือการคืบตัวของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตภายใต้แรงกระทำและอุณหภูมิต่างๆ สำหรับขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา



### 3.3.1 ขั้นตอนการเลือกวัสดุผสมรวมและวัสดุประสาน

เลือกมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด จากโรงโม่หินศิลาพัฒนา บ้านด่านลานหอย อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย ซึ่งมวลรวมนี้เป็นหินปูน จากภูเขาหินปูน เป็นหิน cold bin มีขนาดคละต่างๆ ดังนี้ หินฝุ่น หิน 3/4 นิ้ว หิน 1/2 นิ้ว และหิน 3/8 นิ้ว ทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของหิน เช่น ขนาดคละและความถ่วงจำเพาะของมวลรวมตามมาตรฐาน (ASTM C33) เตรียมวัสดุประสานยาง AC 60/70 และ ยางแอสฟัลต์ผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Cement)

### 3.3.2 ขั้นตอนการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

นำวัสดุได้แก่ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และชนิดยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ไปอบที่อุณหภูมิต่างๆ เช่น แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt, HMA) แอสฟัลต์คอนกรีตความเสียดทานสูง (High-Friction, HF) มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียดและยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) อบให้ได้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ส่วน แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น วัสดุผสมให้ควบคุมอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส นำมวลรวมและวัสดุประสานมาผสมกันในปริมาณต่างๆที่ได้จากการออกแบบ แต่ละก้อนจะมีน้ำหนัก 1200 กรัม จากนั้นผสมในกะละมังผสมด้วยเกียง คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันในระยะเวลาไม่เกิน 1 นาที ควบคุมอุณหภูมิตามที่ได้กำหนดไว้ เช็ควัสดุด้วย เทอร์มอมิเตอร์ (Thermometer) พักไว้ให้อุณหภูมิคงที่

### 3.3.3 ขั้นตอนการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test)

เตรียมแบบหล่อแอสฟัลต์คอนกรีต (Mold) ไปอุ่นที่ความร้อนระดับ 1 ใ้ใช้กำลังไฟจาก กระทะไฟฟ้า (Hot Plate) 1000W เมื่ออุณหภูมิของแอสฟัลต์ในกะละมังผสมคงที่จึงนำไปเทในแบบหล่อแอสฟัลต์ (Mold) รองแบบด้วยกระดาษกรองเพื่อป้องกันเนื้อแอสฟัลต์ติดแบบ ต่ำส่วนผสมทั้งหมด 25 ครั้ง จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test) ตามมาตรฐาน (ASTM D 1559) ที่ 75 ครั้ง จำลองปริมาณการจราจรที่หนาแน่น บดอัดให้เท่ากันทั้งสองด้าน เมื่อครบจำนวนรอบแล้วให้นำออกมาพักไว้ให้เย็น จากนั้นนำแม่แรงดันก้อนคอนกรีตออกจากแบบหล่อ (Hydraulic Jet)

### 3.3.4 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต

นำก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความหนาแน่นและช่องว่างในอากาศ โดยองค์ประกอบเหล่านี้ส่งผลต่อคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต



### 3.3.5 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบ

ในการทดสอบเพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต มี 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt, HMA) ซึ่งแบ่งเป็นขนาดโตสุดของหินที่ 9.5 มิลลิเมตร และ 12.5 มิลลิเมตร แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt, WMA) แบ่งเป็นขนาดโตสุดของหินที่ 9.5 มิลลิเมตร และ 12.5 มิลลิเมตร แอสฟัลต์คอนกรีตแรงเสียดทานสูง (High-Friction, HF) จะใช้ก้อนตัวอย่างชุดละ 3 ก้อน ใช้ก้อนตัวอย่างในการทดลองทั้งหมด 15 ก้อน เลือกจากค่าความหนาแน่น และช่องว่างในอากาศ ที่อุณหภูมิต่างๆดังนี้ 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส ด้วยแรงที่กระทำ Stress 100, 200 และ 300 kPa ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิและทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต (Universal Testing Machine, UTM) โปรแกรม (The Nottingham Asphalt Tester, NAT-NU 10)

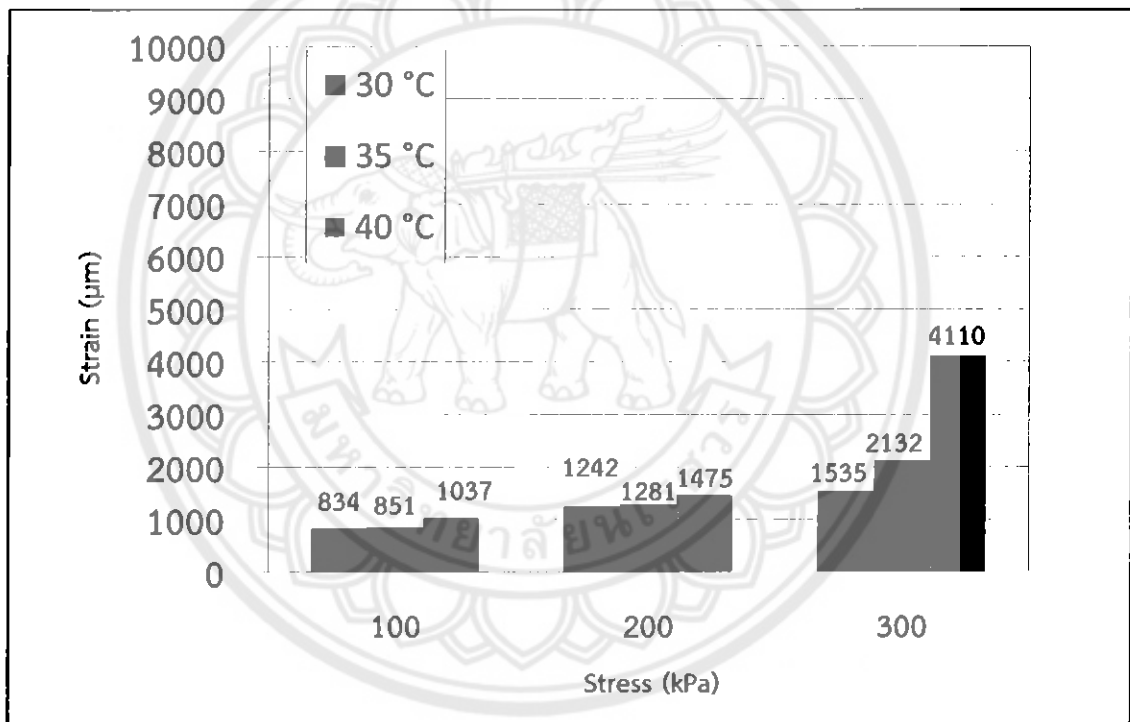
- ชีดเส้นที่ก้อนตัวอย่าง 3 เส้น เพื่อวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและวัดความหนาของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเฉลี่ยกันพร้อมทำการจดบันทึก
- เมื่ออบอุณหภูมิของก้อนตัวอย่างจนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว นำก้อนตัวอย่างใส่ในงานเหล็ก (Steel Platens) ที่มีผิวราบเรียบและขนานกับก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต ปรับตัวแปลงสัญญาณ (Displacement transducer) ลงบนแผ่นงานเหล็ก ในตู้ ควบคุมอุณหภูมิ และทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต (Universal Testing Machine, UTM) จากนั้นจึงดำเนินการใช้โปรแกรมทดสอบคุณสมบัติการกระทำซ้ำของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (The Nottingham Asphalt Tester, NAT-NU 10)
- ทำการทดสอบคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยโปรแกรม (Repeated Load Axial Test, RLAT)
- คอมพิวเตอร์จะทำการบันทึกค่าความเครียด (Strain) ที่ได้จากการทดสอบของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต จากนั้นนำค่าการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

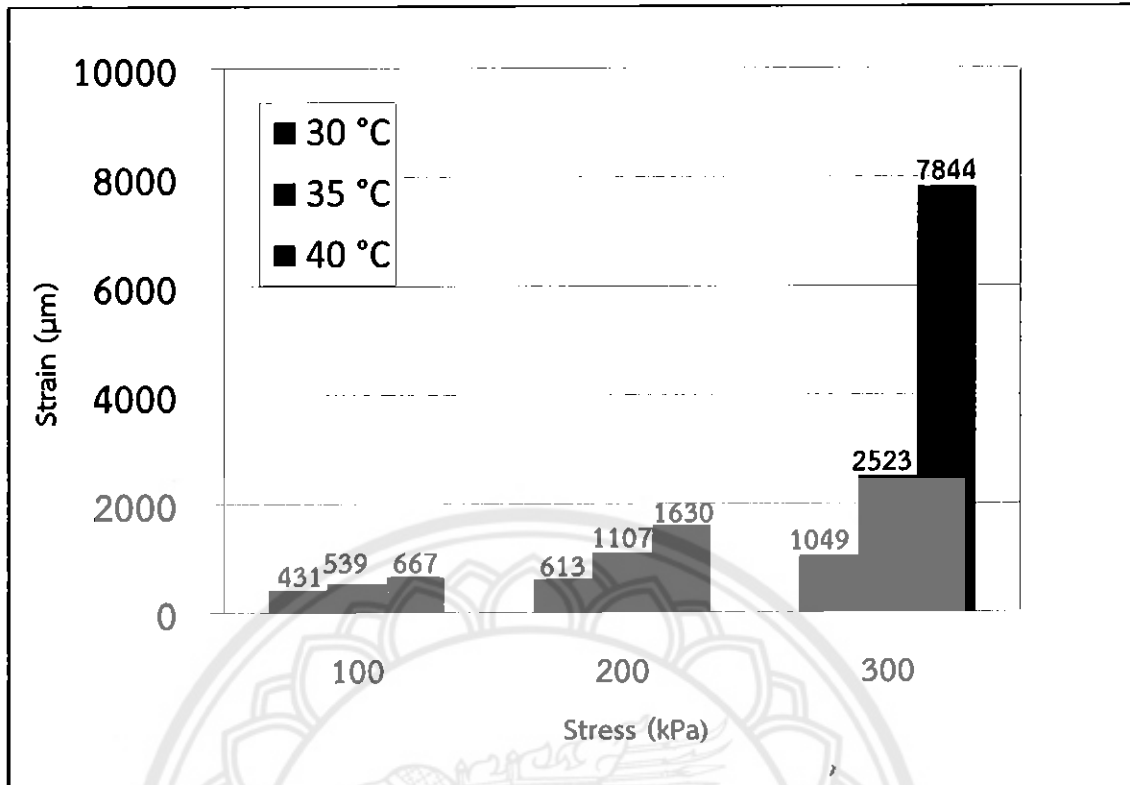
### 4.1 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผลของอุณหภูมิและขนาดแรงที่กระทำ ได้แก่ อุณหภูมิที่ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส แรงกระทำที่ 100, 200 และ 300 kPa และผลของชนิดผิวทาง ได้แก่ AC 9.5, AC 12.5, WMA 9.5, WMA 12.5 และ HF สามารถแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบได้ดังนี้

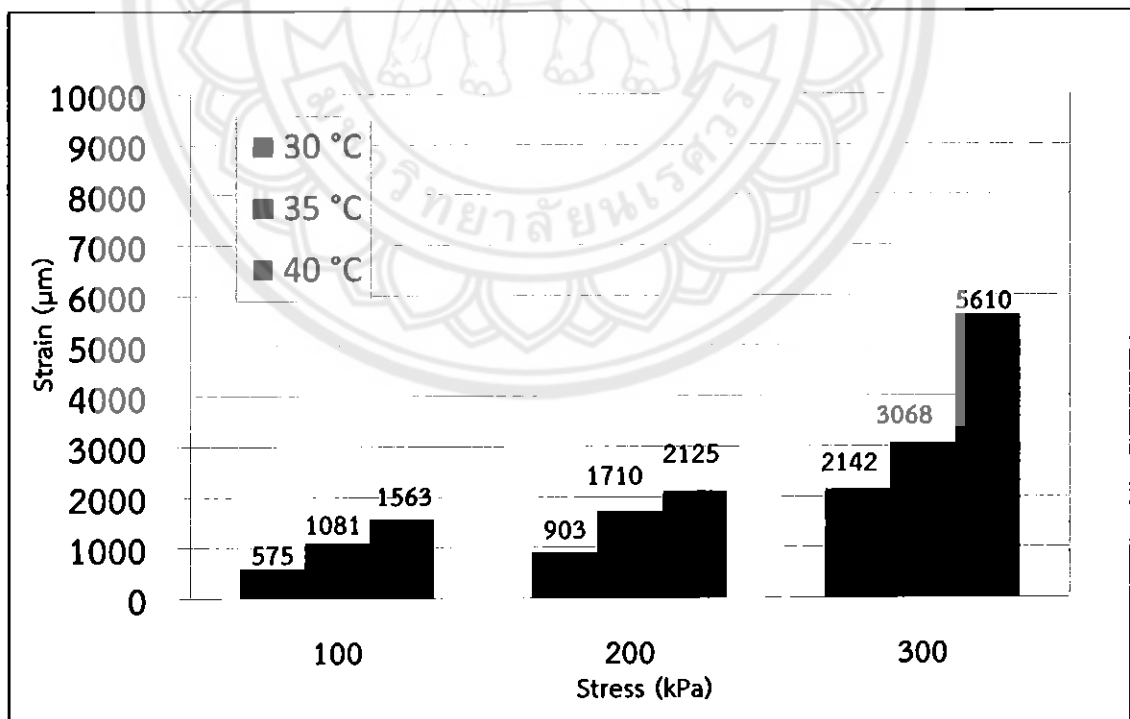
#### 4.1.1 ผลของอุณหภูมิและขนาดแรงที่กระทำ



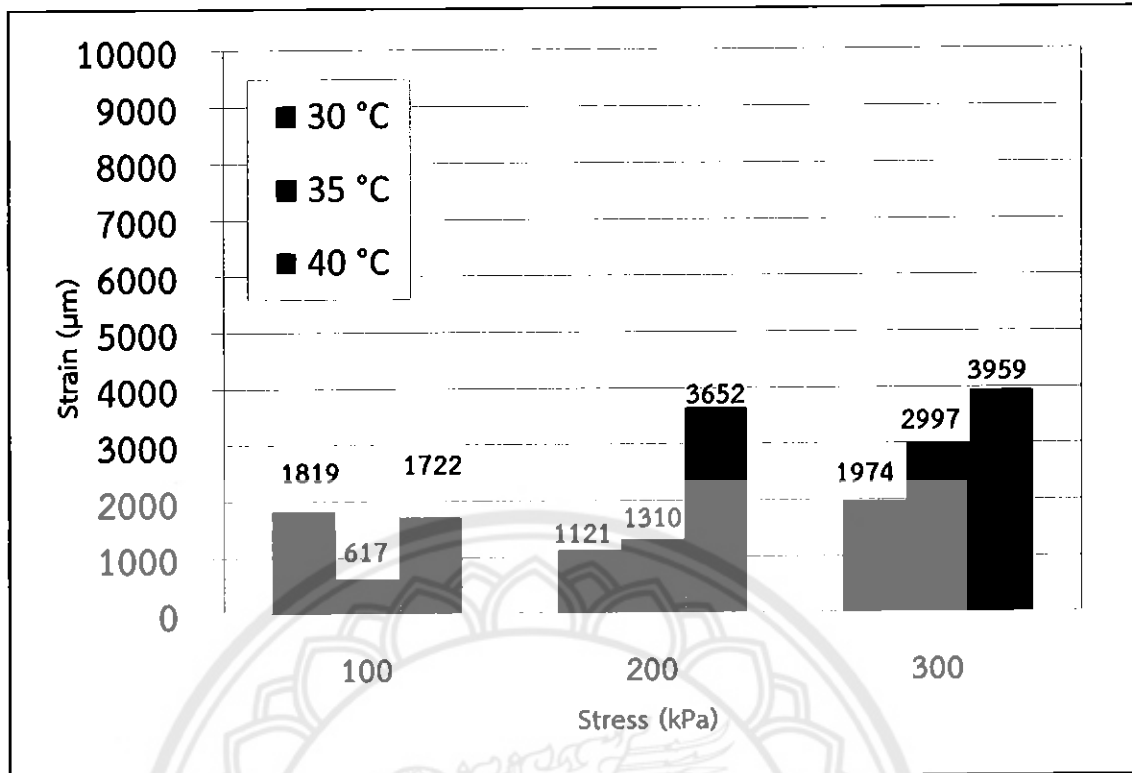
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60/70 9.5



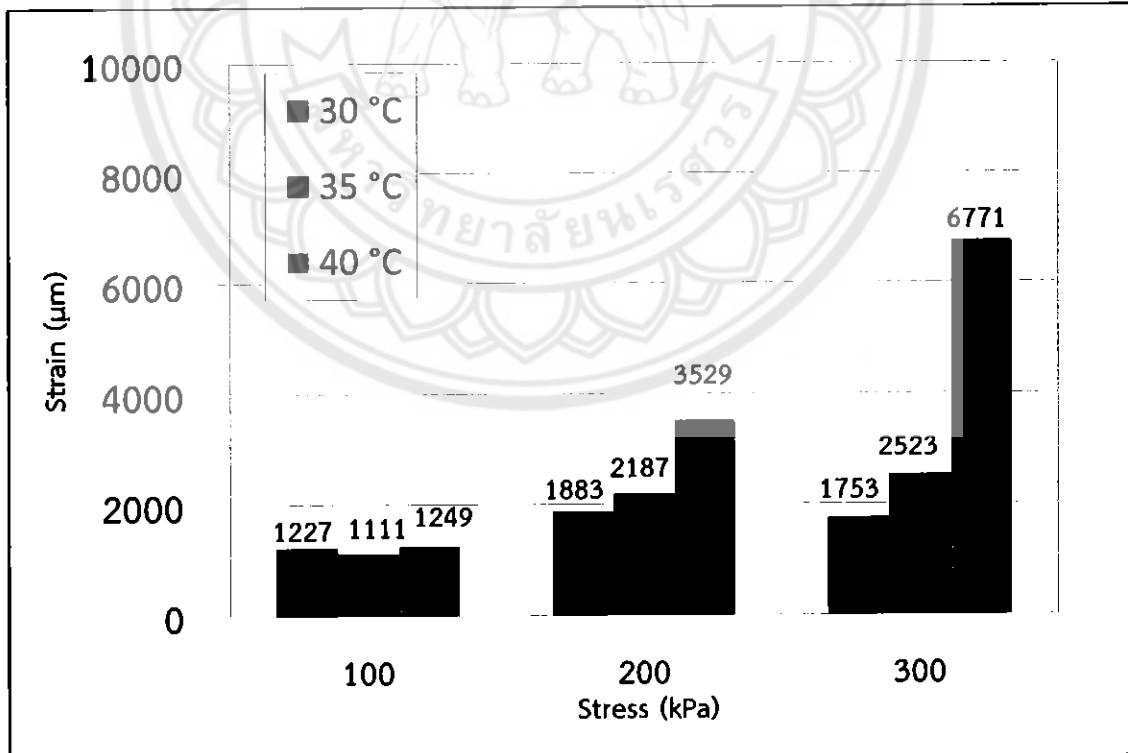
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60/70 12.5



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA 9.5



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด WMA 12.5



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด HF

จากรูปเป็นผลเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของอุณหภูมิและขนาดแรงที่กระทำ ที่อุณหภูมิที่ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส แรงกระทำที่ 100, 200 และ 300 kPa จากการทดสอบพบว่า วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตคืบตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและแรงกระทำ

#### 4.1.2 ผลของชนิดผิวทาง

Stress 100 kPa

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/70 9.5 , AC 60/70 12.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|---------|----------------------------|
| 30                | AC 9.5  | 834                        |
| 30                | AC 12.5 | 431                        |
| 30                | HF      | 1227                       |
| 35                | AC 9.5  | 851                        |
| 35                | AC 12.5 | 539                        |
| 35                | HF      | 1111                       |
| 40                | AC 9.5  | 1037                       |
| 40                | AC 12.5 | 667                        |
| 40                | HF      | 1249                       |

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ WMA 9.5 , WMA 12.5 และ HF

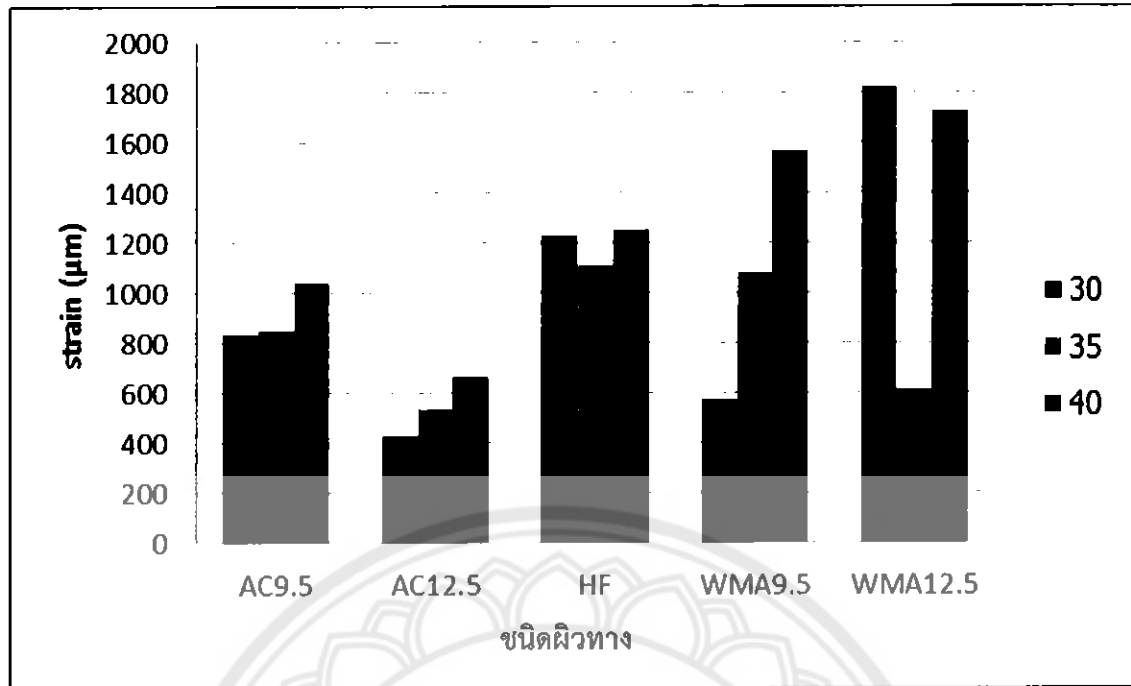
| Temperature<br>°C | Surface  | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|----------|----------------------------|
| 30                | WMA 9.5  | 575                        |
| 30                | WMA 12.5 | 1819                       |
| 30                | HF       | 1227                       |
| 35                | WMA 9.5  | 1081                       |
| 35                | WMA 12.5 | 617                        |
| 35                | HF       | 1111                       |
| 40                | WMA 9.5  | 1563                       |
| 40                | WMA 12.5 | 1722                       |
| 40                | HF       | 1249                       |

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/70 9.5 , WMA 9.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|---------|----------------------------|
| 30                | AC 9.5  | 834                        |
| 30                | WMA 9.5 | 575                        |
| 30                | HF      | 1227                       |
| 35                | AC 9.5  | 851                        |
| 35                | WMA 9.5 | 1081                       |
| 35                | HF      | 1111                       |
| 40                | AC 9.5  | 1037                       |
| 40                | WMA 9.5 | 1563                       |
| 40                | HF      | 1249                       |

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/70 12.5 , WMA 12.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface  | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|----------|----------------------------|
| 30                | AC 12.5  | 431                        |
| 30                | WMA 12.5 | 1819                       |
| 30                | HF       | 1227                       |
| 35                | AC 12.5  | 539                        |
| 35                | WMA 12.5 | 617                        |
| 35                | HF       | 1111                       |
| 40                | AC 12.5  | 667                        |
| 40                | WMA 12.5 | 1722                       |
| 40                | HF       | 1249                       |



รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชนิดผิวทางที่แรงกระทำ 100 kPa

Stress 200 kPa

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/709.5, AC 60/7012.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface | Creep<br>(µε) |
|-------------------|---------|---------------|
| 30                | AC 9.5  | 1242          |
| 30                | AC 12.5 | 613           |
| 30                | HF      | 1883          |
| 35                | AC 9.5  | 1281          |
| 35                | AC 12.5 | 1107          |
| 35                | HF      | 2187          |
| 40                | AC 9.5  | 1475          |
| 40                | AC 12.5 | 1630          |
| 40                | HF      | 3529          |

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ WMA 9.5 , WMA 12.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface  | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|----------|----------------------------|
| 30                | WMA 9.5  | 903                        |
| 30                | WMA 12.5 | 1121                       |
| 30                | HF       | 1883                       |
| 35                | WMA 9.5  | 1710                       |
| 35                | WMA 12.5 | 1310                       |
| 35                | HF       | 2187                       |
| 40                | WMA 9.5  | 2125                       |
| 40                | WMA 12.5 | 3652                       |
| 40                | HF       | 3529                       |

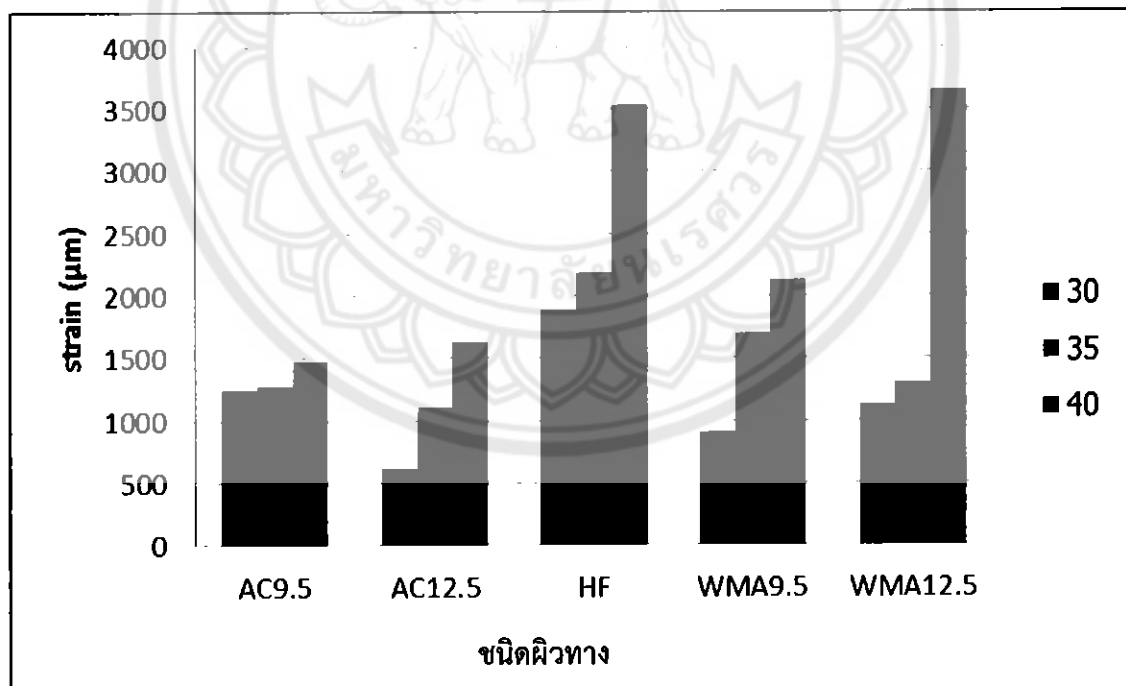
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/70 9.5 , WMA 9.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|---------|----------------------------|
| 30                | AC 9.5  | 1242                       |
| 30                | WMA 9.5 | 903                        |
| 30                | HF      | 1883                       |
| 35                | AC 9.5  | 1281                       |
| 35                | WMA 9.5 | 1710                       |
| 35                | HF      | 2187                       |
| 40                | AC 9.5  | 1475                       |
| 40                | WMA 9.5 | 2125                       |
| 40                | HF      | 3529                       |



ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/70 12.5 , WMA 12.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface  | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|----------|----------------------------|
| 30                | AC 12.5  | 613                        |
| 30                | WMA 12.5 | 1121                       |
| 30                | HF       | 1883                       |
| 35                | AC 12.5  | 1107                       |
| 35                | WMA 12.5 | 1310                       |
| 35                | HF       | 2187                       |
| 40                | AC 12.5  | 1630                       |
| 40                | WMA 12.5 | 3652                       |
| 40                | HF       | 3529                       |



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชนิดผิวทางที่แรงกระทำ 200 kPa

Stress 300 kPa

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/709.5, AC 60/7012.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|---------|----------------------------|
| 30                | AC 9.5  | 1535                       |
| 30                | AC 12.5 | 1049                       |
| 30                | HF      | 1753                       |
| 35                | AC 9.5  | 2132                       |
| 35                | AC 12.5 | 2523                       |
| 35                | HF      | 2752                       |
| 40                | AC 9.5  | 4110                       |
| 40                | AC 12.5 | 7844                       |
| 40                | HF      | 6771                       |

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ WMA 9.5 , WMA 12.5 และ HF

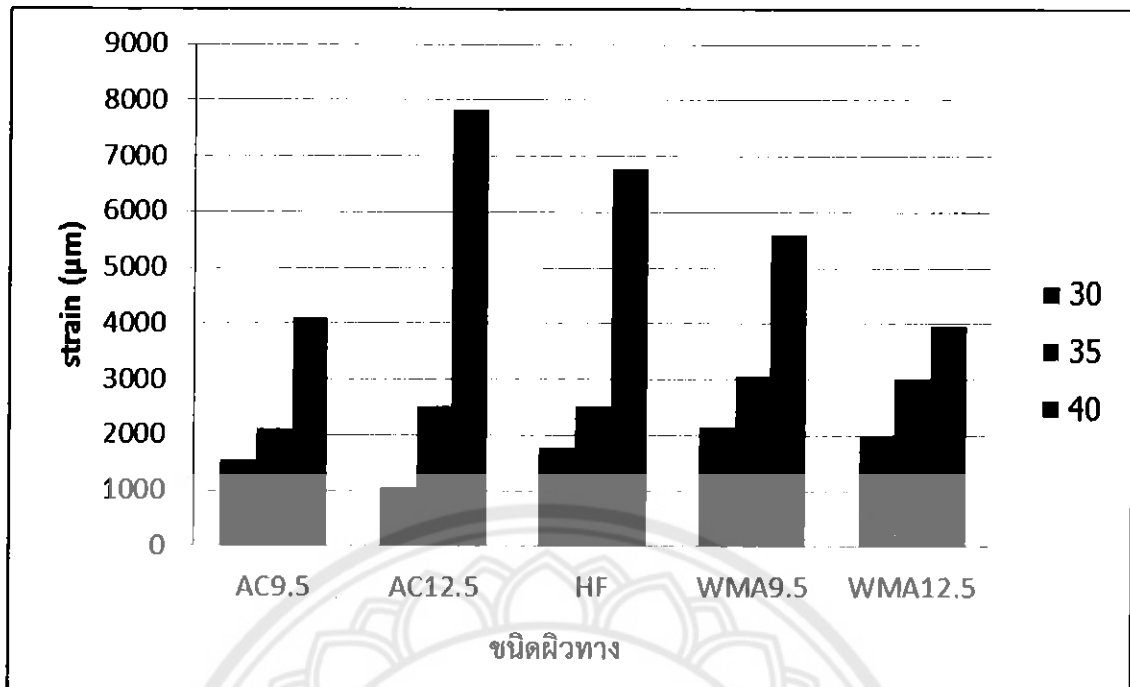
| Temperature<br>°C | Surface  | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|----------|----------------------------|
| 30                | WMA 9.5  | 2142                       |
| 30                | WMA 12.5 | 1974                       |
| 30                | HF       | 1753                       |
| 35                | WMA 9.5  | 3068                       |
| 35                | WMA 12.5 | 3502                       |
| 35                | HF       | 2752                       |
| 40                | WMA 9.5  | 5610                       |
| 40                | WMA 12.5 | 3959                       |
| 40                | HF       | 6771                       |

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/70 9.5 , WMA 9.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|---------|----------------------------|
| 30                | AC 9.5  | 1535                       |
| 30                | WMA 9.5 | 2142                       |
| 30                | HF      | 1753                       |
| 35                | AC 9.5  | 2132                       |
| 35                | WMA 9.5 | 3068                       |
| 35                | HF      | 2752                       |
| 40                | AC 9.5  | 4110                       |
| 40                | WMA 9.5 | 5610                       |
| 40                | HF      | 6771                       |

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับ AC 60/70 12.5 , WMA 12.5 และ HF

| Temperature<br>°C | Surface  | Creep<br>( $\mu\epsilon$ ) |
|-------------------|----------|----------------------------|
| 30                | AC 12.5  | 1049                       |
| 30                | WMA 12.5 | 1974                       |
| 30                | HF       | 1753                       |
| 35                | AC 12.5  | 2523                       |
| 35                | WMA 12.5 | 3502                       |
| 35                | HF       | 2752                       |
| 40                | AC 12.5  | 7844                       |
| 40                | WMA 12.5 | 3959                       |
| 40                | HF       | 6771                       |



รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชนิดผิวทางที่แรงกระทำ 300 kPa

การทดสอบหาค่าการคืบตัวแบบกระทำซ้ำในแนวแกน สามารถหาได้จากการทดสอบ Repeated Load Axial Test (RLAT) ลักษณะน้ำหนักเป็นการกระทำแบบซ้ำๆ (Repeated Load) มีจังหวะการกระทำไปในแนวตั้งตั้งฉากกับหน้าตัดของก้อนตัวอย่าง ผลจากการกระทำของน้ำหนักจะทำให้ก้อนตัวอย่างเกิดการยุบตัวเข้า - ออกแบบชั่วคราวในแนวราบ วัดได้ละเอียดมากกว่า 1 micron การทดสอบ Repeated Load Axial Test (RLAT) แต่ละครั้งต้องควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนด ตามมาตรฐานการทดสอบ (BSi, DD 226:1996) ความผิดพลาดของอุณหภูมิ ที่คลาดเคลื่อนไป 1 องศาเซลเซียส ส่งผลทำให้ค่าการคืบตัวแตกต่างกันไปถึง 10 เปอร์เซ็นต์

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าการคืบตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชนิดผิวทาง เปรียบเทียบชนิดผิวทาง AC 9.5 และ AC 12.5 พบว่าชนิดผิวทางที่ AC 12.5 มีการคืบตัวต่ำกว่า ชนิดผิวทาง AC 9.5 เนื่องจากชนิดผิวทาง AC 12.5 มีมวลรวมหยาบในอัตราส่วนผสมมากกว่าชนิดผิวทาง AC 9.5

เปรียบเทียบชนิดผิวทาง WMA 9.5 และ WMA 12.5 พบว่าชนิดผิวทางที่ WMA 12.5 มีการคืบตัวต่ำกว่าชนิดผิวทาง WMA 9.5 เนื่องจากชนิดผิวทาง WMA 12.5 มีมวลรวมหยาบในอัตราส่วนผสมมากกว่าชนิดผิวทาง WMA 9.5 (เหมือนกับชนิดผิวทาง AC )

เปรียบเทียบชนิดผิวทาง AC 9.5 และ WMA 9.5 พบว่า ที่ แรงกระทำ 100 kPa และ 200 kPa ชนิดผิวทาง WMA 9.5 มีการคืบตัวต่ำกว่า ชนิดผิวทาง AC 9.5 แต่ที่แรงกระทำที่ 300 kPa WMA 9.5 มีการคืบตัวสูงกว่า AC 9.5

เปรียบเทียบชนิดผิวทาง AC 12.5 และ WMA 12.5 พบว่า ผิวทาง AC 12.5 มีการคืบตัวต่ำกว่าผิวทาง WMA 12.5

เปรียบเทียบชนิดผิวทาง HF กับทุกชนิดผิวทาง พบว่าที่แรงกระทำ 100 kPa และแรงกระทำ 200 kPa ชนิดผิวทาง HF มีค่าการคืบตัวสูงที่สุดมากกว่าทุกผิวทาง แต่ที่แรงกระทำ 300 kPa ชนิดผิวทาง HF มีค่าการคืบตัวต่ำกว่า ชนิดผิวทาง WMA 9.5 และชนิดผิวทาง WMA 12.5

จากผลการเปรียบเทียบชนิดผิวทางของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าชนิดผิวทาง AC 12.5 มีค่าการสึกตัวต่ำสุด



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการนำวัสดุหินปูน จากโรงโม่หินศิลาพัฒนาจังหวัดสุโขทัย ผสมกับยางแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 และ Warm-Mix Asphalt Cement มาทำการทดสอบ ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบค่าการคืบตัวพบว่าก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าการคืบตัวสูงตามอุณหภูมิและขนาดแรงที่เพิ่มขึ้น
2. ผลการทดสอบเปรียบเทียบชนิดยางพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางชนิด AC60/70 ขนาด 12.5 มีการคืบตัวต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าสามารถต้านทานต่อความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิและแรงกระทำได้ดี

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เมื่อสิ้นสุดการศึกษา มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

##### ปัญหาและอุปสรรค

1. แรงกระทำซ้ำภายในตู้ทดสอบอาจทำให้ LVDT หลุดได้ ควรหมั่นตัวล็อก LVDT ให้แน่นก่อนทำการทดสอบ

##### ข้อเสนอแนะ

1. NAT เป็นเครื่องทดสอบหาคคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการหาคคุณสมบัติด้านการคืบของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตนอกเหนือจากนี้ได้ เช่น โพลีเมอร์โมดิไฟด์แอสฟัลต์ สโตนมาสติกแอสฟัลต์ เป็นต้น
2. ข้อมูลการศึกษาเหล่านี้มีวิธีการศึกษา และขั้นตอนการทำโดยละเอียดสามารถเป็นแนวทางพื้นฐานในการศึกษาคุณสมบัติการกระทำซ้ำในแนวแกนของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต หรือคุณสมบัติอื่นๆได้

## เอกสารอ้างอิง

1. กฤษณะ จันทรโชติ (2551). คุณสมบัติต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุแอสฟัลต์ที่ผสมกับหินแกรนิตโดยการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551
2. ทวิช ชอบพานิช (2552).การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70, เกรด 40/50 และ โพลีเมอร์โมดิฟายด์ แอสฟัลต์ โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐานซูเปอร์เพฟ. กรุงเทพฯ.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552
3. อีรยุทธ อุดมสินประเสริฐ และคณะ (2556). การนำวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 40-50 มาใช้งานในสายทางรถบรรทุกหนัก. กรุงเทพฯ.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2556
4. นภัสรพี อนันตชัยพงศ์ และคณะ (2552). การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุผสมแอสฟัลต์ชนิดโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์กับชนิดแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC60/70 และ AC 40/50 โดยวิธีทดสอบซูเปอร์เพฟ. รายงานฉบับที่ 70 ปีที่ 22 วิศวกรรมสาร มก. พฤศจิกายน 2552
5. บุญพล มีไชโย (2550). รายงานการวิจัย แนวโน้มของความแข็งแกร่งกับเวลาและอุณหภูมิในการทดสอบของแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับผิวทางสนามบินสุวรรณภูมิ. งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2550
6. วชิรินทร์ วิทยกุล. การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน วิธีมาร์แชลล์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544
7. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2556).โครงการปรับปรุงคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการเสริมกำลังด้วยเส้นใย. การสัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และตรวจสอบ ประจำปีงบประมาณ 2557
8. Al-Khateeb, L.A., Saoud, A., and Al-Msouti, M.F. (2011), Rutting Prediction of Flexible Pavements Using Finite Element Modeling, Jordan Journal of Civil Engineering, Vol. 5, No. 2,pp. 173-190.
9. BSi STANDARDS (BS-DD 226:1996). Method for determining resistance to permanent deformation of bituminous mixtures subject to unconfined dynamic loading. Thai Industrial Standards Institute.
10. Cooper Research Technology Limited-July 1998. The NU 10 User Manual.
11. Dong, Z.J., Sun, Z.J., Gong, X.B., and Liu, H. (2010), Mechanism Analysis of Rutting at Urban Intersections Based on Numerical Simulation of Moving Loads, Advanced Materials Research, Vol. 152-153, pp. 1192-1198.

12. S.F. Brown, K.E. Cooper, J.M. Gibb, J.M. Read and T.V. Scholz. 1994. Practical Tests for Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt. 6<sup>th</sup> Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa.







ผลการวัดปริมาณการจราจรและการตรวจวัดอุณหภูมิผิวถนน

| เวลา        | แก้ง/    |       |       |         |          |        |          |       |
|-------------|----------|-------|-------|---------|----------|--------|----------|-------|
|             | อุณหภูมิ | กระบะ | รถตู้ | รถหกล้อ | รถสิบล้อ | รถพ่วง | รถน้ำมัน | อื่นๆ |
| 12.00-13.00 | 41.5 °C  | 529   | 11    | 39      | 19       | 23     | 8        | 6     |

รูปที่ 1 ปริมาณการจราจรและการตรวจวัดอุณหภูมิผิวถนน ที่แยกวัดสภาน้ำมัน จังหวัดพิษณุโลก

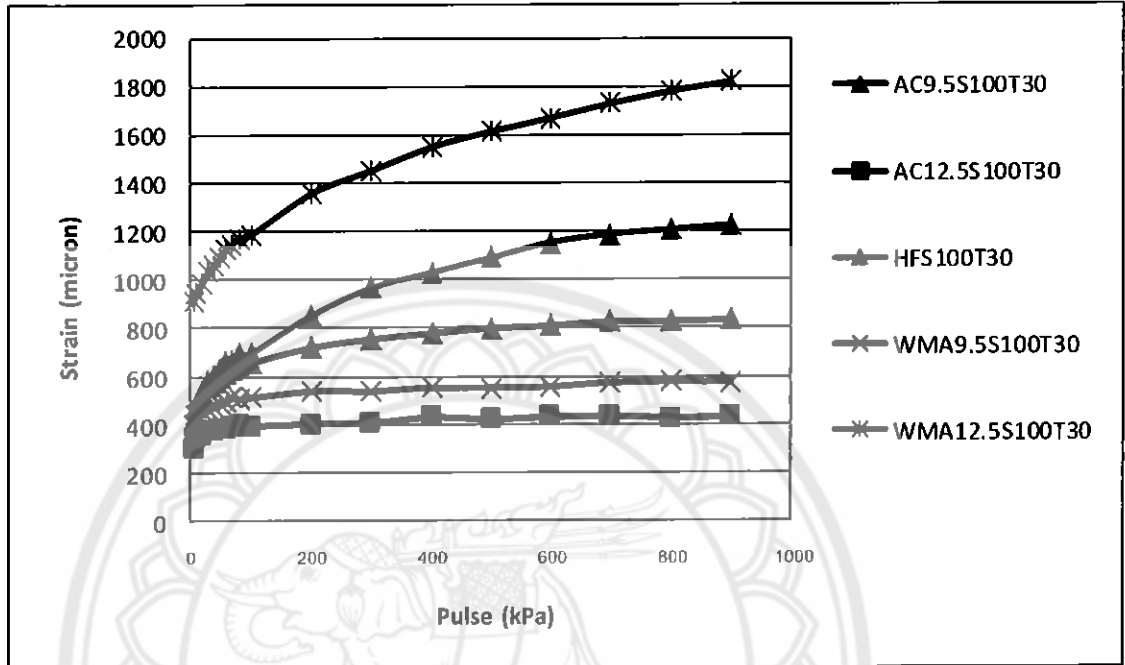
ผลคุณสมบัติเชิงปริมาตรของส่วนผสมของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต

| AC 60/70 | WMA         | AC 60/70 | HF | คุณสมบัติเชิงปริมาตร |          |          |          | รวม | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|----------|-------------|----------|----|----------------------|----------|----------|----------|-----|-----------|---------------------|
|          |             |          |    | ความหนาแน่น          | ความพรุน | ค่าดัชนี | ค่าดัชนี |     |           |                     |
| AC 9.5   | 49:51:00:00 | 5.0      |    |                      |          |          |          | 6.1 | 4.9       | 4.8                 |
| AC 12.5  | 47:22:13:18 | 5.2      |    |                      |          |          |          | 3.2 | 3.5       | 3.1                 |
| AC 9.5   | 49:51:00:00 | 5.0      |    |                      |          |          |          | 3.2 | 3.7       | 4.2                 |
| AC 12.5  | 47:22:13:18 | 5.2      |    |                      |          |          |          | 3.7 | 3.0       | 3.2                 |
| HF       | 35:25:30:10 | 5.0      |    |                      |          |          |          | 2.2 | 2.1       | 1.8                 |

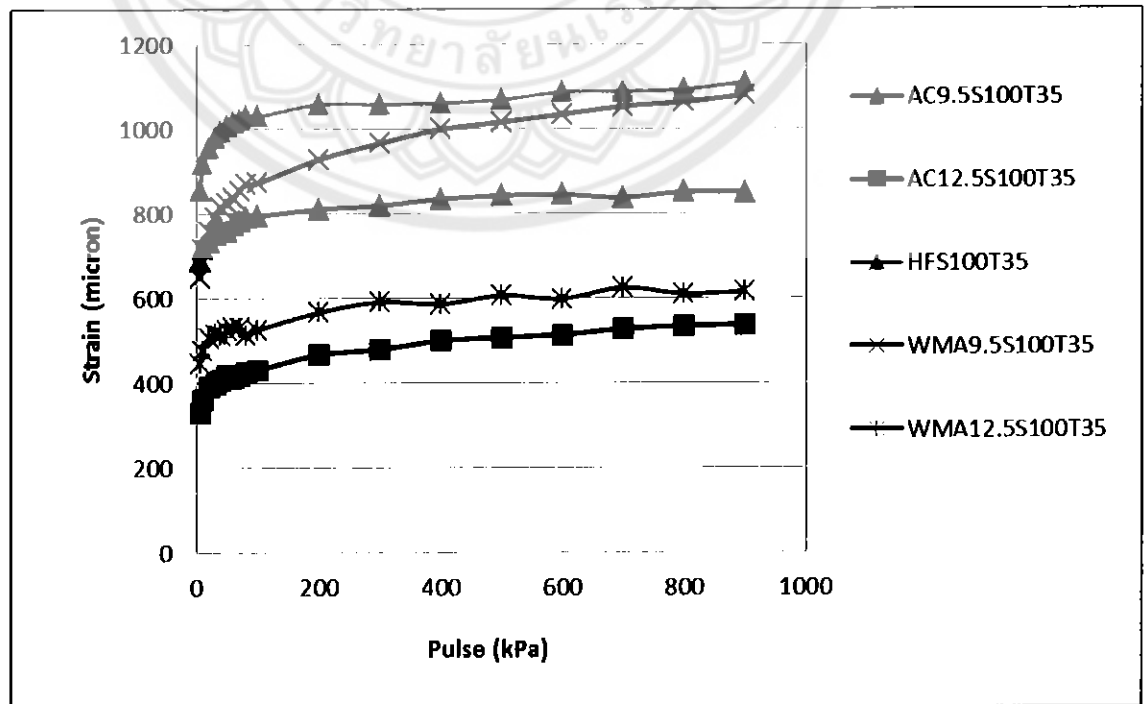
รูปที่ 2 ตารางแสดงผลคุณสมบัติเชิงปริมาตรของส่วนผสมของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต

ผลการทดลอง

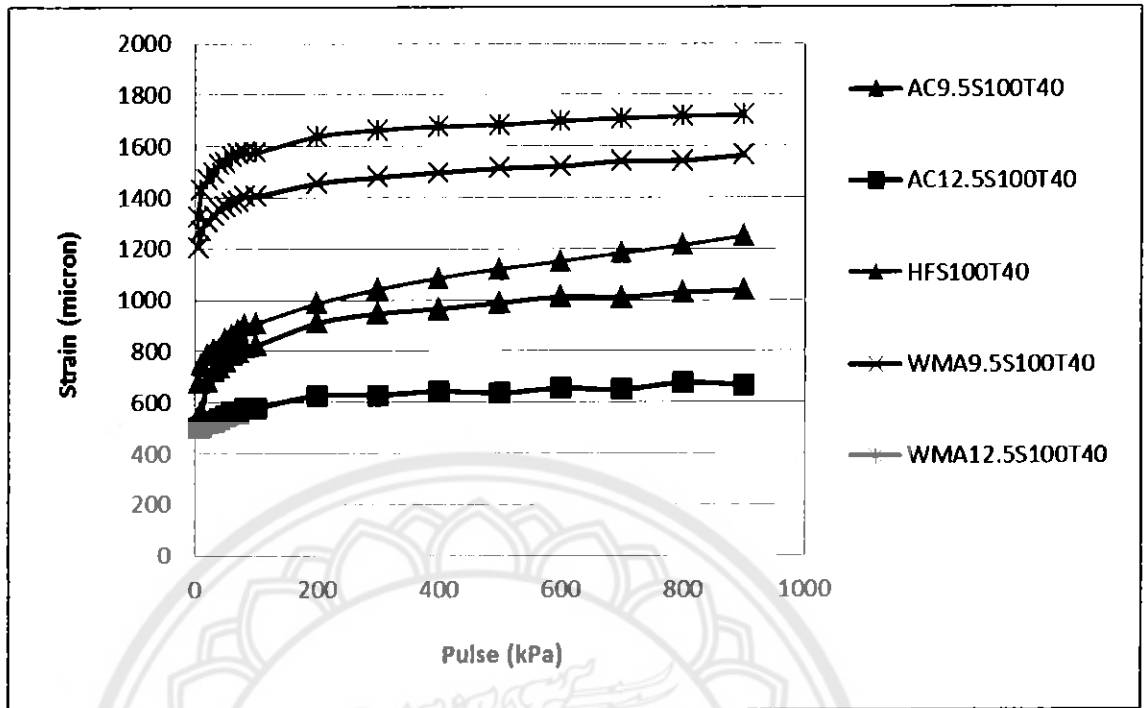
Stress 100 kPa



รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 100 kPa

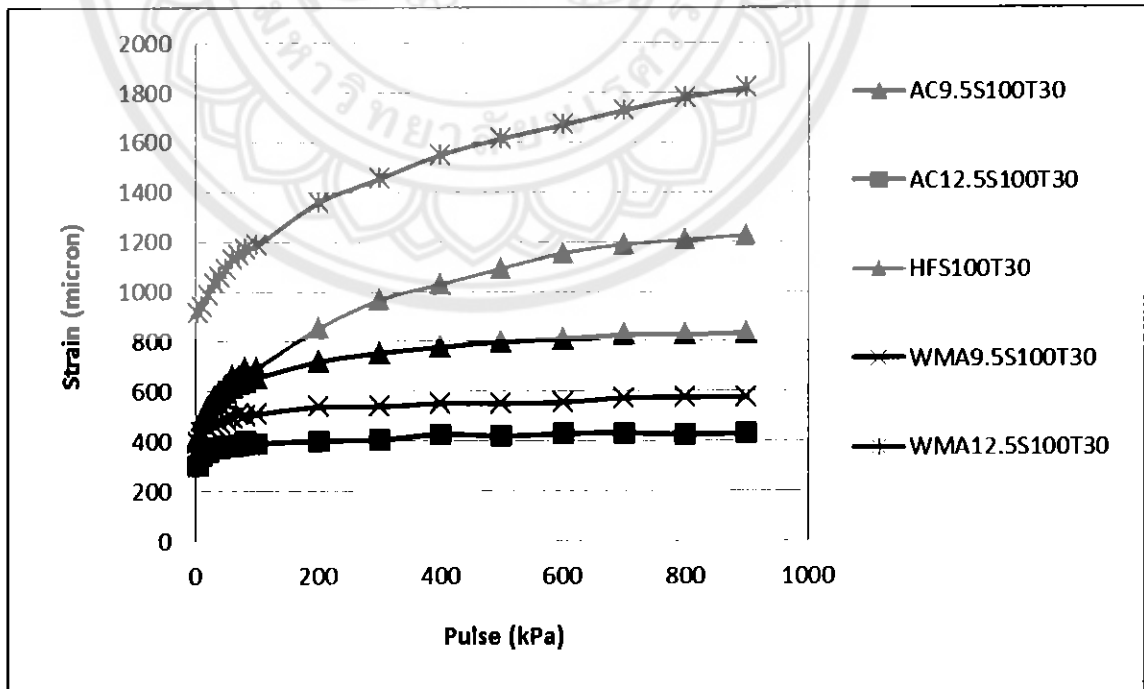


รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 100 kPa

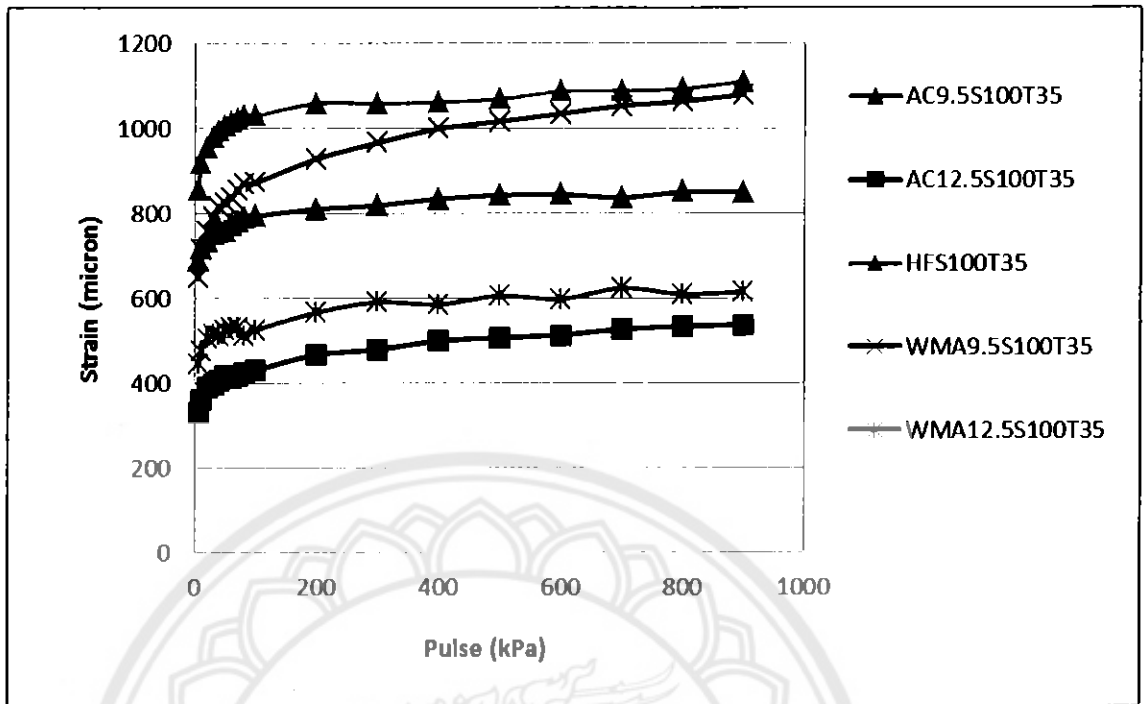


รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 100 kPa

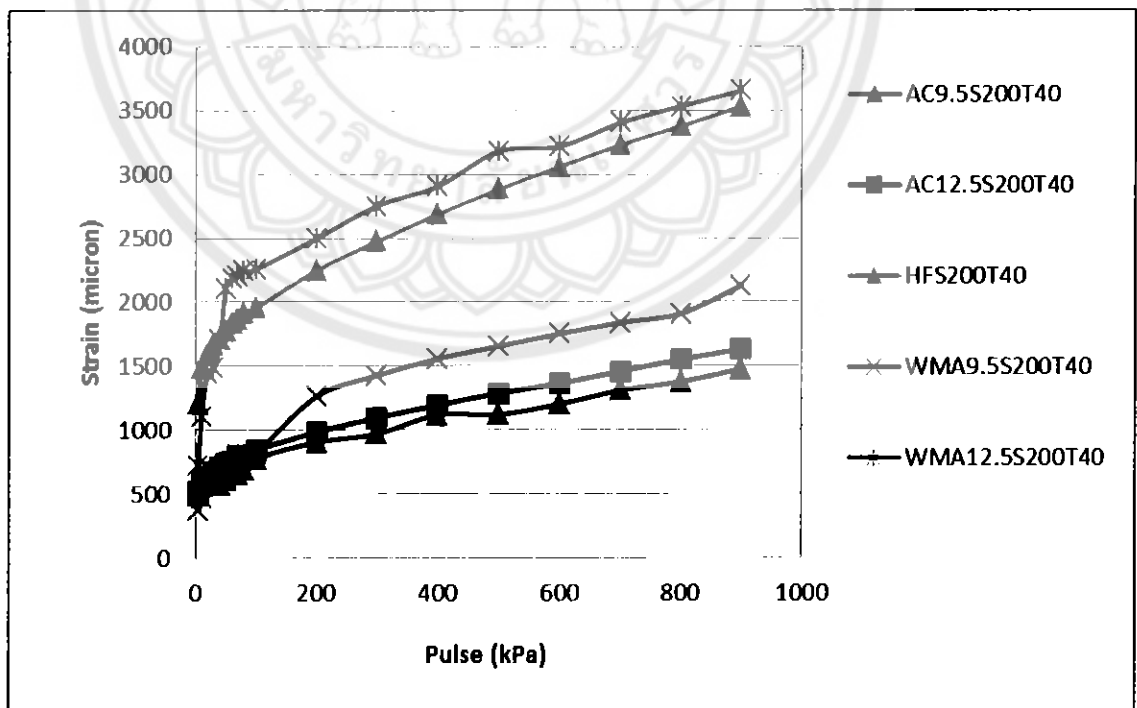
Stress 200 kPa



รูปที่ 6 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 200 kPa

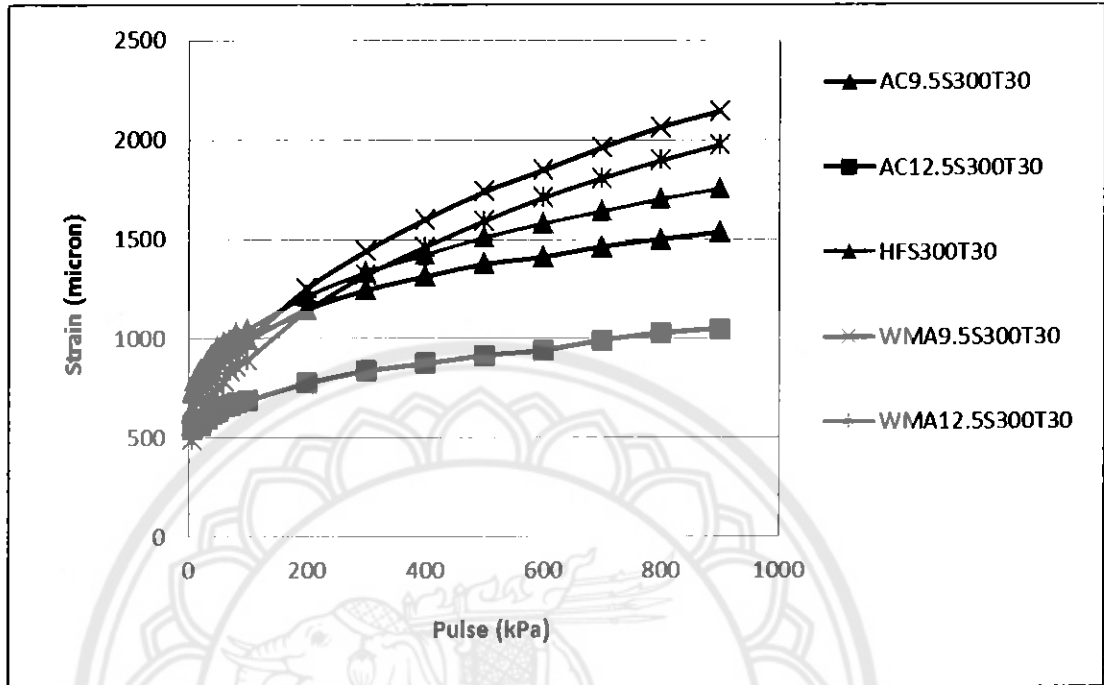


รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 200 kPa

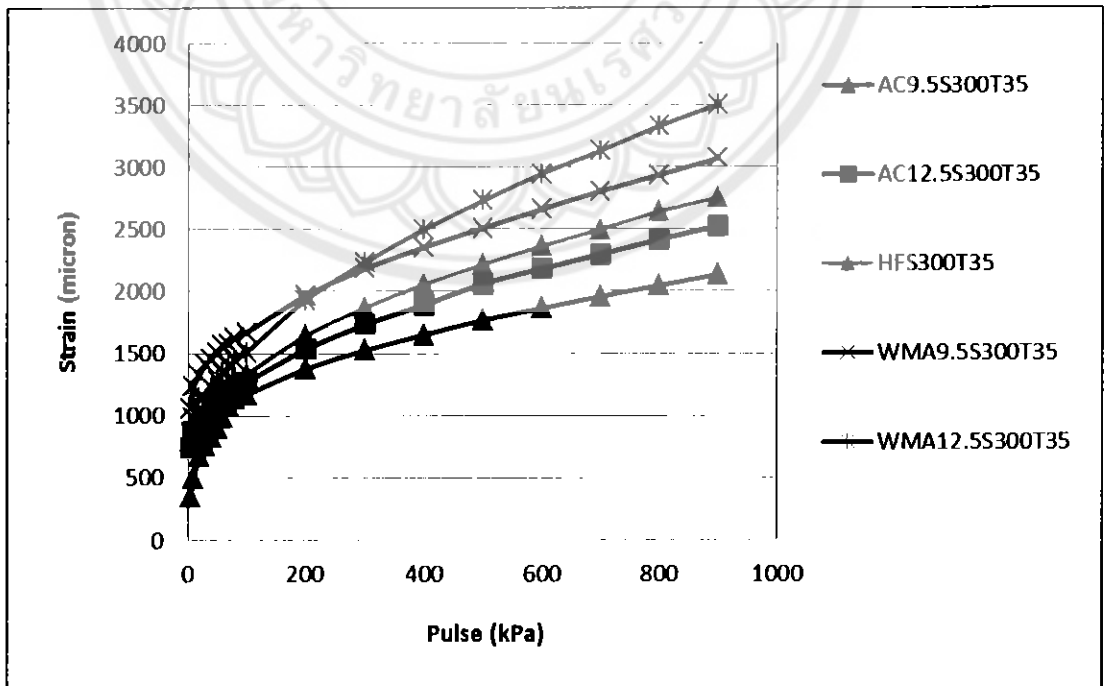


รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 200 kPa

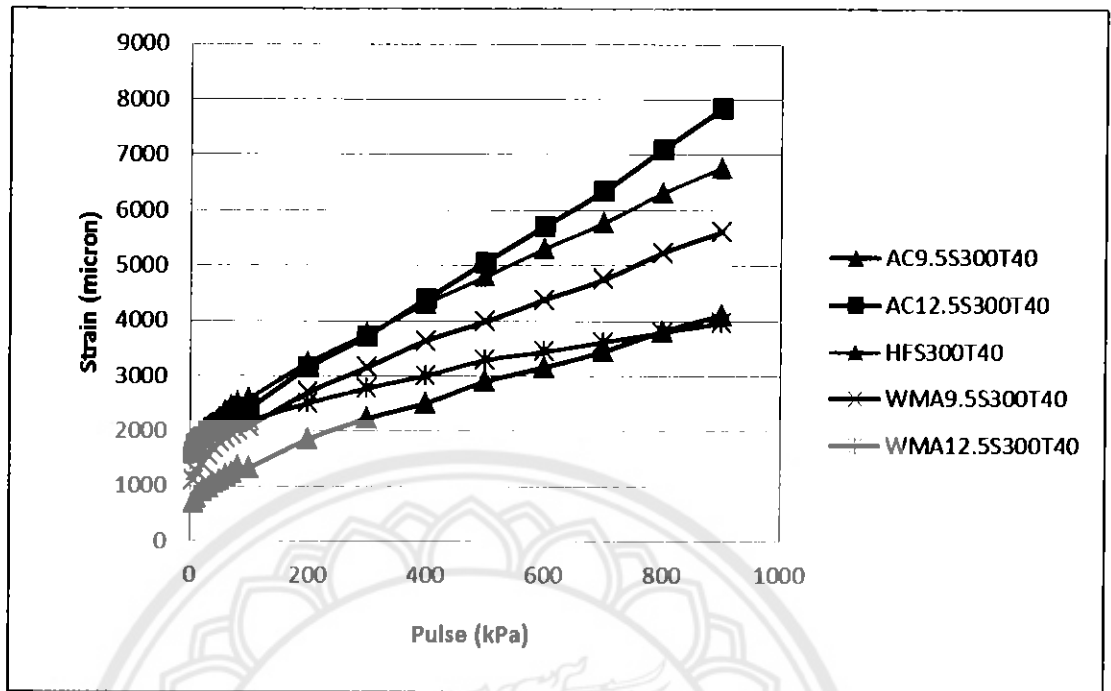
Stress 300 kPa



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 300 kPa



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 300 kPa



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบการคืบตัวของผิวทางที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แรงกระทำ 300 kPa









รูปที่ 1 ทินปุ่น โรงโมหินศิลาพัฒนา อำเภอด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย



รูปที่ 2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 สำนักทางหลวงที่ 5 จังหวัดพิษณุโลก



รูปที่ 3 แบบหล่อก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต (Marshall compaction molds)



รูปที่ 4 ชุดการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test)

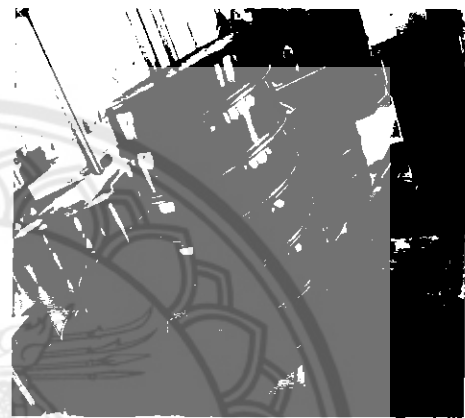
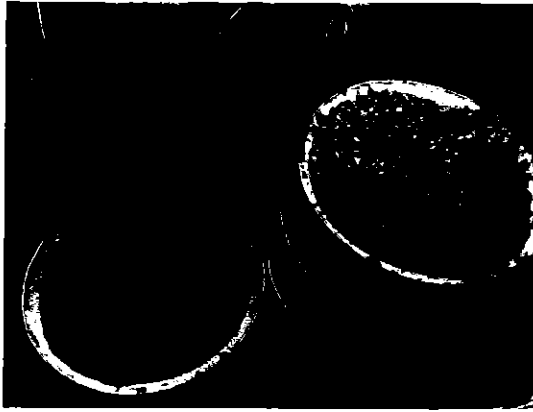


รูปที่ 5 แม่แรงดันก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากแบบหล่อ (Hydraulic Jet)



รูปที่ 6 เครื่องควบคุมอุณหภูมิและทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

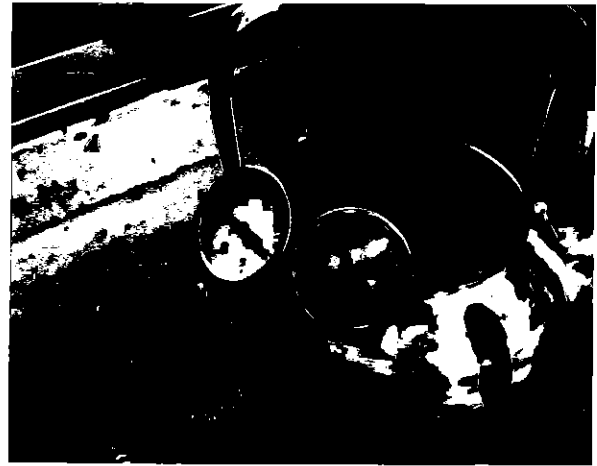
(Universal Testing Machine, UTM) และ (The Nottingham Asphalt Tester, NAT-NU 10)



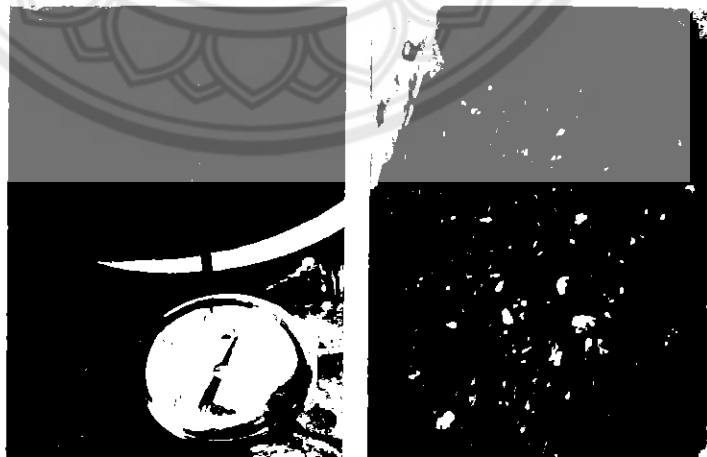
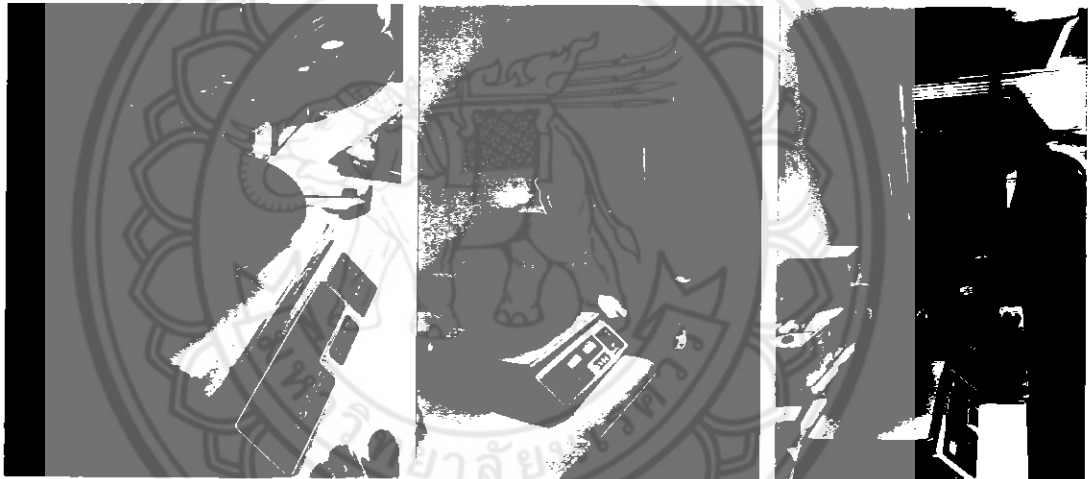
รูปที่ 7 ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม



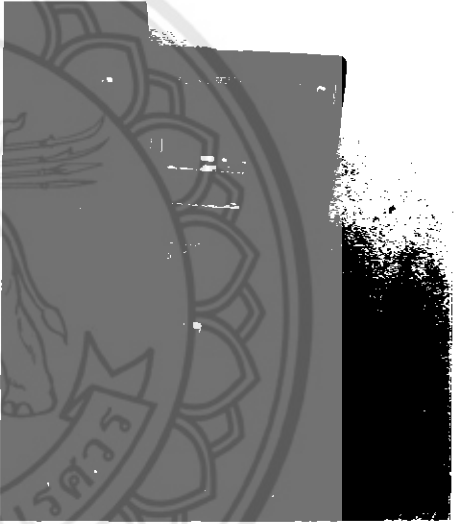
รูปที่ 8 ผสมวัสดุมวลรวมตามอัตราส่วนผสม



รูปที่ 9 อบหินและอุ่นยางไม้ที่อุณหภูมิต่างๆ

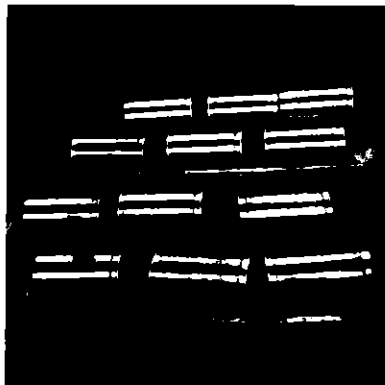


รูปที่ 10 ผสมวัสดุรวมและวัสดุเชื่อมประสานเข้าด้วยกัน

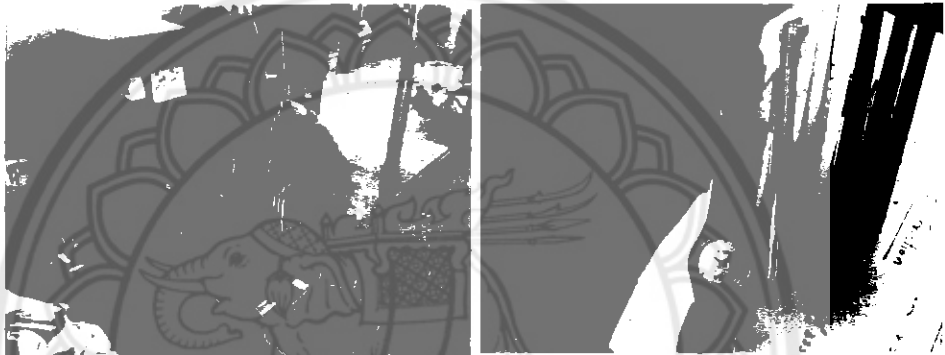


รูปที่ 11 ชุดการทดสอบการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Compaction Test)

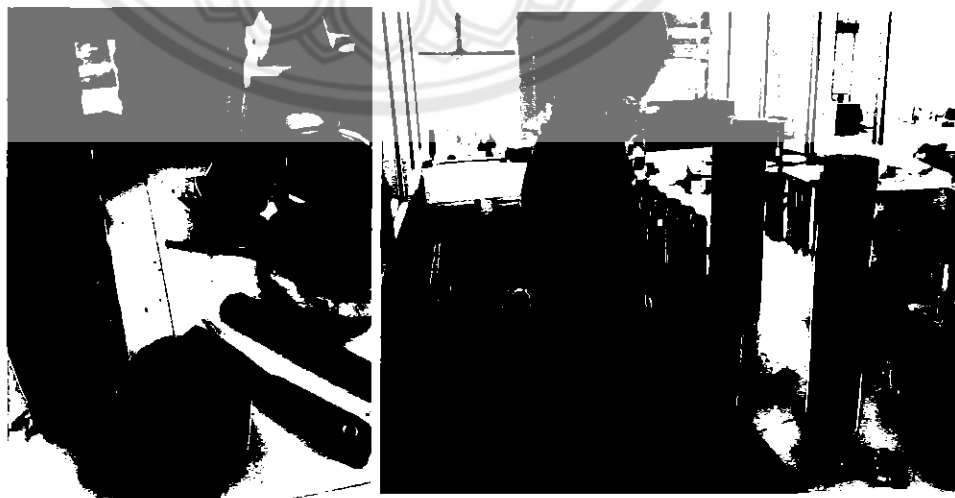
75 ครั้งทั้งสองด้าน



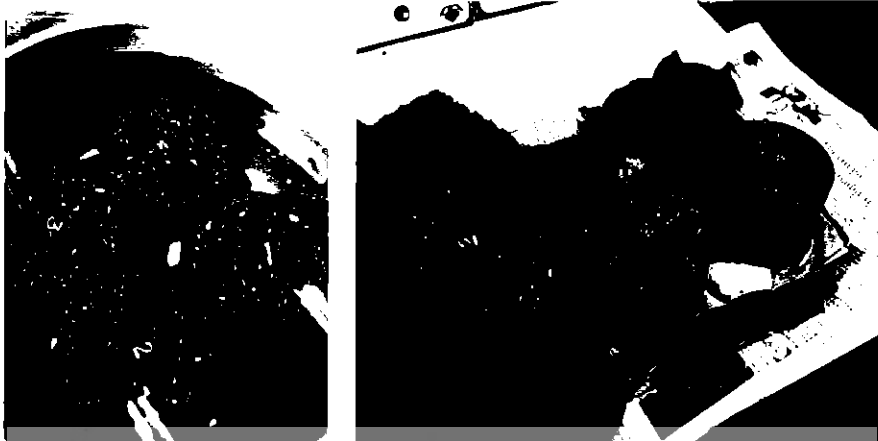
รูปที่ 12 หลังจากบดอัดแล้วทิ้งก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 13 จัดก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากแบบด้วยแม่แรงและเขียนสัญลักษณ์ของก้อนแอสฟัลต์ด้วยดินสอสี  
เทียน



รูปที่ 14 ทำความสะอาดก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยแปรงปัด



รูปที่ 15 ทดสอบคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 16 อบก้อนทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆก่อนการทดสอบ

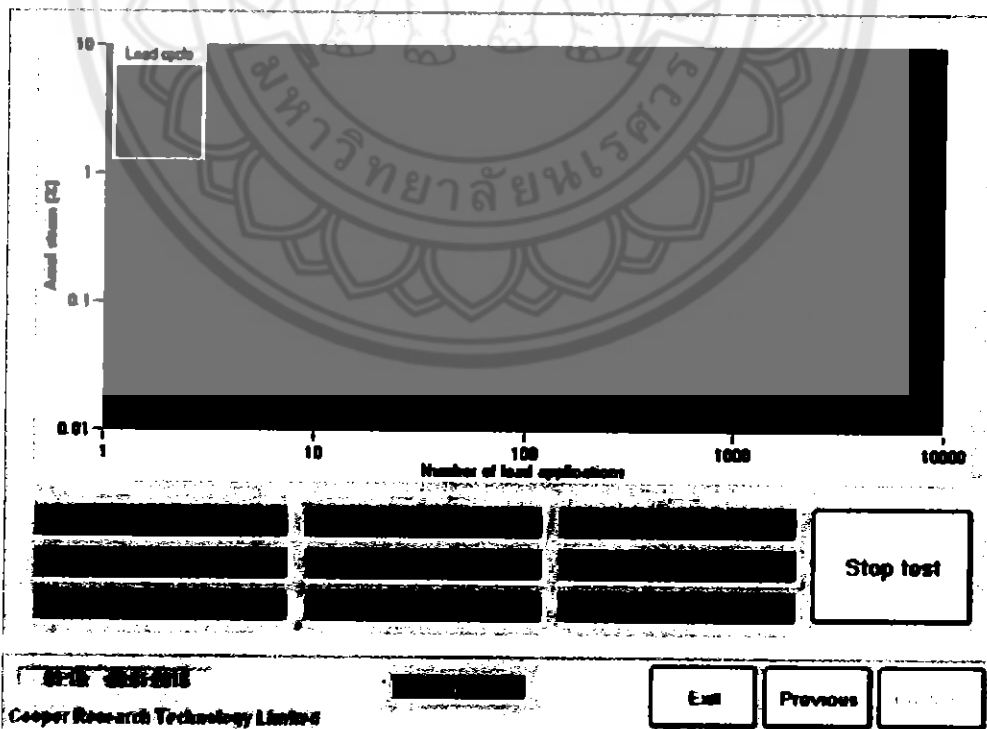




รูปที่ 17 นำก้อนตัวอย่างเข้าเครื่องควบคุมอุณหภูมิและทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต (Universal Testing Machine, UTM) และ (The Nottingham Asphalt Tester, NAT-NU 10)



รูปที่ 18 ตัวอย่างการทดสอบ Repeated Load Axial Test



รูปที่ 19 ตัวอย่างการแสดงผลทดสอบ Repeated Load Axial Test



รูปที่ 20 เมื่องานเสร็จสิ้นควรเก็บและทำความสะอาดทุกสิ่งให้เรียบร้อย