ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

การศึกษาคุณสมบัติสัมประสิทธิ์ความแข็งแรง ของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต

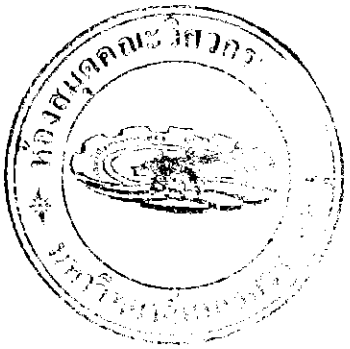
PROPERTIES ON INDIRECT TENSILE STIFFNESS MODULUS OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES

นางสาวณัฐชา จันทร์ป้อม รหัส 54364542
นายธีรภัทร พิพัฒนกุล รหัส 54364672
นายวรัญญู เขียวจันทร์แสง รหัส 52370392

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 30 ก.ย. 2558
เลขทะเบียน 1690620
เลขเรียกหนังสือ ฟร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ธ328 ก
2557

CD-STLY

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาคุณสมบัติสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาว ณัฐชา จันทร์ป้อม 54364542
	นาย ธีรภัทร พิพัฒนกุล 54364672
	นาย วรัญญู เขียวจันทร์แสง 52370392
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ บุญพล มีไชโย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ บุญพล มีไชโย)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ภัคพงศ์ หอมเนียม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาคุณสมบัติสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาว ณัฐชา จันทร์ป้อม รหัส 54364542
	นาย ธีรภัทร พิพัฒนกุล รหัส 54364672
	นาย วรัญญู เขียวจันทร์แสง รหัส 52370392
ที่ปรึกษาโครงงาน	อ. บุญพล มีไชโย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2557

.....

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตและเปรียบเทียบชนิดยางที่ใช้เชื่อมประสานของก้อนตัวอย่าง AC 60/70 และ WMA

ทำการทดสอบโดยเครื่อง The Nottingham Asphalt Tester (NAT) NU14 โดยก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นการออกแบบและทำขึ้นมาในห้องทดลอง บดอัดด้วยวิธีมาแซล ก้อนตัวอย่างมีทั้งหมด5ชนิดทดสอบชนิดละ3ก้อนทำที่อุณหภูมิ5 อุณหภูมิที่ต่างกัน (20,25,30,35) และเฉลี่ยผลการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผล

ข้อมูลจากการศึกษาสามารถนำมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มสมรรถภาพการใช้งานให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากข้อมูลในการวิเคราะห์ผลแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถนำไปพิจารณาในการออกแบบถนนจริงให้เกิดความคุ้มค่า ใช้งานได้อย่างเหมาะสมตามอายุการใช้งานซึ่งผลการทดสอบนั้นพบว่า AC60/70 9.5mm. มีความแข็งแรงต่อแรงกดอัดมากที่สุด

Project title	Properties on indirect tensile stiffness modulus of asphalt concrete mixtures		
Name	Mrs. Natcha	Janpom	ID.54364542
	Mr. Teerapat	Phipatanakul	ID.54364672
	Mr. Waranyou	khewjansang	ID.52360392
Project advisor	Mr. Boonphol	Meechiyo	
Major	Civil Engineering		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2014		

.....

Abstract

This project is a study of the indirect tensile strength of asphalt concrete. To study the properties of tensile indirect asphalt concrete and compare type of the aggregate interlock procedures on the indirect tensile stiffness properties from the AC60/70 and WMA.

This project run the tests by The Nottingham Asphalt Tester (NAT) NU14 by asphalt specimens used in the test was designed and made up in the laboratory by compacted Marshall Method. The simple pack has 5 type of tests of three loaves at five different temperatures. (20°C ,25°C ,30°C ,35°C) and Analysis of the results will be used by the average value.

Data from the study can be modified to increase the performance to more efficient because the data in analyzing of asphalt concrete results can be considered in designing the actual road to cost-effective and used appropriately to lifetime. The test result showed that AC60/70 9.5mm. can be supported to strength the most compression pressure.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก อาจารย์ บุญพล มีไชโย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน สำหรับความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ผลรวมไปถึงคำปรึกษาและให้คำแนะนำ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง นักศึกษาตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณที่นี้

ขอขอบคุณ คุณรชัสกมล บัวชื่น ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นให้กับนิสิตผู้จัดทำโครงงานในครั้งนี้ รวมไปถึงข้อเสนอแนะที่ให้นิสิตผู้จัดทำโครงงานที่พบข้อผิดพลาดได้ปรับปรุงแก้ไขโครงงานเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมโยธาและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือในการทดสอบ เพื่อเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ผล จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาว ณัฐชา จันทร์ป้อม
นาย ธีรภัทร พิพัฒนกุล
นาย วรัญญู เขียวจันทร์แสง
พฤษภาคม 2558

สารบัญ

หน้า

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

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 หลักการและทฤษฎี..... 4
2.1ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 5
2.2ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.3 สิ่งที่ได้รับจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อ..... 11

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน..... 12
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ..... 13
3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา..... 16
3.3 ขั้นตอนการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล..... 14
3.4 ขั้นตอนการทดสอบโดยวิธีการทดสอบแรงดึงโดยอ้อม..... 16
3.5แผนการดำเนินงาน..... 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 19
4.1 การออกแบบส่วนผสมก้อนตัวอย่าง 19
4.2 ข้อมูลก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 19
4.3 ผลการทดสอบ 20
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 21

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 24
5.1 สรุปผล 24
5.2 ข้อเสนอแนะ 24

เอกสารอ้างอิง 25

ภาคผนวก ก 26
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ 34

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
ตารางที่1.6 แผนการดำเนินการ..... 3
ตารางที่2.1 ผลการทดสอบจากงานวิจัยของคุณ นภัสรพี อนันตชัยพงศ์,ร.อ.พิพัฒน์ สอนวงษ์ 7
ตารางที่2.2 ค่าเฉลี่ยของแต่ละภาค 9
ตารางที่4.1 ตารางแสดงการออกแบบส่วนผสมTypeของก้อนตัวอย่างการทดสอบ..... 19
ตารางที่4.2 ข้อมูลขนาดก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเฉลี่ย..... 19
ตารางที่4.3 ข้อมูลความหนาแน่นและช่องว่าอากาศของก้อนตัวอย่างการทดสอบ(เฉลี่ย) 20
ตารางที่4.4 ผลการทดสอบ(แบบเฉลี่ย)..... 20

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1.แรงที่กระทำกับก้อนตัวอย่างทาให้ก้อนตัวอย่างขยายออกที่ด้านข้างเรียกว่าแรงดึงโดยอ้อม.... 4

3.1 แหล่งหินที่ใช้นามาจากแหล่งหินศิลาพัฒนา จังหวัด สุโขทัย..... 12

3.2 เครื่องNottingham Asphalt Tester(NAT)..... 13

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ..... 13

3.4 การผสมแอสฟัลต์..... 14

3.5 การเทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบ..... 14

3.6 การบดอัดก้อนตัวอย่าง..... 15

3.7 ก้อนตัวอย่างการทดสอบ..... 15

3.8 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 16

3.9 วัดขนาดก้อนตัวอย่าง..... 16

3.10 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบกับก้อนตัวอย่าง..... 17

3.11 ทำการทดสอบ..... 17

3.12 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน..... 18

4.1 แสดงผลการทดสอบ..... 21

4.2 ผลของ AC60/70 9.5 mm. และ AC60/70 12.5 mm. 22

4.3 ผลของ WMA 9.5 mm. และ WMA 12.5 mm. 22

4.4 ผลของ AC60/70 9.5 mm. , WMA 9.5 mm. และ AC60/70 HF..... 23

4.5 ผลของ AC60/70 12.5มิลลิเมตร , WMA 12.5มิลลิเมตร และ AC60/70 HF 23

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

NAT = เครื่องมือการทดสอบ (Nottingham asphalt tester)

ITSM = ความต้านทานแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength)

AC = แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Asphalt concrete)

WMA = แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Asphalt concrete)

HRA,DBC = ตัวอย่างก้อนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากการเดินทางสัญจรไปตามที่ต่างๆในชีวิตประจำวัน ส่วนใหญ่นั้นเรามักจะใช้รถใช้ถนน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้การเดินทางเป็นไปอย่างปลอดภัย ถนนเป็นสิ่งที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้มนุษย์ใช้สัญจรและเดินทาง สร้างขึ้นเพื่อตอบสนองการสัญจรด้วยรถ ถนนที่เรียบจะมีแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุได้น้อย ส่วนถนนที่มีหลุมขรุขระจะมีแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุได้อย่างมาก หนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ถนนชำรุดเสียหายนั่นคือ การออกแบบส่วนผสมในวัสดุการทาง ซึ่งการออกแบบส่วนผสมเป็นสิ่งที่สำคัญ และส่งผลให้ผู้ใช้งานเดินทางอย่างปลอดภัย วัสดุถนนประเภทหนึ่งนั่น เรียกว่า asphalt concrete ทางผู้จัดทำจึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาค้นคว้าในเรื่องของ asphalt concrete จึงเป็นที่มาในการศึกษาการออกแบบส่วนผสมของAsphalt concrete ที่เหมาะสม จาก Mixture Specimens โดยศึกษาในหัวข้อเรื่องของคุณสมบัติสัมประสิทธ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัสต์คอนกรีต

ด้วยปัญหาการก่อสร้างหรือจากการใช้งานที่ก่อให้เกิดการชำรุดของชั้นผิวทาง จึงก่อให้เกิดการศึกษาความแข็งแรงในหัวข้อการทดสอบแรงดึงโดยอ้อม ที่เป็นการออกแบบการทดลองโดยการผสมก้อนตัวอย่าง (Mixture Specimens) โดยจะมีตัวแปรหลักที่สำคัญคือชนิดของแอสฟัลต์ วิธีการผสมและอุณหภูมิ สำหรับการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จากงานวิจัย จะนำไปสู่ถนนที่มีความแข็งแรงสามารถรองรับปริมาณการจราจรที่สูงขึ้น ความเสียหายที่ลดลง อายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นต่อไปในอนาคต การทดสอบแรงดึงโดยอ้อมจะใช้ตัวเลขประเมินและวิเคราะห์ผิวทางการทดสอบตัวอย่าง ปฏิบัติและพิจารณาจากผลกระทบที่ลักษณะของวัสดุตามส่วนของสมบัติพื้นฐาน การปฏิบัติการบดอัดก้อนแอสฟัลต์ตัวอย่างสำหรับการทดสอบ จะต้องการก้อนที่มีการกระจายของช่วงว่างอากาศที่เหมือนๆ หรือใกล้เคียงกัน รวมทั้งมวลรวมหยาบ และอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการทดสอบต้านทานความแข็งแรงของการบดอัดก้อนตัวอย่าง คือรูปร่างตัวอย่างที่เป็นทรงกระบอกเท่านั้นที่สามารถเป็นชิ้นตัวอย่างการทดสอบ การทดสอบสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อม (ITSM) ตามปกติจะใช้วิธีการทดสอบในเครื่อง The Nottingham Asphalt Tester (NAT) NU14 และโปรแกรมสำหรับกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อหลการทดสอบของสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของก้อนตัวอย่างการทดลอง การทดสอบปกติสมารถทำได้อย่างรวดเร็ว ผู้ปฏิบัติการทดสอบต้องเลือกทดลองตัวอย่างการเสียรูปในแนวแกนนอน แรงที่ถูกประยุคใช้ที่เครื่องทดสอบกับก้อนตัวอย่าง การทดลองนั้นถูกคำนวณอัตโนมัติโดยคอมพิวเตอร์ เมื่อเครื่องทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว ระบบจะแปรผลอกมาเป็น 5 แรงที่กระทำจังหวะต่างๆ อย่างไรก็ตามผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อผลลัพท์ที่สามารถต่อยอดออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติและปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของชนิดของยางที่ใช้ในการเชื่อมประสานของแอสฟัลต์คอนกรีต

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ผลของคุณสมบัติสัมประสิทธ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัสต์คอนกรีต

1.3.2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบส่วนผสมของ Mixture Specimens

1.3.3 ความรู้ทั่วไปของขั้นตอนต่างๆเกี่ยวกับ asphalt concrete

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 การเลือกส่วนผสมหยาบจากแหล่งหินโรงหินศิลาพัฒนา จ.สุโขทัย

1.4.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธี Marshall

1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบ The Nottingham Asphalt Tester (NAT) NU14

1.4.4 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ ที่ 20 , 25 , 30 และ 35 องศาเซลเซียส

1.4.5 รูปแบบของส่วนผสมโดย

AC คือ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) และ

WMA คือ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบการทดลองในหัวข้อการทดสอบคุณสมบัติสัมประสิทธ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัสต์คอนกรีต

1.5.3 จัดเตรียมส่วนผสมหลักและอุปกรณ์

1.5.4 ทำการทดสอบ

1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5.6 จัดทำรูปเล่มรายงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.6 แผนการดำเนินการ

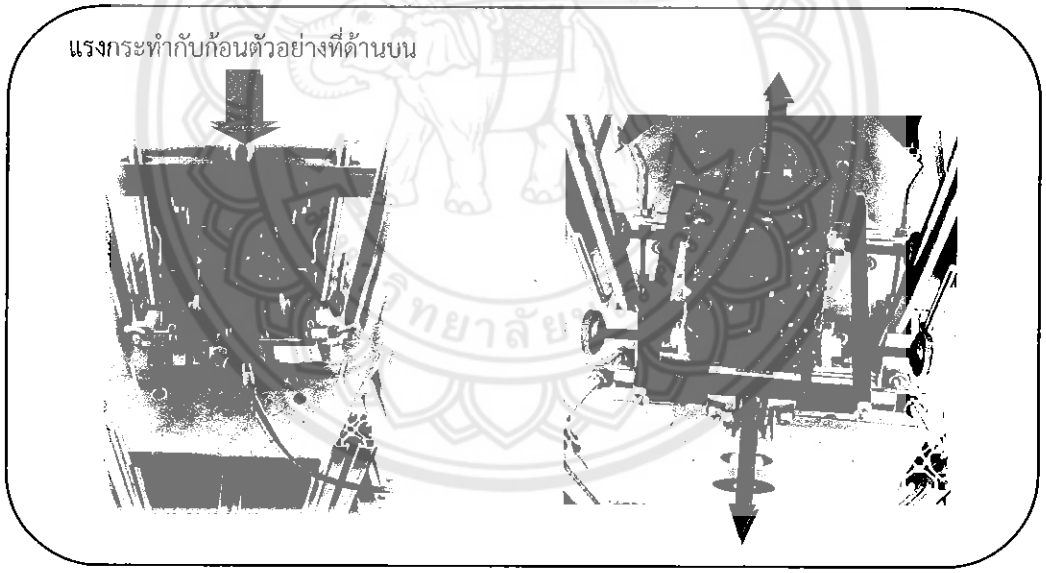
เดือน กิจกรรม	พฤศจิกายน 1 2 3 4	ธันวาคม 1 2 3 4	มกราคม 1 2 3 4	กุมภาพันธ์ 1 2 3 4	มีนาคม 1 2 3 4	เมษายน 1 2 3 4
1. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง						
2. ออกแบบการทดสอบ						
3. จัดเตรียมส่วนผสมและอุปกรณ์						
4. ทำการทดสอบ						
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง						
6. จัดทำรูปเล่มรายงาน						

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทดสอบสัมประสิทธิ์ของแรงดึงโดยอ้อม

การทดสอบแรงดึงโดยอ้อมเป็นการทดสอบก้อนตัวอย่างโดยได้จากแรงกดในแนวดิ่งกระทำกับก้อนตัวอย่าง (ทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง) จึงเกิดการขยายตัวด้านข้างของก้อนตัวอย่าง ในจุดที่ไม่เกิดจุด yield แล้วแต่ละตัวอย่างจะได้ค่าร้อยละการกระจายตัวเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย (%CV) ไม่เกิน 10 % ขณะเกิดการขยายตัว ในด้านข้างนี้ ใช้การตรวจจับการเปลี่ยนรูป (LVTD) ซึ่งในการให้น้ำหนักในลักษณะเป็นการอัดค่า tensile stress ของก้อนตัวอย่างโดยพิจารณาร่วมกับค่า Poison's ratioซึ่งอ้างอิงจาก มาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D 4123-82 โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ชนิดของยางและอัตราส่วนผสมที่ใช้ อุณหภูมิ ทดสอบที่อุณหภูมิ 20 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทดสอบควรทำที่อุณหภูมิอย่างน้อย 3 ค่า เพื่อแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ



รูปที่ 2.1 แรงที่กระทำกับก้อนตัวอย่างทำให้ก้อนตัวอย่างขยายออกที่ด้านข้างเรียกว่าแรงดึงโดยอ้อม

2.1.2 การเลือกก้อนตัวอย่าง

ในการเลือกก้อนตัวอย่างสำหรับการทำการทดสอบต้องจำเป็นต้องพิจารณาค่า void content ของก้อนตัวอย่างเนื่องจาก ค่า void content ของช่องว่างอากาศนั้นอาจมีแสดงถึงความหนาแน่นของก้อนที่นำมาทดสอบ จึงจำเป็นต้องเลือกก้อนตัวอย่าง ที่มีค่า void content ที่ใกล้เคียงมากที่สุด (ในกรณีที่สามารถเลือกได้ ซึ่งในการทดสอบนี้ บดอัดก้อนตัวอย่างด้วยวิธีมาร์แชล ตัวอย่างละ6ก้อน ใช้ทำการทดสอบจริงทั้งหมด3ก้อน จึงสามารถเลือกก้อนตัวอย่างมาทดสอบได้)

2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Effect of mixture compaction on indirect tensile stiffness and fatigue. (ผลกระทบของการบดอัดส่วนผสมของแรงดึงโดยอ้อมและความล้า) จากบทความของ A.M. Hartman, M.D. Gilchrist, G. Walsh. , (2001)

เมื่อออกแบบก้อนผสมต้องคำนึงถึงลักษณะให้เหมือนกับชั้นผิวทางซึ่งเป็นปัจจัยที่สูงที่สุด ก้อนแอสฟัลต์ต่างๆ กันที่นำมาทดสอบบดอัดในห้องปฏิบัติการนั้น มีการกระจายตัวของส่วนคละต่างกัน ช่องว่างอากาศที่ต่างกันและผลของการทดสอบ สมบัติความล้า และความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมจะต่างกัน แนวทางการทดสอบพิสูจน์หาความจริง การที่ถูกกดอัดบนก้อนตัวอย่างการทดลอง ค่าความแข็งแรงจะเป็นขนาดที่ถูกกดอัดของก้อนตัวอย่าง ความล้าในการบดอัดของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ที่เกิดขึ้นบนก้อนนั้นขึ้นอยู่กับการผสมส่วนคละ ถูกออกแบบ/สำหรับส่วนคละที่ดีของมวลรวมหยาบว่าสามารถเกาะประสานกันได้ดี

การทดสอบแรงดึงโดยอ้อมเป็นการใช้ค่าตัวเลขในการนำมาวิเคราะห์ประเมินผิวทาง จากผลในห้องทดลองเป็นการพิจารณาผลที่เกิดขึ้นของสมบัติพื้นฐานของวัสดุ การปฏิบัติการทดสอบนั้นจะต้องเลือกก้อนตัวอย่างการทดสอบที่มีการกระจายช่องว่างอากาศที่ใกล้เคียงกัน การกระจายของมวลรวมหยาบที่เหมือนกันและอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญคือรูปทรงก้อนตัวอย่างการทดสอบที่เป็นรูปทรงกระบอกนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการทำการทดลองก้อนแอสฟัลต์ผสม ในการทดสอบ ITSM

การบดอัดก้อนตัวอย่างนั้น เป้าหมายหลักของการบดอัดแอสฟัลต์ คือการคัดเลือกมวลรวมหยาบที่ใช้อย่างเหมาะสม มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ลดช่องว่างอากาศให้เหลือเล็กลง ปัจจัยเหล่านี้นั้นอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความฝืดของยางแอสฟัลต์และมวลรวมหยาบทำให้เกิดความเหนียวความแข็งแรง การบดอัดที่ดีจะส่งผลให้เพิ่มความต้านทานการเสียรูป ทนทานสูงขึ้นภายใต้การจราจร อีกทั้งความเสียหายในการซึมน้ำลดน้อยลง

ในการปฏิบัติการทดสอบหาข้อพิสูจน์ที่แท้จริงบนถนน Danish ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ การบดอัดก้อนตัวอย่าง เกิดแนวโน้มแตกต่างกันนั้น แน่นอนที่มวลรวมจะแตกออกเป็นแผ่น แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มสูงที่มวลรวมหยาบเคลื่อนที่ไปภายใต้ร่องล้อที่กดอัด การพบขนาดของช่องอากาศขึ้นอยู่กับมวลรวมหยาบ ที่ค่อยๆ เปลี่ยนแปลงภายในส่วนผสมในวิธีการบดอัดหรืออุณหภูมิ การกดอัดส่วนผสมให้อยู่ในโมลที่เป็นอิทธิพลทำให้มีผลต่อการแบ่งกระจายของช่องว่าง และส่วนที่ช่องว่างมากจะอยู่ในบริเวณบน ล่าง และด้านข้างของพื้นผิวของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

การทดสอบแรงดึงโดยอ้อม เกี่ยวข้องกับแรงกดที่กระทำกับก้อนตัวอย่าง การทดสอบรูปทรงกระบอกตามแนวดิ่ง ตามเส้นผ่านศูนย์กลางจนตัวอย่างแยกออก โดยวัดความเครียดที่ยืดออกตามแนวแกนแรง สำหรับถนนผิวทางยางมะตอยใช้การทดสอบแรงดึงโดยอ้อม ในการทดสอบความแข็งแรงและความเหนียวที่ความเร็วในการจราจรและอุณหภูมิของผิวทางแอลฟัสต์ จะมีพฤติกรรมการยืดหยุ่นและมีค่าการยืดหยุ่นเป็นค่าของ ITSM ในการวัดการต้านทานการดัด และมันก็ยังเป็นความสามารถในการกระจายแรงกด

ความล้าการแตกหักภายใต้ทฤษฎีของแรงดึงโดยอ้อม ควรจะเกิดขึ้นโดยการแตกหักหรือฉีกแยกออกของก้อนตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน โดยเสียรูปถาวรเป็นอย่างน้อยที่สุด แสดงถึงความเป็นไปได้ของขีดจำกัดแรงเฉือนและกำลังอัดความล้าที่ใกล้พื้นที่กำลังอัด ที่ระดับอุณหภูมิสูงและความเครียดสูง

สะสมการเสียรูปถาวร คือ ข้อเสียเปรียบที่ใหญ่ที่สุด ของการทดสอบความล้าแรงดึงโดยอ้อม ที่มีจุดประสงค์ในการพิสูจน์การพังทลาย ซึ่งการทดสอบไม่มีลักษณะพฤติกรรมความล้าโดยอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูง จุดใดที่ไม่เป็นเส้นตรงและมีความเหนียวยืดหยุ่นของวัสดุ จะเป็นพฤติกรรมที่มีข้อวินิจฉัยมาก

ความแน่นของเครื่องมือทดสอบเป็นผลอย่างมากกับการวัดการเสียรูปด้านข้าง โดยต้องการการวัดการเสียรูปภายในก้อนตัวอย่างการทดสอบแรงดึงโดยอ้อม จากตัววัดความเค้น

ในโครงการนี้ใช้เครื่อง Nottingham Asphalt Tester (NAT) ในการศึกษาที่มหาวิทยาลัยนอร์ทติงแฮม (U.K.) ผลิตโดย Cooper Research Technology Ltd. เครื่อง NAT ทำงานโดยใช้โปรงแกรม ITSM สำหรับการทดสอบโดยการวัดการเสียรูปในแนวแกนนอนของเส้นรอบวงของตัวอย่าง

เครื่อง NAT ควบคุมการทดสอบที่อุณหภูมิ 20°c (±2°c) ในการทดสอบอิทธิพลในการศึกษาคือทิศทางของการบดอัด การทดสอบ Stiffness จะใช้วัดทิศทางตามแนวแกนนอนของทิศทางของการบีบอัดในการพิจารณา

วัสดุที่สนใจในการทดสอบ ส่วนผสมที่ต้องการศึกษามี 2 แบบ คือ HRA และ DBC ที่เป็นก้อนผสมเช่นเดียวกัน

การบดอัดสำหรับ HRC และ DBC เป็นตัวอย่างมีความหนา 50 mm.

ค่าอัตราส่วนช่องว่างอากาศ โดยวิธี Marshall วัดค่า HRA 5.3 ส่วน DBC = 6.2

ผลลัพท์ของการทดสอบ ITSM จากการกำหนด

- อุณหภูมิ 20°c
- บดอัดโดยวิธีมาแชล
- สรุปข้อมูลค่า Stiffness ได้ดังนี้ DBC และ HRA มี 2700MPa และ 3890 MPa

ข้อสรุปจากบทความ

งานวิจัยนี้มีความคล้ายกับการทดสอบ ซึ่งทำที่อุณหภูมิ20องศาเซลเซียส บดอัดด้วยวิธี Marshall เช่นเดียวกัน ได้ผลการทดสอบ 2700MPa และ 3890MPa ซึ่งผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้ทำการทดสอบ ทำให้ทราบว่าการทดสอบที่ได้ทำการวิจัยนั้นได้มาถูกทางแล้ว

2.2.2 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์โดยวิธีซูเปอร์เพฟ งานวิจัยของ คุณ นภัสรพี อนันตชัยพงศ์ , ร.อ.พิพัฒน์ สอนวงษ์ (2545)

ในการทดสอบนั้นใช้หินปูนจากโครงงานการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี และใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 60/70 และโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (PMA) ทดสอบที่ 5 อุณหภูมิที่ต่างกัน คือ 5 20 35 50 60 องศาเซลเซียส ออกแบบส่วนผสมโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ทดสอบคุณสมบัติต้านทานแรงดึงโดยอ้อม ตามมาตราฐานการทดสอบ ASTM D 6931 ทดสอบก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน แล้วนำมาเฉลี่ยได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 2.1 ผลการทดสอบจากงานวิจัยของ คุณ นภัสรพี อนันตชัยพงศ์ , ร.อ.พิพัฒน์ สอนวงษ์

อุณหภูมิ (℃)	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงโดยอ้อม (MPa)		
	AC 40/50	AC 60/70	PMA
5	3366	3100	3361
20	1635	1.285	1780
35	431	361	440
50	206	158	217
60	146	102	157

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมพบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 จะมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิดPMA ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ20-60 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40/50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60/70 จะมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมต่ำสุดสำหรับทุกอุณหภูมิที่ทดสอบ

ข้อสรุปจากโครงงานของ นภัสรพี อนันตชัยพงศ์ , ร.อ.พิพัฒน์ สอนวงษ์

เมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า35℃ ก้อนตัวอย่างมีความแข็งแรงลดลงไปอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับงานวิจัยของเรา ส่วนก้อนตัวอย่างที่ใช้ยาง PMA นั้น มีความแข็งแรงมากที่สุด แต่ก้อนตัวอย่างยางแอสฟัลต์ AC60/70 มีความแข็งแรงน้อยที่สุด

2.2.3 ทฤษฎีจาก The Shell Bitumen Handbook (2014)

การวิเคราะห์ในเรื่องของพฤติกรรมและการออกแบบชั้นพื้นทาง ใช้ความรู้เกี่ยวกับวัสดุที่เป็นที่มาในการสร้างชั้นผิวทางเบื้องต้นหลายด้าน ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เช่นการเสียรูป ความเค้นที่ทำให้เสียรูป ตามหลักการแล้วการทดสอบในห้องทดลองถือว่าเป็นผลลัพท์ที่น่าเชื่อถือ ผู้ปฏิบัติต้องมีการวางแผน เงื่อนไขการทดสอบ ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ เวลาที่แรงกระทำกับก้อนตัวอย่าง เงื่อนไขความเครียด ระดับชั้นของการบดอัด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยผิดปกติ ควรทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

ความเครียดที่เกิดขึ้นกับชั้นผิวทางในขณะที่มีลูกล้อกดลงไปนั้น เกิดเป็นความเครียด 3 แกน คือ ในแนวแกนนอน ความเครียดในแนวแกนเฉือน ความเครียดในแนวดิ่ง ไปตลอดทั้งส่วนประกอบของชั้นผิวทาง โดยความเครียดจะแปรผันตามเวลา

การทดสอบสัมประสิทธ์ความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อม (ITSM) ตามปกตินั้นวิธีการทดสอบใช้เครื่อง NAT โดยจะสามารถออกมาเป็นค่าสัมประสิทธ์ความแข็งแรง การทดสอบนั้นสามารถทำให้อย่างรวดเร็ว ผู้ปฏิบัติการทดสอบทำการทดสอบก้อนตัวอย่างในแนวแกนนอนของก้อนตัวอย่าง เครื่องจะกดก้อนตัวอย่างตามจังหวะ โดยมีแรงกระทำ (เวลาการกดเริ่มจากจุดที่แรงกระทำในจังหวะแรกจนถึงจุดที่แรงกระทำในจุดๆหนึ่ง) แรงที่กระทำกับก้อนตัวอย่างเป็นจังหวะนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะนำมาคำนวณ ออกมาเป็นตัวเลข เมื่อเสร็จสิ้นแล้วระบบจะประมวลผลออกมาเป็น5 ผลการทดสอบ เป็นการสร้างกราฟการเคลื่อนไหวโดยอ้อมในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวนอน ทำให้ทราบถึงความเค้นและความเครียด ดังนั้นก็จะสามารถทราบผลสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของวัสดุได้

- เงื่อนไขสำหรับการทดสอบการทดสอบที่อุณหภูมิ 20°C
- ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบได้เท่ากับ 2010 MPa

ข้อสรุปจาก The Shell Bitumen Handbook

จากการวิเคราะห์ในเรื่องของแอสฟัลต์ซีเมนต์ทำให้ทราบถึงการทดสอบความแข็งแรงของแรงดึงโดยอ้อมที่มีแรงกระทำกับก้อนแอสฟัลต์เกิดเป็นความเครียดสามแกนเกิดขึ้นกับชั้นผิวทาง และในการทดสอบที่อุณหภูมิ20องศาเซลเซียสก้อนแอสฟัลต์ ยังคงมีความแข็งแรงอยู่ในระดับใกล้เคียงกับงานวิจัยของเรา

2.2.4 คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม และค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย

สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ได้มาจากการเก็บตัวอย่างจากสนาม จาก 5 ภูมิภาค ภูมิภาคล่ะ 15 สายทางรวมทั้งหมด 75 ตัวอย่าง

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงโดยอ้อม (ITSM)

- การควบคุมอุณหภูมิ
- กดด้วยอัตราเร่ง 20 mm/min จนตัวอย่างเสียรูป
- สำหรับผลการทดสอบ ใช้โปรแกรมคำนวณค่า

จากตัวอย่าง ข้อมูลความหนาแน่นของก้อนนั้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2.3 -2.5 g/cm^3 มีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ

ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยของแต่ละภาค

ภาค	ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้
P(g/cm^3)	2.353	2.356	2.334	2.393	2.342
ITSM	1.099	1.099	1.087	1.077	1.056

จากตัวอย่างการทดสอบ พบว่าตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบนี้ไม่แสดงถึงความสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ยังมีค่าที่มีการผิดปกติอย่างอยู่ ค่าหนึ่ง เมื่อนำความหนาแน่นความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมมาพิจารณาแนวโน้มของผลทดสอบก้อนตัวอย่างจากถนนที่มีปริมาณจราจรที่สูง จะมีความหนาแน่นและมีความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมสูงขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับอายุของสายทาง กลับไม่ปรากฏผลชัดเจน

ข้อสรุปผล

- ค่าความหนาแน่นจะเฉลี่ยที่ 2.353 g/cm^3
- ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงโดยอ้อมไม่แสดงถึงความสัมพันธ์แต่อย่างใด
- ค่าความต้านทานต่อแรงดึงโดยอ้อมโดยมีแนวโน้มที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสายทางนั้นมีการจราจร เพิ่มขึ้น แต่ค่านี้ไม่มีความสัมพันธ์กับอายุของสายทาง

2.2.5 Tensile strength and stiffness modulus of Foamed asphalt applied to a grading representative of Indonesian road. (แรงดึงและโมดูลัสความแข็งแรงของฟองยางมะตอยเพื่อใช้จัดชนิดตัวอย่างของถนนอินโดนีเซีย) จากบทความของ Sri Sunarjono. ,(2007)

(ITSM) ความแข็งแรงมีความสำคัญและสอดคล้องกับความเค้นบนชั้นของพื้นผิวที่มีพฤติกรรมของ stiffness สามารถป้องกันฐานรากของชั้นดินที่มีการเพิ่มกำลังอัด จากการทดสอบโดยใช้เครื่อง (NAT)ในการวัดค่าคุณสมบัติของ stiffnessมีการควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ จากการทดลองมีการเตรียมตัวอย่างในห้องทดลอง หรือตัวอย่างจากสนาม โดยมีการตั้งค่าตามพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้ อุณภูมิ 20 - 35 องศา Posision ,s 0.35

ข้อสรุปจากบทความ

จากการทดสอบ สัมประสิทธิ์ความเหนียวและความแข็งแรง ค่า ITSM มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันส่วนความสัมพันธ์ของ foamed asphalt มีสัมประสิทธ์ความเหนียวและความแข็งแรงในระยะแรกเริ่มต่ำอย่างไรก็ตาม การปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น เป็นการเพิ่มสัมประสิทธ์ความเหนียวและความแข็งแรงของก้อนตัวอย่าง ซึ่งสาเหตุส่วนมากเกิดจากการสูญเสียความชื้น

ITSM จากค่าสัมประสิทธิ์แรงดึงโดยอ้อม คือแรงดึงโดยอ้อมที่ได้จากการทำการทดลองโดยให้แรงกระทำจากก้อนตัวอย่าง ส่วนอากาศที่อยู่ในก้อน แอสฟัลต์ทำให้ก้อนตัวอย่างมีการลดความแข็งแรงและแรงสัมประสิทธิ์ของก้อนตัวอย่างลดลงได้ตามผลจากการทดลองข้างต้น

2.2.6 Influence of Poisson's Ratio on the stress , strains and Deflections in Pavement Design. (อิทธิพลของอัตราส่วนปัวซอง ที่ส่งผลต่อ ความเครียด,ความเค้น และการโก่งตัวในการออกแบบผิวทาง) จากบทความของ Tamo T.T. (2012)

อัตราส่วนปัวซอง เป็นลักษณะการกดตัวในทิศทางตั้งฉากกับวัสดุกับแรงดึงที่กระทำ ค่าสัมประสิทธิ์นั้นถูกวิเคราะห์ เขียนขึ้นโดย Denis Poisson นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศษ อธิบายค่าจากทฤษฎีโมเลกุล อัตราส่วนปัวซองของวัสดุ เป็นอัตราการเสียรูปตามขวาง และการเสียรูปตามยาว ของแรงที่กระทำของตัวอย่าง

เนื่องจากการทดลองต้องการหารูปแบบการจัดแบ่งของการออกแบบชั้นผิวทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบบที่มีหลายชั้น ที่สมบัติของวัสดุของค่า Young's Modulas และ Poisson ratio มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง stress , strain และ การโก่งตัวของโครงสร้าง ดังนั้น มันมีผลต่อโครงการทำถนนให้ดี จากการควบคุมคุณสมบัติของวัสดุ

ข้อสรุปจากบทความ

ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนปัวซองมีผลต่อการทดสอบวัสดุ จึงจำเป็นต้องพิจารณาค่า ปัวซองในการทำการทดสอบ โดยอ้างอิงจากมาตราฐาน ASTM D4123

2.3 สิ่งที่ได้รับจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบแนวโน้มในการทำการทดสอบได้ดังนี้

2.3.1 การทดสอบแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีอุณหภูมิที่ต่างกันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าของความแข็งแรงจะมีค่าลดลง

2.3.2 การทดสอบควรทำที่อุณหภูมิอย่างน้อย 3 ค่า เพื่อแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

2.3.3 การใช้ค่าปัวซองควรอ้างอิงจากมาตราฐาน ASTM D4123

2.3.4 การใช้เครื่องเครื่อง Nottingham Asphalt Tester (NAT) ในขณะที่อุณหภูมิสูงควรเว้นระยะในการทำการทดสอบ เนื่องจากเครื่องไม่สามารถทำงานในที่อุณหภูมิสูงต่อเนื่องได้

2.3.5 ความเครียดที่เกิดขึ้นกับชั้นผิวทางในขณะที่มีลูกล้อกดลงไปนั้น เกิดเป็นความเครียด 3 แกน คือ ในแนวแกนนอน ความเครียดในแนวแกนเฉือน ความเครียดในแนวดิ่ง ไปตลอดทั้งส่วนประกอบของชั้นผิวทาง

2.3.6 จากบทวิจัยของ A.M. Hartman, M.D. Gilchrist, G. Walsh มีความคล้ายกับการทดสอบ ซึ่งผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ทราบว่าการทดสอบที่ได้ทำการวิจัยนั้นได้มาถูกทางแล้ว

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

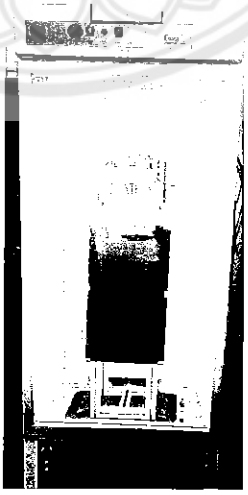
เป็นการกำหนดแอสฟัลต์ที่ใช้ในการทดสอบ หินที่นำมาทำการทดสอบ ขนาดสัดส่วนและมวลรวมหยาบ (หิน) วิธีการบดอัดก้อนตัวอย่าง ซึ่งในที่นี้เป็นการทดสอบแรงดึงโดยอ้อมโดยวิธีการออกแบบส่วนผสมในห้องทดลองโดยวิธีการบดอัดมาร์แชล จะอธิบายรายละเอียดในขั้นตอนต่อไป

3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 หิน

รูปที่ 3.1 แหล่งหินที่ใช้นำมาจากแหล่งหินศิลาพัฒนา จังหวัด สุโขทัย

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

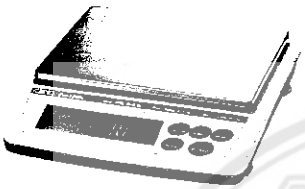


รูปที่ 3.2 เครื่อง Nottingham Asphalt Tester (NAT)

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

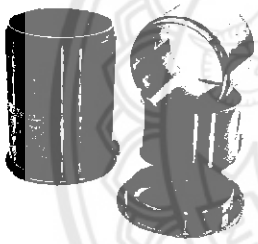
เตาแบบ Hot Plate

เกรียงผสมวัสดุ



เครื่องชั่ง

เทอร์โมมิเตอร์



โมล

เตาอบ

ถุงมือกันความร้อน

เครื่องดันตัวอย่าง

กะละมังเคลือบ

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3 ขั้นตอนการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล

3.3.1 นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุชนิดเม็ด ออกจากเตาอบแล้วเทลงในภาชนะโลหะสำหรับผสมวัสดุชนิดเม็ดกับยางแอสฟัลต์ ใช้เกรียงผสมให้วัสดุชนิดเม็ดแต่ละขนาดคละกันให้ทั่ว ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลง ถึง145±5 องศาเซลเซียส ใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางวัสดุให้เป็นแอ่ง แล้วเทแอสฟัลต์ที่เตรียมไว้ในตามปริมาณที่ต้องการลงในแอ่งตัวอย่างดังกล่าว

3.3.2 นำภาชนะโลหะที่ได้จาก ข้อ 3.2.1 ขึ้นตั้งบนแผ่นให้ความร้อน ใช้เกรียงผสมวัสดุชนิดเม็ดและยางแอสฟัลต์ให้เข้ากันโดยเร็วที่สุดโดยปกติประมาณ 1 นาที พยายามให้ยางแอสฟัลต์เคลือบวัสดุทุกเม็ด

รูปที่ 3.4 การผสมแอสฟัลต์

3.3.3 นำแบบสำหรับบดทับจากมาประกอบเข้าที่

3.3.4 เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบ ๆ ตัวอย่างด้านในแบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าไปในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลง จนแอสฟัลต์ มีความหนืด

รูปที่ 3.5 การเทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบ

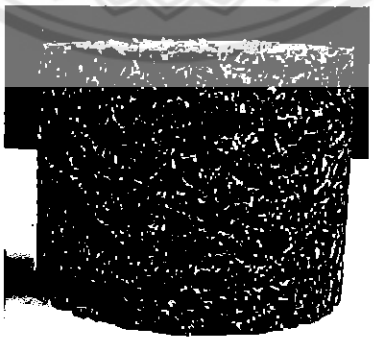
3.3.5 วางค้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้น้ำหนักตกลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับการออกแบบซึ่ง แอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น (HEAVY TRAFFIC) และคับคั่ง (VERY HEAVY TRAFFIC) ใช้การปล่อยน้ำหนักมาตรฐาน 75 ครั้ง

รูปที่ 3.6 การบดอัดก้อนตัวอย่าง

3.3.6 เมื่อครบจำนวนการบดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบ เอาด้านล่างขึ้นด้านบน แล้วทำการบดทับเช่นเดียวกับ ข้อ 3.4.5

3.3.7 ทิ้งตัวอย่างบดทับเรียบร้อยแล้วไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยการใช้เครื่องดันตัวอย่าง ทิ้งตัวอย่างไว้ในบรรยากาศปกติ ไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงนำไปทำการทดสอบขั้นต่อไป

3.3.8 ในการผสมเตรียมก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบ นั้นเตรียมทั้งหมด 6 ตัวอย่าง

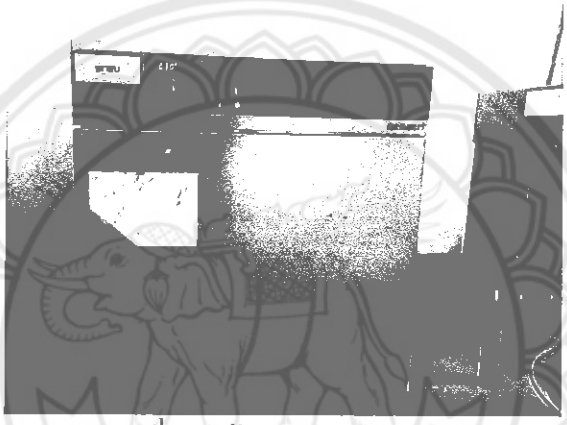


รูปที่ 3.7 ก้อนตัวอย่างการทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการทดสอบโดยวิธีการทดสอบแรงดึงโดยอ้อม

การทำการทดสอบแรงดึงโดยอ้อม ปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D 4123-82 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคือ เครื่องNAT NU14 ในห้องปฏิบัติงานการทาง ในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.4.1 นำก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบไปอบที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้ (20,25,30,35)
โดย อุณหภูมิ 20 และ 25องศาเซลเซียส ต้องนำไปอบที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ก่อนนำไปทดสอบ 3 ชั่วโมง และที่ อุณหภูมิ30และ35องศาเซลเซียส ต้องนำไปอบที่ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ ก่อนนำไปทดสอบ3ชั่วโมง



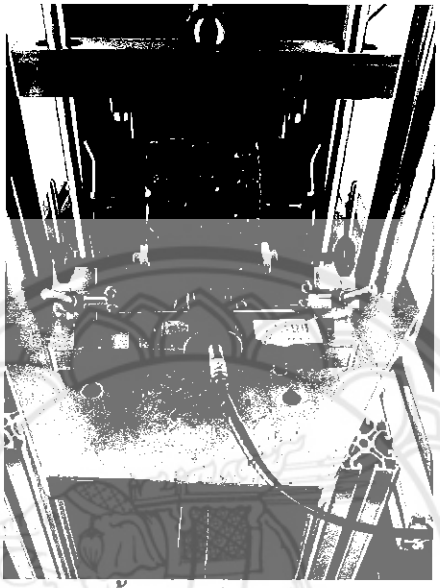
รูปที่ 3.8 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

3.4.2 วัดค่าความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง บันทึกค่าที่ใช้แล้วเปิดเครื่องทดสอบ NAT NU14 และคอมพิวเตอร์เพื่อเตรียมการทำการทดสอบ

รูปที่ 3.9 วัดขนาดก้อนตัวอย่าง

3.4.3 วางก้อนตัวอย่างลงบนแกนของเครื่องให้อยู่กึ่งกลางแกน ขยับก้างปลาให้สัมผัสกับก้อนตัวอย่างแล้วล็อคเพื่อให้ก้อนตัวอย่างอยู่กับที่

3.4.4 ใส่และปรับอุปกรณ์ไอโซมิเตอร์ ให้สัมผัสกับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ แล้วนำอุปกรณ์เข้าไปวางบนเครื่องทดสอบโดยให้อุปกรณ์ตรงกับเครื่องมือทดสอบ

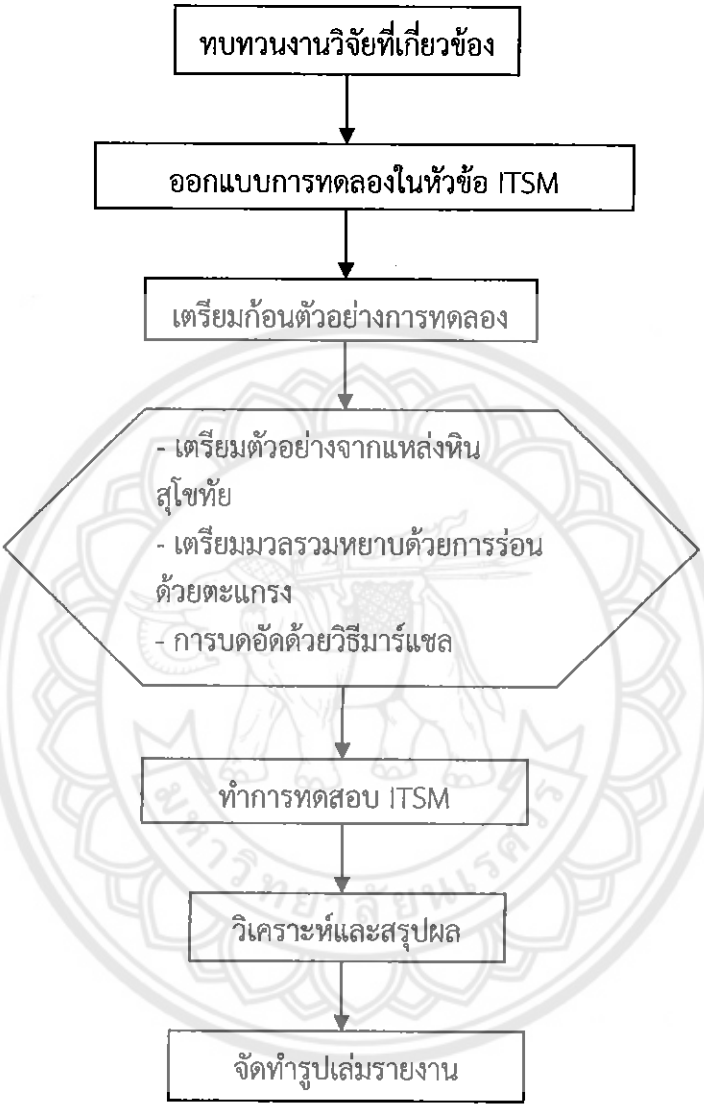


รูปที่ 3.10 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบกับก้อนตัวอย่าง

3.4.5 นำตัววัด LVTD เข้ามาใส่กับอุปกรณ์ แล้วเริ่มทำการทดสอบจากโปรแกรมได้ แล้วโปรแกรมจะแสดงผลค่าstiffness ของการทดสอบ

รูปที่ 3.11 ทำการทดสอบ

3.5 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.12 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

เนื่องจากการทดสอบแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น เป็นการสร้างก้อนตัวอย่างสำหรับการบดอัดด้วยวิธีมาแชล เพื่อใช้ในการทดสอบแรงดึงโดยอ้อม โดยผลการทดสอบของวิธีการต่างๆจะแสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบส่วนผสมก้อนตัวอย่าง

ในการทดสอบนี้จะใช้วิธีการบดอัดก้อนตัวอย่างการทดสอบโดยวิธีMarshall และได้ออกแบบส่วนผสมก้อนตัวอย่างตามตารางที่ 4.1 โดยออกแบบทั้งหมด5ชนิด ชนิดละ3ก้อนตัวอย่างก่อนนำมาทดสอบ โดยนำค่ามาเฉลี่ย

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการออกแบบส่วนผสมของก้อนตัวอย่างการทดสอบ

Type	ผิวทาง	สัดส่วน 1:2:3:4	% Asphalt Cement
AC 60/70	AC 9.5	49:51:0:0	5.00%
	AC 12.5	47:22:13:18	5.20%
WMA PTT	AC 9.5	49:51:0:0	5.00%
	AC 12.5	47:22:13:18	5.20%
AC 60/70	HF	35:25:30:10	5.00%

4.2 ข้อมูลก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ก่อนการทดสอบต้องทำการวัดขนาดความหนา เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง เนื่องจากโปรแกรมการทดสอบตั้งใช้ค่าทั้งสองนี้คำนวณร่วมด้วย โดยผลการวัดความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลขนาดก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเฉลี่ย

Type		ความหนา (mm.)	Diameter(mm.)
AC60/70	9.5	64	103
	12.5	64	105
WMA	9.5	65	104
	12.5	64	103
AC 60/70	HF	64	103

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลความหนาแน่นและช่องว่าอากาศของก้อนตัวอย่างการทดสอบ (เฉลี่ย)

Type		Airvoids	Density
AC60/70	9.5 mm.	5.3	2.4
	12.5 mm.	3.5	2.4
WMA	9.5 mm.	3.7	2.4
	12.5 mm.	3.3	2.4
AC 60/70	HF	2.0	2.4

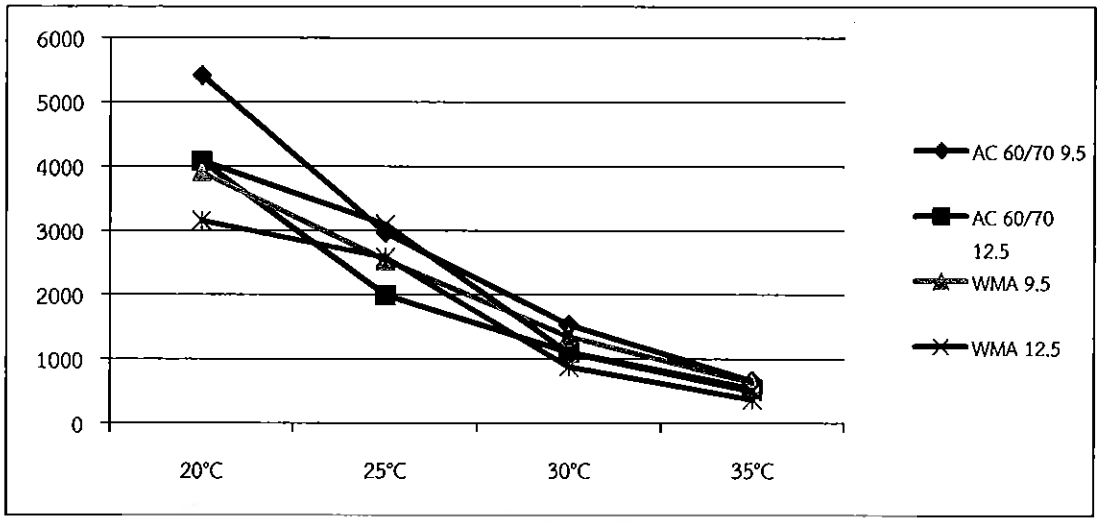
9-3

4.2 ผลการทดสอบ

ในการทดสอบนั้นใช้หินปูนจากโรงโม่หินศิลาพัฒนา จ.สุโขทัย และใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 และแอสฟัลต์ (WMA) ทดสอบที่ 4 อุณหภูมิที่ต่างกัน คือ 20 , 25 , 30 , 35 องศาเซลเซียส ออกแบบส่วนผสมโดยวิธี Marshall ทดสอบคุณสมบัติต้านทานแรงดึงโดยอ้อม ตามมาตราฐานการทดสอบ ASTM D 4123 ทดสอบก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน แล้วนำมาเฉลี่ยได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ(แบบเฉลี่ย)

Type		ค่า ITSM (MPa) At Temp.20°C	ค่า ITSM (MPa) At Temp 25°C	ค่า ITSM (MPa) At Temp 30°C	ค่า ITSM (MPa) At Temp 35°C
AC 60/70	9.5mm.	5417	2961	1529	661
	12.5 mm.	4084	1994	1100	535
WMA	9.5 mm.	3916	2539	1351	631
	12.5 mm.	4083	3094	1100	499
AC 60/70	HF	3155	2582	878	369



รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบ

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม จากกราฟจะเห็นได้ว่า ผลการทดสอบโดย**ภาพรวมค่อนข้าง**เกาะกลุ่มโดยการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำสุด (20°C) ก้อนแอสฟัลต์ทุกส่วนผสม จะมีค่าค่อน**ข้างแตกต่างกัน**โดยผลมี**ค่า**ISTMมากกว่า3000 MPa

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นลักษณะเส้นกราฟของผลการทดสอบเริ่มลดลงมาใก**ล้เคียงกัน จนเมื่อ**อุณหภูมิ35°C ค่าITSM ของเส้นกราฟลงมาจนเกือบจะชิดกันโดยมีค่าประมาณระหว่าง 300-700 MPa

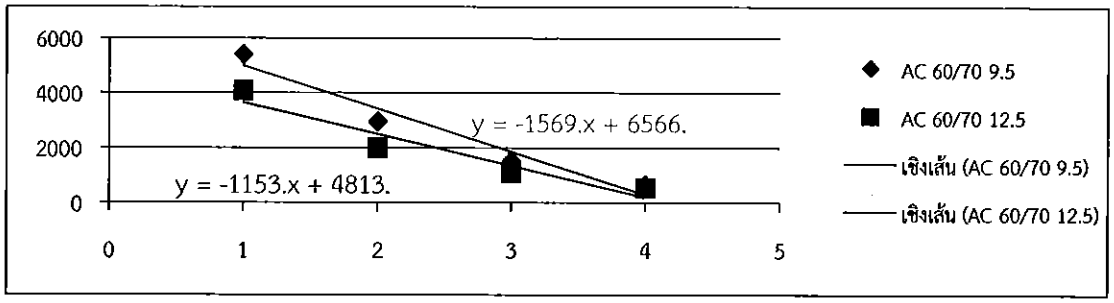
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.4.1 จากการศึกษาคุณสมบัติและปัจจัยที่มีผล

การศึกษาจากกราฟพบว่าเมื่อแอสฟัลต์มีอุณหภูมิสูงจะยิ่งมีความแข็งแรงต่ำกว่า**ในแอสฟัลต์ที่มี**อุณหภูมิต่ำ โดยเมื่อแอสฟัลต์ที่อยู่ในอุณหภูมิ 30°C,35°C แอสฟัลต์จะมีค่าความแข็งแรง**น้อย**กว่าอุณหภูมิ 20°C , 25°C และเมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า35°C ก้อนตัวอย่างมีความแข็งแรงลดลงไปอย่างเห็นได้ชัด โดยภาพรวมแล้วค่าความแข็งแรงค่อนข้างใกล้เคียงกันในการทดสอบที่อุณหภูมิเดียวกัน และทราบว่าการทดสอบอุณหภูมิที่ต่างกัน 5°C (20°C , 25°C , 30°C , 35°C) ค่า ITSM จะมีค่าต่างกันถึง 48.7 %

4.4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของชนิดของยางที่ใช้ในการเชื่อมประสาน

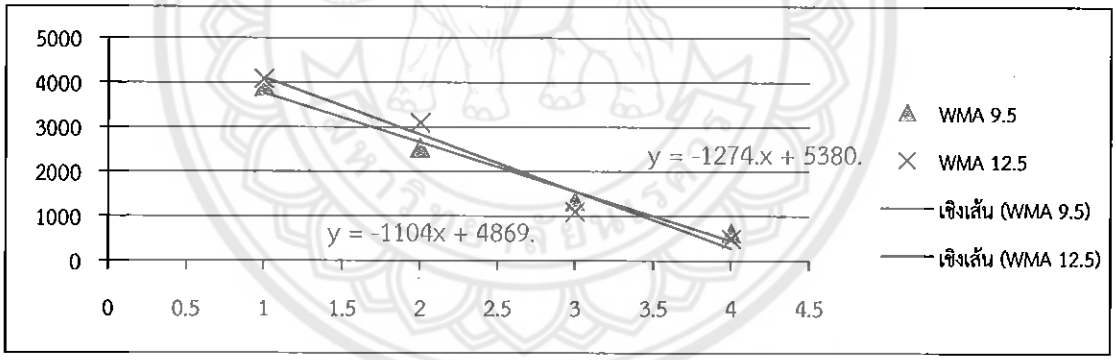
จากคุณสมบัติของยางที่ใช้เชื่อมประสานสามารถเปรียบเทียบได้หลายชนิดดังนี้



รูปที่ 4.2 ผลของ AC60/70 9.5 มิลิเมตร และ AC60/70 12.5 มิลิเมตร

จากกราฟจะเห็นว่าผลของ AC60/70 9.5 มิลลิเมตร และ AC 60/70 12.5 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นเส้นโค้งจากอุณหภูมิต่ำจนอุณหภูมิสูงเส้นโค้งเริ่มยาวลงมาจนถึงจุดที่ใกล้ชิดกัน

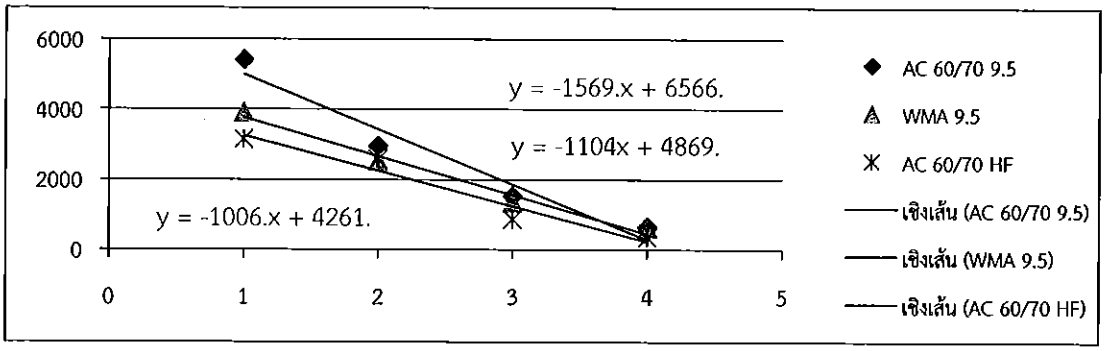
ทำให้ทราบว่าผลและแนวโน้มของ AC60/70 9.5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงมากกว่า AC60/70 12.5 มิลลิเมตร (เส้นสีฟ้าและแดง) ทุกอุณหภูมิ



รูปที่ 4.3ผลของ WMA 9.5 มิลลิเมตร และ WMA 12.5 มิลลิเมตร

จากกราฟจะเห็นว่าผลของ WMA 9.5 มิลลิเมตร (เส้นสีเขียว) และ WMA 12.5 มิลลิเมตร (เส้นสีม่วง) มีลักษณะเป็นเส้นจากอุณหภูมิต่ำยาวลงมาจนอุณหภูมิสูง โดยเมื่อที่สูงกว่าอุณหภูมิ 30°C เส้นของ WMA 12.5มิลลิเมตร ยาวลงมาจนต่ำกว่า WMA 9.5 มิลลิเมตร

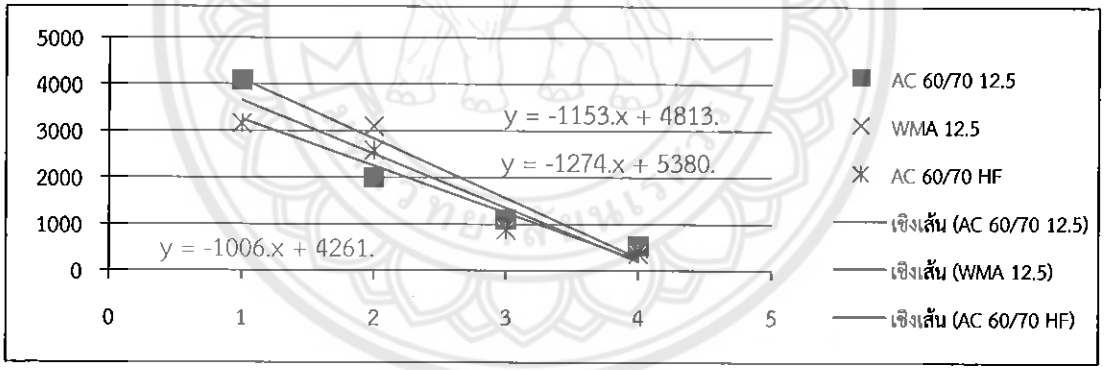
ทำให้ทราบว่าผลและแนวโน้มของ WMA 9.5 มิลลิเมตร (เส้นสีเขียว) ที่ ที่อุณหภูมิสูง (Temp. 30-35°C) มีความแข็งแรงมากกว่า WMA 12.5 มิลลิเมตร แต่ที่ อุณหภูมิต่ำ (Temp.20-25°C) WMA 12.5(เส้นสีม่วง) จะมีความแข็งแรง มากกว่า



รูปที่ 4.4 ผลของ AC60/70 9.5 มิลลิเมตร , WMA 9.5 มิลลิเมตร และ AC60/70 HF

จากกราฟจะเห็นว่าผลของทั้งสามชนิด มีลักษณะเป็นเส้นจากที่อุณหภูมิต่ำมีค่าITSMสูงและเริ่มยาวลงมาจนที่อุณหภูมิสูงค่า ITSMมีค่าต่ำ โดยเส้นของ AC60/70 9.5 มิลลิเมตร (เส้นสีน้ำเงิน) มีค่า ITSM สูงที่สุด เส้นของ WMA 9.5 มิลลิเมตร (เส้นสีเขียว) มีค่ารองลงมา และ AC60/70 HF (เส้นสีฟ้า) มีค่า ITSM ต่ำที่สุด

ทำให้ทราบว่าผลและแนวโน้มของ AC60/70 9.5 มิลลิเมตร (เส้นสีน้ำเงิน) มีความแข็งแรงมากกว่า WMA 9.5 มิลลิเมตร (เส้นสีเขียว) และ AC60/70 HF (เส้นสีฟ้า) ทุกอุณหภูมิ



รูปที่ 4.5 ผลของ AC60/70 12.5 มิลลิเมตร , WMA 12.5 มิลลิเมตร และ AC60/70 HF

จากกราฟจะเห็นว่าผลของทั้งสามชนิด มีลักษณะเป็นเส้นจากที่อุณหภูมิต่ำมีค่าITSMสูงและเริ่มยาวลงมาจนที่อุณหภูมิสูงค่า ITSM มีค่าต่ำ โดยจะเห็นว่าเส้นของ AC60/70 HF (เส้นสีฟ้า) และเส้นของ WMA 12.5 มิลลิเมตร (เส้นสีม่วง) เป็นเส้นยาวขนานลงมาจากอุณหภูมิต่ำลงมาถึงอุณหภูมิสูง ส่วน AC60/70 12.5 มิลลิเมตร (เส้นสีแดง) มีค่าITSM ใกล้เคียงกับ WMA 12.5 มิลลิเมตร ยกเว้นที่อุณหภูมิ 25°C

ทำให้ทราบว่าผลและแนวโน้มของ WMA 12.5 มิลลิเมตร (เส้นสีม่วง) มีความแข็งแรงมากกว่า AC60/70 HF (เส้นสีฟ้า) และ AC60/70 12.5มิลลิเมตร (เส้นสีแดง) ทุกอุณหภูมิ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติความแข็งแรงโดยแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1.1 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความแข็งแรงของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตยิ่งมีค่าลดลง

5.1.2 เมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิต่างกัน 5°C พบว่า ค่ามีค่าความแข็งแรงโดยแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต แตกต่างกันประมาณ 48.7% โดยเฉลี่ย

5.1.3 พบว่า จากกราฟเมื่ออุณหภูมิสูง ค่าความแข็งแรงโดยแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตของก้อนตัวอย่างแต่ละชนิดยาง มีค่าแตกต่างกันออกไปค่อนข้างกระจายตัว แต่เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30°C ขึ้นไป ค่าความแข็งแรงโดยแรงดึงโดยอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต จะเริ่มมีค่าใกล้กัน หรือเส้นของกราฟมารวมกลุ่มที่จุดใกล้เคียงกันอย่างเห็นได้ชัด

5.1.4 การเปรียบเทียบ AC60/70 9.5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงมากกว่า AC60/70 12.5 มิลลิเมตร

5.1.5 การเปรียบเทียบ WMA 9.5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงมากกว่า WMA 12.5 มิลลิเมตร

5.1.6 การเปรียบเทียบ AC60/70 9.5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงมากกว่า WMA 12.5 มิลลิเมตร และ AC60/70 HF

5.1.7 การเปรียบเทียบ WMA 12.5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงมากกว่า AC60/70 12.5 มิลลิเมตร และ AC60/70 HF

5.1.8 การเปรียบเทียบ ก้อนตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดพบว่า AC60/70 9.5 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงมากที่สุด

5.1.8 ความเสียหายของถนนเกิดขึ้นในที่อุณหภูมิสูงหรือในช่วงกลางวัน เมื่อแอสฟัลต์คอนกรีตยิ่งแข็งแรงยิ่งรับการจราจรได้ดี เพราะฉะนั้นควรหาส่วนผสมที่มีสามารถรับสภาพการจราจรได้ดีในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อจะนำไปสู่ความเสียหายที่ลดลง อายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุปสรรคในการทำการทดสอบ

ในการผสมก้อนตัวอย่างด้วยวิธี Marshall เมื่อใช้อุณหภูมิสูง ถุงมือกันความร้อนป้องกันไม่ได้ไม่เท่าที่ควร และเครื่อง Nottingham Asphalt Tester (NAT) ไม่สามารถทดสอบต่อเนื่องในที่อุณหภูมิสูงได้

5.2.2 สิ่งที่ส่งผลให้การทดสอบคลาดเคลื่อน

การควบคุมอัตราส่วนผสมในการบดอัดก้อนตัวอย่างทีนำมาทดสอบ และการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้การทดสอบ

5.2.3 สิ่งที่สามารถต่อยอดงานวิจัยต่อไปได้

การหาวัสดุที่มีเพิ่มความสามารถการรับสภาพจราจรในที่อุณหภูมิสูง

เอกสารอ้างอิง

A.M. Hartman, M.D. Gilchrist, G. Walsh. (2001). : Effect of mixture compaction on indirect tensile stiffness and fatigue.

The Shell Bitumen Handbook (2014)

นภัสรพี อนันตชัยพงศ์ , ร.อ.พิพัฒน์ สอนวงษ์. (2545). : การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์

ดร.ชยธันว์ พรหมศร , เศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ , พรชัย ศิลารมย์ และ วรภัทร เกตนติ. (2545). : กรมทางหลวง : คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม และค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย

Sri Sunarjono. (2007). : Tensile strength and stiffness modulus of foamed asphalt applied to a grading representative of Indonesian road

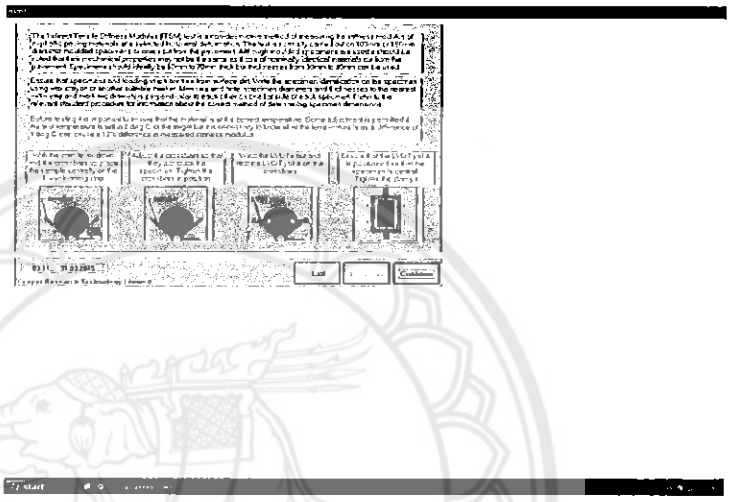
Madjadoumbaye J. ,Lezin Seba M. , Takoukam Sandeu F. ,Tamo T.T. (2012). : Influence of Poisson's Ratio on the stress , strains and Deflections in Pavement Design

ภาคผนวก ก

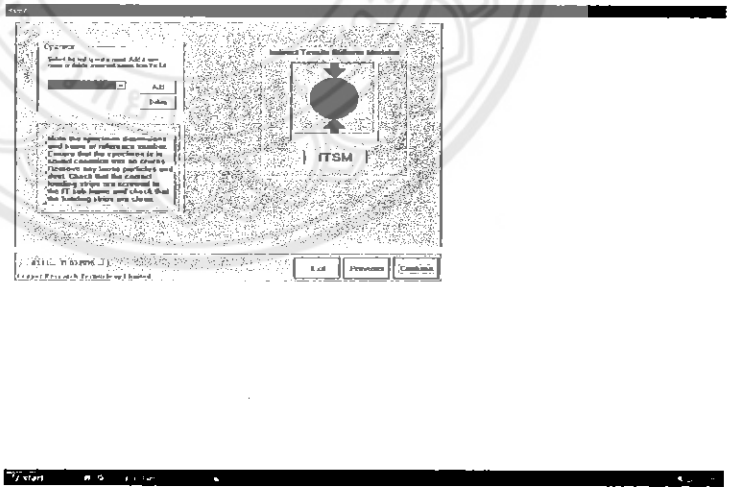
โปรแกรมการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม

(Indirect Tensile Strength Program)

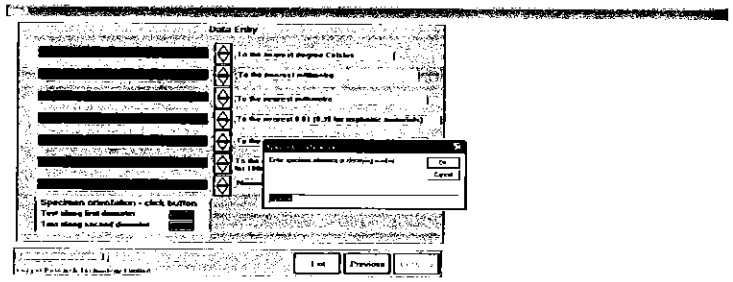
ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งก้อนตัวอย่างเข้ากับอุปกรณ์เครื่องมือทดสอบ



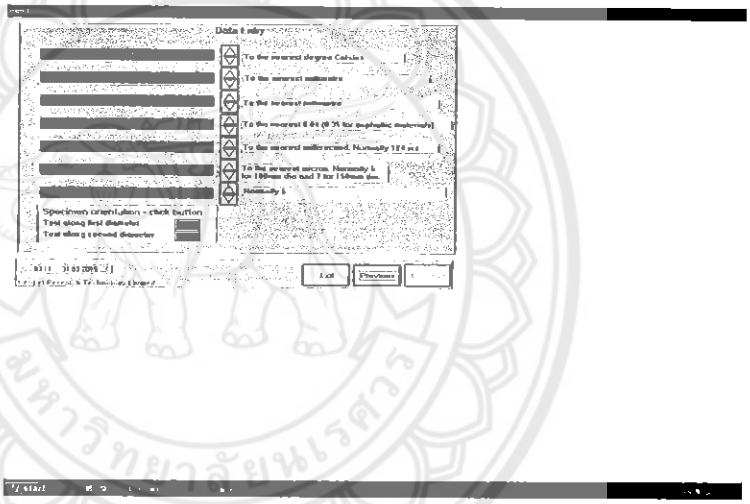
ขั้นตอนที่ 2 ใส่ชื่อผู้ทำการทดสอบ



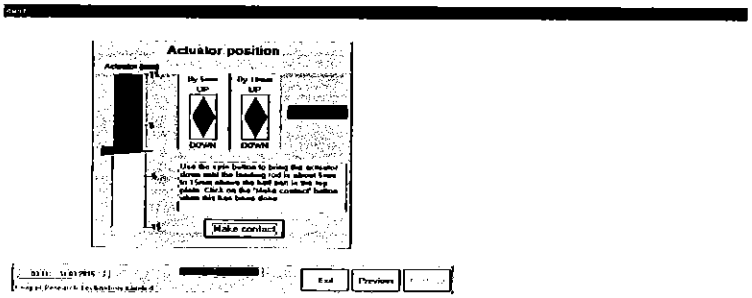
ขั้นตอนที่ 3 ใส่ชื่อก้อนตัวอย่าง



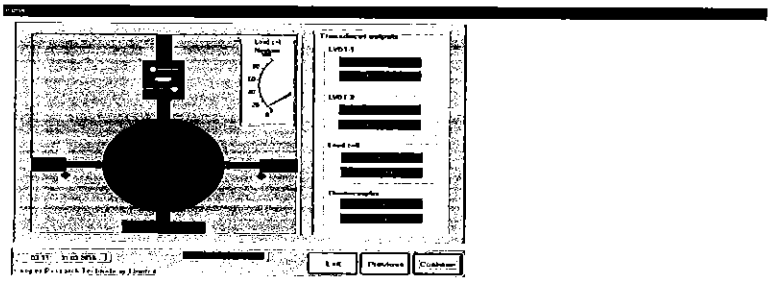
ขั้นตอนที่ 4 กรอกข้อมูลของก้อนตัวอย่างลงโปรแกรม



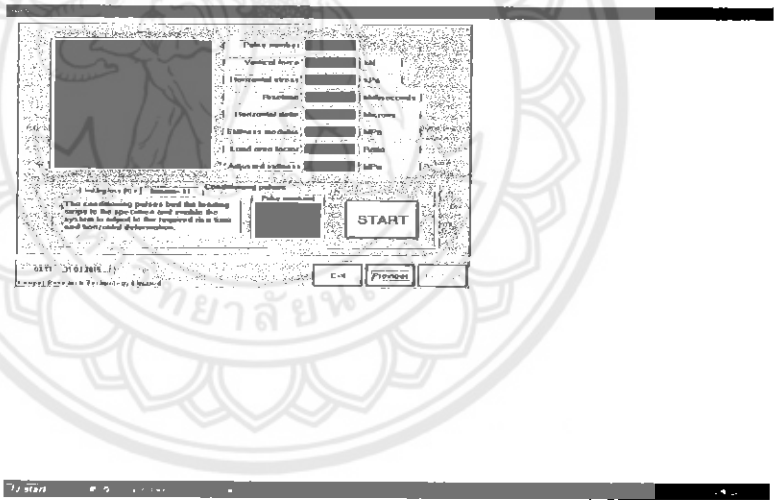
ขั้นตอนที่ 5 ทำการ Contact หัวกดกับก้อนตัวอย่าง



ขั้นตอนที่ 6 ปรับอุปกรณ์หัววัด LVTD จนถึงขีดสีแดงบนหน้าจอโปรแกรม



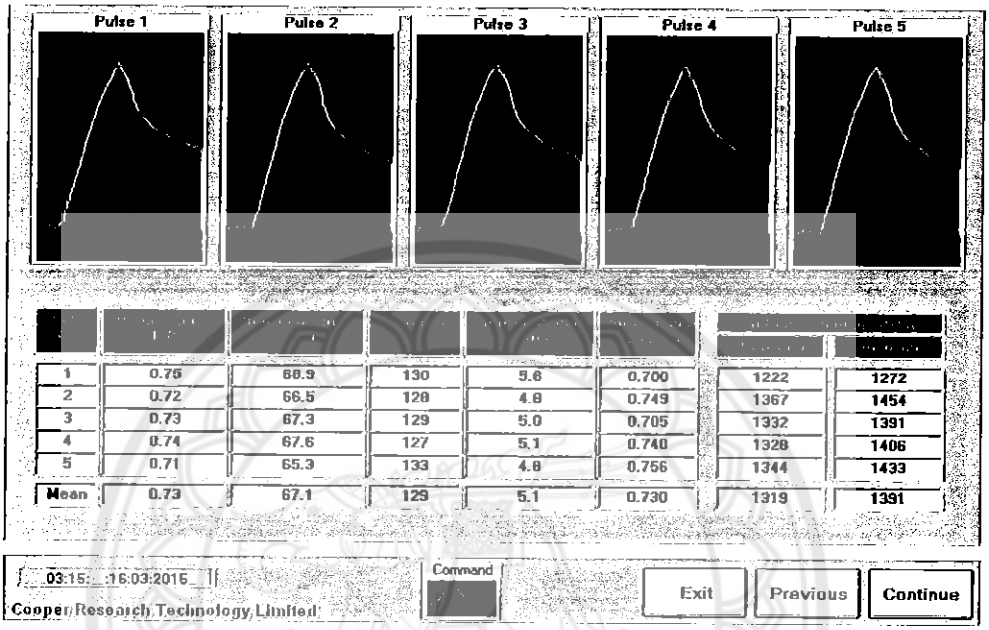
ขั้นตอนที่ 7 กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มทำการทดสอบ



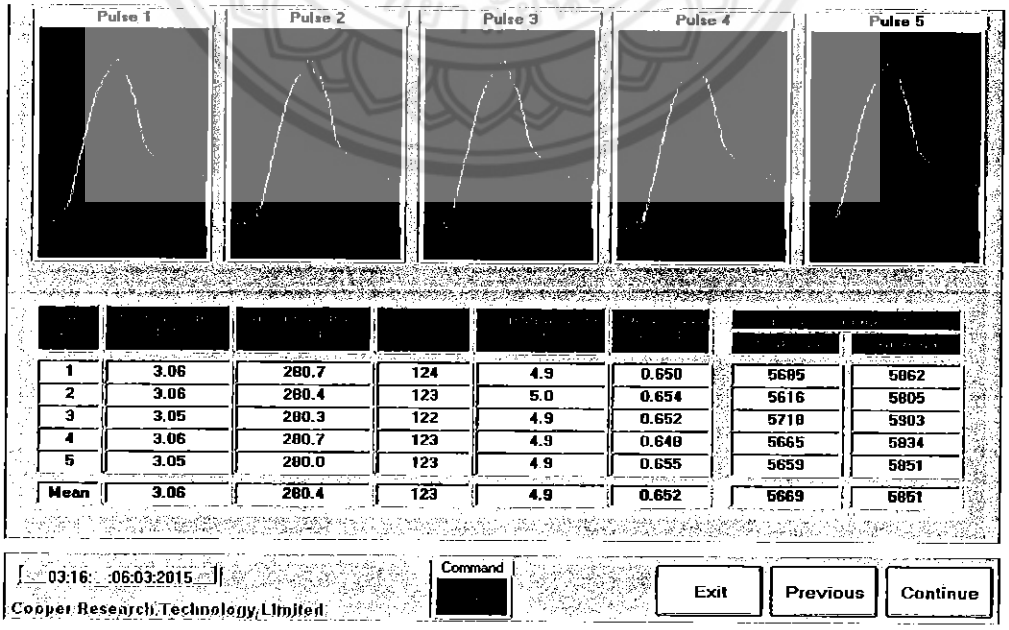
กราฟแสดงผลการทดสอบ ด้วยเครื่อง NAT (Nottingham asphalt tester)

AC 60/70

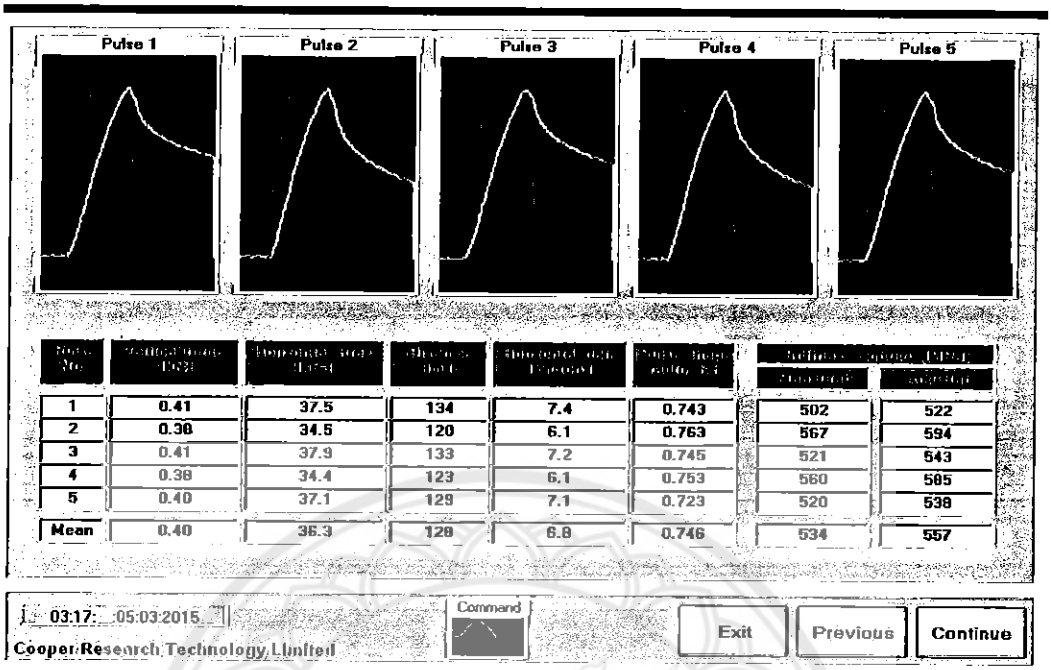
ที่อุณหภูมิ 20 องศา



ที่อุณหภูมิ 30 องศา

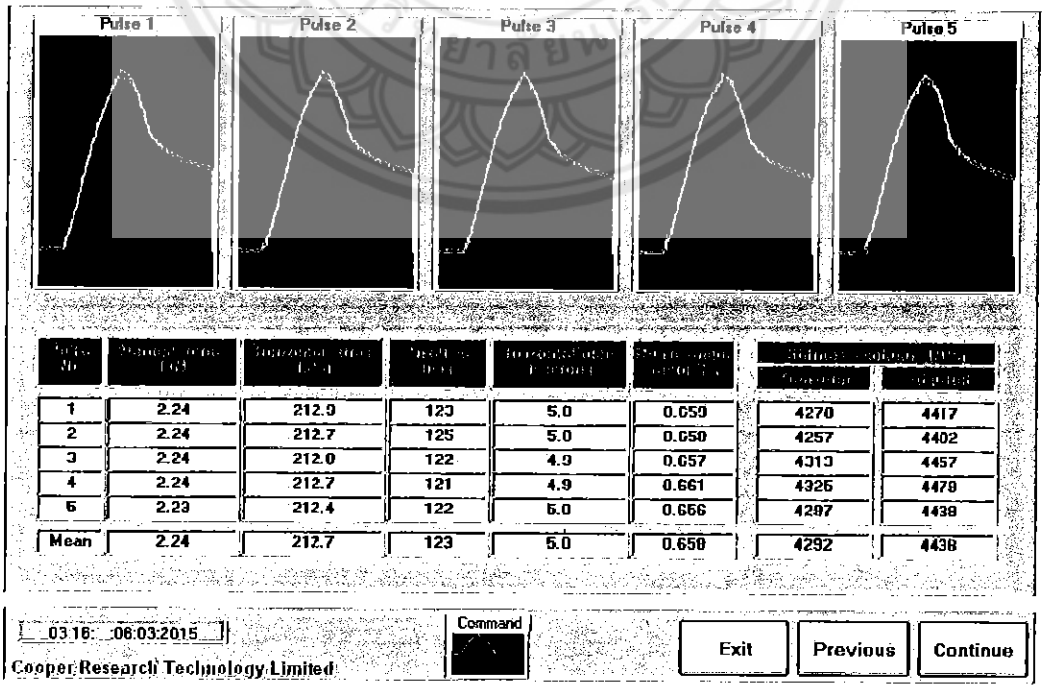


อุณหภูมิ 35 องศา

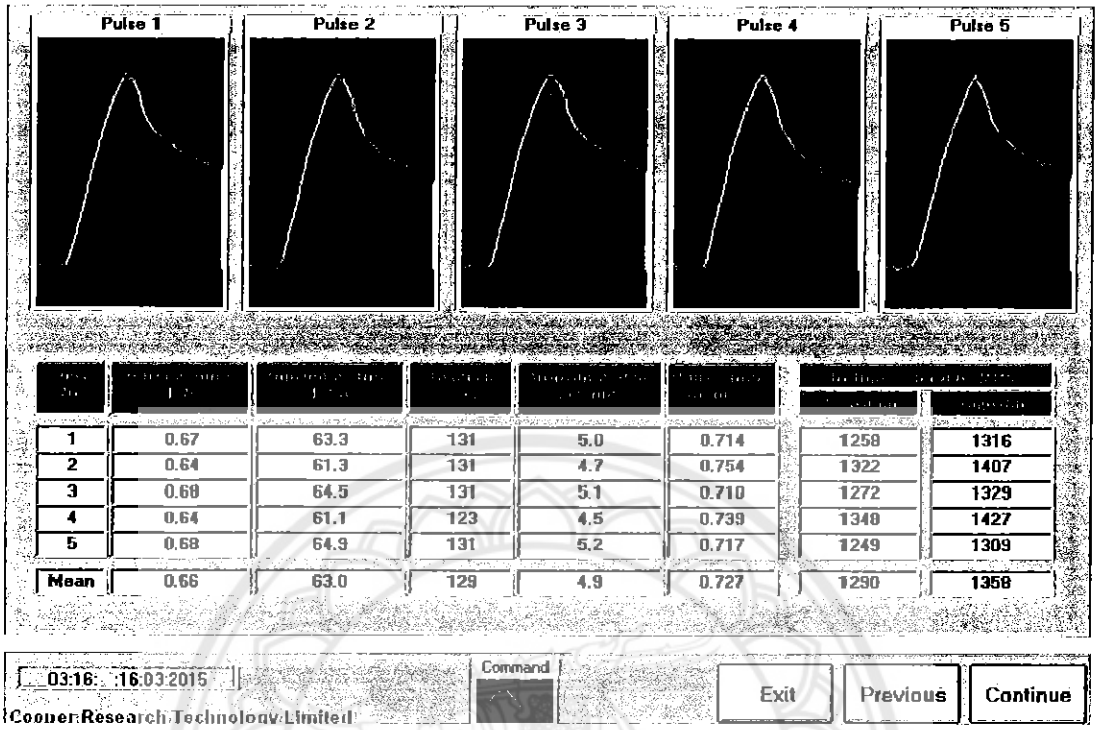


WMA

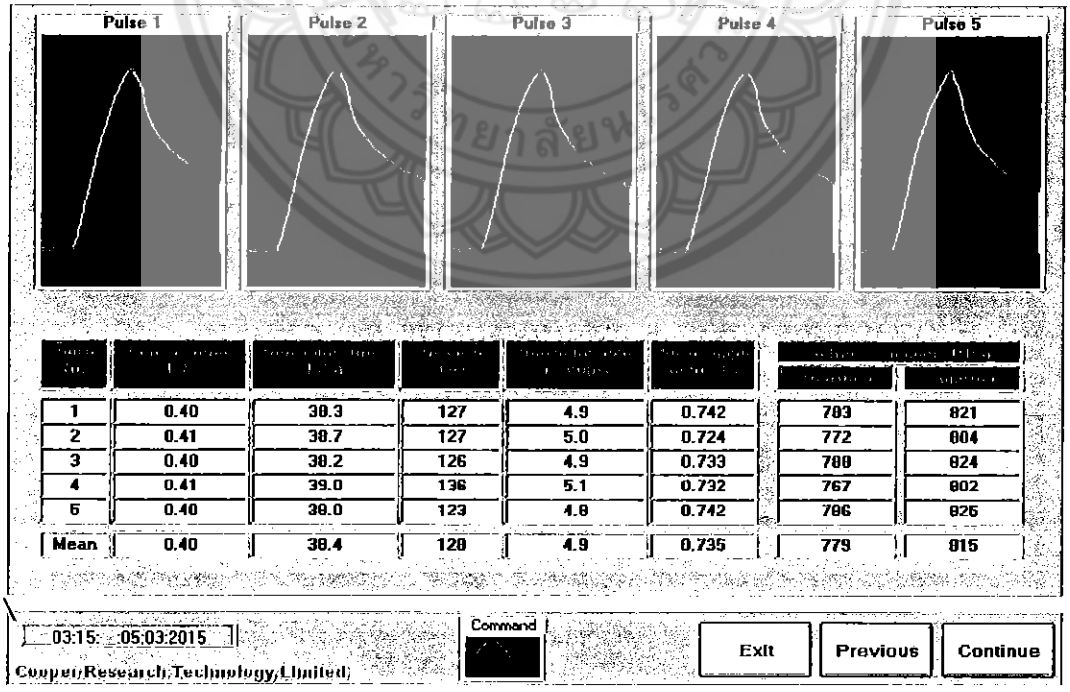
ที่อุณหภูมิ 20 องศา



ที่อุณหภูมิ 30 องศา

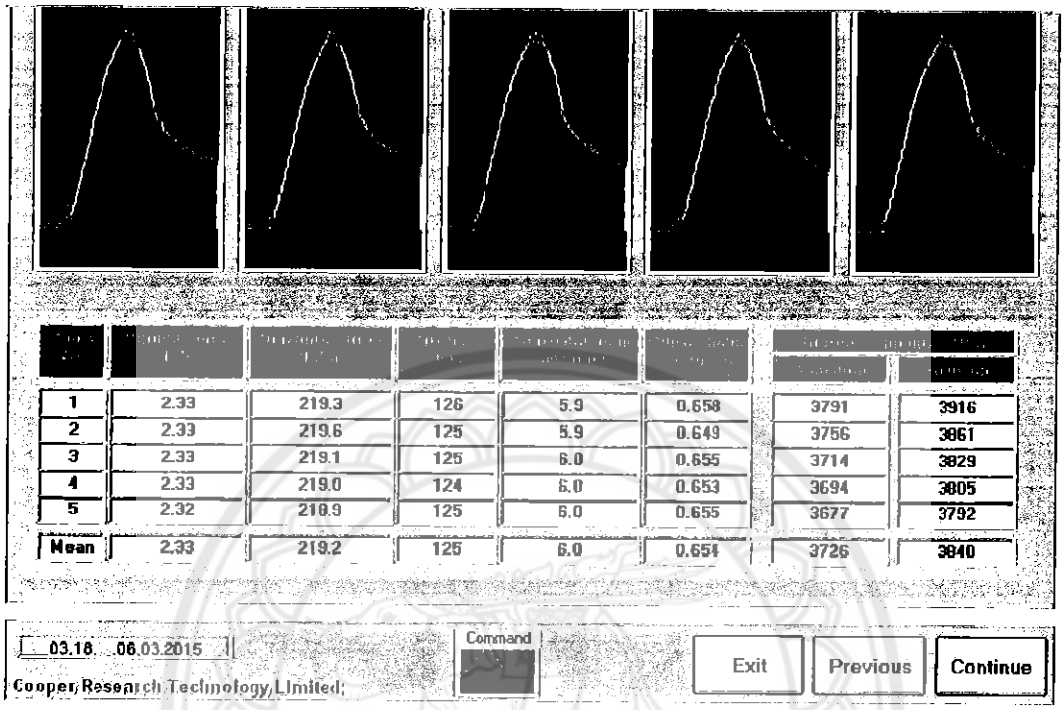


ที่อุณหภูมิ 35 องศา



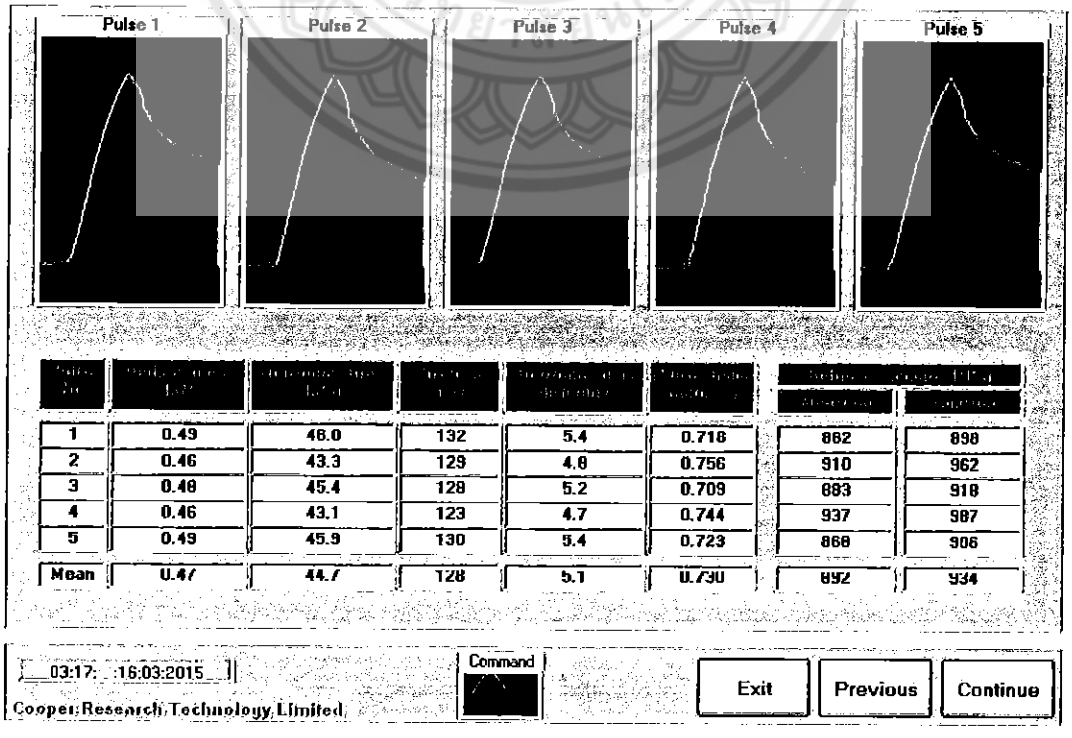
AC 60/70 HF

ที่อุณหภูมิ 20 องศา



1	2.33	219.3	126	5.9	0.658	3791	3916
2	2.33	219.6	125	5.9	0.649	3756	3861
3	2.33	219.1	125	6.0	0.655	3714	3829
4	2.33	219.0	124	6.0	0.653	3694	3805
5	2.32	218.9	125	6.0	0.655	3677	3792
Mean	2.33	219.2	125	6.0	0.654	3726	3840

ที่อุณหภูมิ 30 องศา



1	0.49	46.0	132	5.4	0.716	862	898
2	0.46	43.3	129	4.8	0.756	910	962
3	0.48	45.4	128	5.2	0.709	883	918
4	0.46	43.1	123	4.7	0.744	937	987
5	0.49	45.9	130	5.4	0.723	868	906
Mean	0.47	44.7	128	5.1	0.730	892	934

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาว ณัฐชา จันทร์ป้อม
ภูมิลำเนา 989/185 ม.3 ต.อรัญญิก อ.เมือง จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2547 สำเร็จการศึกษาระดับประถมจาก โรงเรียนเซนต์นิโกลาส อ.เมือง จ.พิษณุโลก

พ.ศ.2550 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนเซนต์นิโกลาส อ.เมือง จ.พิษณุโลก

พ.ศ.2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคเหนือ อ.เมือง จ.พิษณุโลก

พ.ศ.2557 กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ชั้นปีที่ 4 สาขา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Natcha.xo@hotmail.com

ชื่อ นาย ธีรภัทร พิพัฒนกุล
ภูมิลำเนา 321/7 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2547 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจาก โรงเรียนอนุบาลพิจิตร อ.เมือง จ.พิจิตร

พ.ศ.2550 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนปริ้นส์รอยแยลส์วิทยาลัย อ.เมือง จ.เชียงใหม่

พ.ศ.2553 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม อ.เมือง จ.พิจิตร

พ.ศ.2557 กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ชั้นปีที่ 4 สาขา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Newcli@hotmail.com

ชื่อนายวรัญญู เขียวจันทร์แสง
ภูมิลำเนา186/6 ต.บ้านสวน อ.เมือง จ.สุโขทัย
ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2548	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาจาก โรงเรียนบ้านคลองตาลกระจ่างจินดา อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย
พ.ศ.2549	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนสุโขทัยวิยาคม จ.สุโขทัย
พ.ศ.2550	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสุโขทัยวิยาคม จ.สุโขทัย
พ.ศ.2552	กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ชั้นปีที่ 6 สาขา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: u_ya_@hotmail.com