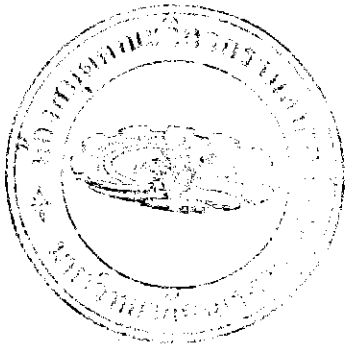
การศึกษาคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต

A STUDY OF THE PROPERTIES ON FATIGUE OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES

นางสาวธัญญารัตน์ เผือกหอม รหัส 54364665

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 30 ก.ย. 2558
เลขทะเบียน 16911845
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว468 ธ 2557
CD - 8TL9

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

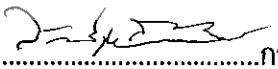
ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวธัญญารัตน์ เผือกหอม รหัส 54364665
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ บุญพล มีไชโย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

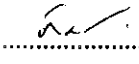
.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(อาจารย์ บุญพล มีไชโย)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)



.....กรรมการ

(อาจารย์ ภัคพงศ์ หอมเนียม)

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต
ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวธัญญารัตน์ เผือกหอม รหัส 54364665
ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ บุญพล มีไชโย
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความล้าแอสฟัลต์คอนกรีต และเปรียบเทียบคุณสมบัติความล้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC60/70 9.5 มิลลิเมตร 12.5 มิลลิเมตร และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 9.5 มิลลิเมตร 12.5 มิลลิเมตร โดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) และทำการทดสอบความล้าด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue Test : ITFT) จากการผลทดสอบพบว่าอุณหภูมิและค่าแรงกระทำ (Stress) นั้นมีผลต่อการต้านทานความล้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต และผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) สามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA)

Project title	A Study of the Properties on Fatigue of Asphalt Concrete
Name	Miss. Thanyarat Phueakhom ID. 54364665
Project advisor	Mr. Boonphol Meechaiyo
Major	Civil Engineering
Department	Civil Engineering , Faculty of Engineering , Naresuan University
Academic year	2014

Abstract

This project is the study of the properties on Fatigue of asphalt concrete to study the factors that affect the fatigue of asphalt concrete and compares the fatigue of asphalt concrete pavement hot mix AC60/70 9.5 mm, 12.5 mm and asphalt concrete warm mixes 9.5 mm, 12.5 mm by Marshall. And fatigue tests with the Indirect Tensile Fatigue Test. The tests find that temperature and stress that affect the fatigue resistance of asphalt concrete pavement and asphalt concrete warm mixes can resist fatigue better than asphalt concrete hot mix.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เพราะด้วยความอนุเคราะห์จาก อาจารย์บุญพล มีไชโย ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ พร้อมทั้งตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด ผู้ทำโครงงานรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาจากอาจารย์เป็นอย่างมาก จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบคุณ คุณรชัสกมล บัวชื่น ที่ได้ให้คำแนะนำและให้การสนับสนุนคอยช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้ รวมถึงคณาจารย์และครูช่างทุกท่าน และรวมทั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวธัญญารัตน์ เผือกหอม

พฤษภาคม 2558

สารบัญ

หน้า

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

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

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต 4
2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต 4
2.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธี Marshall (ASTM D1559) 9
2.4 ทฤษฎีความล้า (Fatigue) 13
2.5 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 18
3.1 การเตรียมวัสดุมวลรวม 18
3.2 การเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต 18
3.3 วิธีการดำเนินการทดสอบ 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 21
4.1 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต 21
4.2 ผลการทดลองการทดสอบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่าง ๆ 22

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 25
5.1 บทสรุป 25
5.2 ข้อเสนอแนะ 26

เอกสารอ้างอิง 27

ภาคผนวก ก การออกแบบส่วนผสมและผลการทดสอบคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต 28
ภาคผนวก ข วิธีการใช้เครื่อง Universal Testing Machine NAT (NU 10) และโปรแกรม ITFT 31
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 40

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน 3

2.1 แสดงค่า Poisson's Ratio ของแอสฟัลต์คอนกรีต 15

4.1 แสดงอัตราส่วนของมวลรวม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 21

4.2 แสดงค่า Load Repetitions (Pulses) 22

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน.....20

4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Load Repetitions กับอุณหภูมิที่ค่าแรงกระทำ (Stress) เท่ากับ 400 กิโลปาสคาล ของผิวทางที่ศึกษาชนิดต่าง ๆ..... 23

4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Load Repetitions กับอุณหภูมิที่ค่าแรงกระทำ (Stress) เท่ากับ 500 กิโลปาสคาล ของผิวทางที่ศึกษาชนิดต่าง ๆ..... 24

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในประเทศไทยส่วนใหญ่ผิวทางนั้นเป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับสภาพการจราจรทั้งปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกตามแต่ละมาตรฐานชั้นทางที่ออกแบบ ปัจจุบันปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก หากเลือกใช้ผิวทางที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับสภาพการจราจร จะทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวทางและชั้นโครงสร้างทางได้ โดยความเสียหายที่สำรวจพบมากที่สุดคือ การเกิดร่องล้อ (Rut) การเกิดรอยแตก (Crack) ซึ่งปัญหาเหล่านี้ก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยแก่ผู้ใช้รถใช้ถนนและความเสียหายต่อผิวทางทำให้มีอายุการใช้งานที่สั้นลง จึงต้องมีการซ่อมบำรุงซึ่งก่อให้เกิดการจราจรติดขัดหากต้องปิดถนนและยังสิ้นเปลืองงบประมาณของกรมทางหลวงในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก

การเกิดรอยแตก (Crack) ในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต นับเป็นที่ทำให้ถนนเกิดการพังเสียหายอย่างมาก โดยการเกิดร่องล้อและรอยแตกสาเหตุหลักเกิดจากแรงกระทำภายนอกที่เกินกว่าความสามารถในการรับแรงของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หรือจากการที่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำซ้ำๆ เป็นเวลานานสะสมจนเกินกว่าขนาดที่ผิวทางจะสามารถรับได้จนทำให้เกิดความล้า (Fatigue)

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC60/70 9.5 มิลลิเมตร, 12.5 มิลลิเมตร และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 9.5 มิลลิเมตร, 12.5 มิลลิเมตร โดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) และทำการทดสอบความล้าด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue Test : ITFT) เป็นการทดสอบแบบใช้แรงมากระทำที่ก้อนตัวอย่างเป็นจังหวะจนกว่าก้อนตัวอย่างจะถูกทำลาย ซึ่งการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเลือกใช้ชนิดของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกและปริมาณการจราจรนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสม ความเสียหายที่ลดลงจะช่วยยืดอายุการใช้งานของถนนให้ใช้งานยาวนานขึ้นและยังเป็นการช่วยลดอุบัติเหตุอันเกิดจากความเสียหายของถนนที่มีสาเหตุมาจากความล้าอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต

1.2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต

1.3.2 ทราบรู้ถึงคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

1.3.3 เป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิดต่างๆ ที่สามารถต้านทานต่อความล้าให้เหมาะสมกับสภาพน้ำหนักและปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละสายทาง เพื่อทำให้อายุการใช้งานของถนนยาวนานยิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 มวลรวมที่ใช้ผสมเป็นแบบเย็น จากโรงโม่หินศิลาพัฒนา จังหวัดสุโขทัย

1.4.2 ออกแบบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีของมาร์แชลล์ (Marshall Test) ทำการบดอัดที่ 75 ครั้งต่อด้าน

1.4.3 ใช้เครื่อง Universal Testing Machine NAT (NU 10) ในการทดสอบคุณสมบัติความล้า

1.4.4 ควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบที่ 20 , 25 และ 30 องศาเซลเซียส

1.4.5 การทดสอบแบบ Controlled Stress ที่ 400 และ 500 กิโลปาสคาล

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 วางแผนการดำเนินงาน

1.5.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต

1.5.3 ออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete: HMA) แอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) ตามวิธีของมาร์แชลล์ (Marshall Test) พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติความหนาแน่น (Density) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate)

1.5.4 ทำการการทดสอบความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการศึกษานี้ใช้วิธีแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue Test : ITFT)

1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความล้าของแอสฟัลต์แต่ละชนิด

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม / เดือน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1. การนำเสนอโครงงาน							
2. ตรวจดูสถานที่ทำโครงงาน							
3. ติดต่อข้อมูลจากสำนักงานที่เกี่ยวข้อง							
4. วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น							
5. เขียนโครงงาน							

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

การแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue Cracking) เกิดขึ้นในโครงสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อมีแรงมากระทำในหน่วยแรงมากเกินกว่าที่วัสดุแอสฟัลต์จะรับได้ จึงเป็นสาเหตุให้มีรอยแตกร้าวปรากฏขึ้น วิธีที่ดีที่สุดที่จะไม่ให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากความล้าก็คือในการออกแบบต้องใช้ค่าแรงกระทำจากการจราจรหนักให้มีค่าเพียงพอ

2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต

2.1.1 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) หมายถึง วัสดุทำผิวทางที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และมวลรวม (Aggregates) ผสมกันอย่างร้อนด้วยอุณหภูมิสูงในเครื่องผสม จากนั้นนำไปปูลาดทำเป็นผิวทางของถนนในขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่ แล้วบดอัดให้แน่นและเรียบเป็นถนนลาดยางที่มีผิวทางคุณภาพดี แข็งแรง สีค่อนข้างดำ รับปริมาณการจราจรหนาแน่นมาก ๆ ได้ จึงเป็นที่รู้จักกันดีในนามของ แบล็คท็อป (Blacktop)

2.1.2 ส่วนประกอบของแอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีต ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ มวลรวม และอากาศ แอสฟัลต์ที่เคลือบอยู่จะทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานอนุภาคของมวลรวมให้เกาะติดกันแน่นไม่หลุดร่อนง่าย แต่แอสฟัลต์บางส่วนก็จะถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม ทำให้แอสฟัลต์ส่วนที่ดูดซึมนี้ไม่ได้เคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาคของมวลรวมและไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวประสานอนุภาคของมวลรวมแต่ละอนุภาค ยังทำให้เหลือช่องว่างอากาศในส่วนผสมมากขึ้นอีกด้วย โดยทั่วไปปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมจะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวมชนิดนั้นได้ประมาณร้อยละ 50 ดังนั้นในการคำนวณหาสัดส่วนของส่วนผสมจึงจำเป็นต้องรวมปริมาณของแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวมนั้นด้วย

2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

2.2.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

2.2.1.1 ความแน่น (Density) หมายถึง ปริมาณมวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความแน่นมากพอจะทำให้มีอายุการใช้งานยืนยาวและมีคุณภาพ

ดี อย่างไรก็ตามการบดทับโดยรถบดในสนาม จะได้ความแน่นน้อยกว่าความแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งบดทับด้วยเครื่องมือในห้องทดสอบ ดังนั้นการกำหนดความแน่นต่ำสุดที่บดทับให้ได้ในสนามจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ สำหรับกรมทางหลวงกำหนดไว้ว่า ต้องบดทับให้ได้ความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ของความแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ

2.2.1.2 ช่องว่างอากาศ (Air Voids : AV) แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย เม็ดวัสดุมวลรวมซึ่งถูกเคลือบด้วยฟิล์มของแอสฟัลต์ระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์เหล่านี้จะมีช่องว่างเล็กๆ เรียกว่าช่องว่างอากาศ ผิวทางแอสฟัลต์ที่บดทับแล้วจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีปริมาตรช่องว่างอากาศที่เพียงพอ แต่ไม่มากเกินไปจำนวนหนึ่งทั้งนี้เนื่องจากเปิดจราจรแล้วรถที่แล่นบนผิวทางจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นจากเดิมทำให้ปริมาณช่องว่างลดลง ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศขณะก่อ สร้างเสร็จใหม่มีไม่เพียงพอจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวเกิดการเยิ้ม (Bleeding) นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาตรและน้ำ หนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่าง ๆ อาจออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างได้มากกว่านี้ เช่น 4 – 7 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

2.2.1.3 ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate : VMA) หมายถึง ปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมทั้งช่องว่างที่ถูกแอสฟัลต์แทนที่ด้วย ดังนั้นช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมจึงเป็นปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์รวมกับปริมาณช่องว่างอากาศ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมสูงแสดงว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมต่ำ เนื่องจากมวลรวมที่มีค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม สูงกว่า ย่อมมีปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์ได้มากกว่า ทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิวอนุภาคของมวลรวมหนากว่า แอสฟัลต์คอนกรีตจึงมีความทนทานและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ถึงแม้ส่วนผสมที่มีค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมน้อยกว่าข้อกำหนด จะทำให้ปริมาณแอสฟัลต์ผสมน้อยลง เป็นการประหยัดแต่จะทำให้ได้ผิวทางที่มีความคงทนลดลง

2.2.1.4 ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content) ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใส่ลงไปผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์ตอนกรีตอย่างมาก ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องทดสอบ หรือที่โรงผสม (Mixing Plant) ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ (Design Criteria) ซึ่งได้แก่

ข้อกำหนดต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการ จะเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ผสม

2.2.2 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

2.2.2.1 เสถียรภาพ (Stability) คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อเป็นคลื่นหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ในลักษณะอื่นๆ และแรงยึดเกาะ (Cohesion) ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ รูปร่างของเม็ดวัสดุลักษณะความเรียบ ความหยาบ หรือขรุขระของผิว ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ว่าสามารถยึดเม็ดวัสดุมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำ หนักมากระทำโดยปกติแล้ววัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระจะให้ค่าเสถียรภาพสูง ส่วนแรงยึดเกาะจะมีมากถ้าแอสฟัลต์ที่ใช้มีความหนืดสูงหรือขณะที่แอสฟัลต์มีอุณหภูมิต่ำการเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงจุดหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวมหนาเกินไปเป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมลดลง ทำให้ค่าเสถียรภาพลดลงด้วยในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบให้ค่าเสถียรภาพสูงพอที่จะรับน้ำหนักจากการจราจรได้ แต่มีข้อควรคำนึงถึง คือ ค่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น ซึ่งทำให้ผิวทางเสียหายได้ โดยเฉพาะแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูลงพื้นทางหรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัว (Deflection) สูง

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเสถียรภาพต่ำ

- ใช้แอสฟัลต์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกระนาด หรือเกิดร่องล้อ หรือเกิดการเยิ้มของผิว
- ใช้ทรายที่มีเม็ดขนาดกลาง (Medium Size Sand) มากเกินไป ทำให้บดอัดยากขณะที่ทำการบดอัด หรือแม้กระทั่ง) บดอัดเสร็จใหม่จะมีลักษณะเคลื่อนตัวได้ง่าย (ไม่อยู่ตัว)
- วัสดุมวลรวมมีลักษณะกลม ผิวเรียบ ขยับตัวได้ง่าย ทำให้เกิดร่องล้อ

2.2.2.2 ความคงทน (Durability) หมายถึงความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอาจเป็นผลมาจากภูมิอากาศ สภาพจราจรหรือทั้งสองอย่าง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอสฟัลต์ที่ใช้เสื่อมสภาพเนื่องจากขบวนการโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) และออกซิเดชัน (Oxidation) วัสดุมวลรวมเสื่อมสภาพจนเกิดการแตกตัว (Disintegration) และฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมหลุดออก (Stripping)

2.2.2.3 การออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทนทำได้ 3 วิธี คือ

ก. ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ การใช้ปริมาณแอสฟัลต์มากทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบผิววัสดุมวลรวมหนา ฟิล์มแอสฟัลต์ที่หนาจะเสื่อมสภาพช้ากว่าฟิล์มที่บาง นอกจากนั้นการใช้แอสฟัลต์มากจะช่วยอุดช่องว่างอากาศที่อาจต่อเนื่องกัน (Interconnected Air Voids) ทำให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปทำลายเนื้อแอสฟัลต์คอนกรีตได้ยาก

ข. เลือกขนาดคละที่ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะแน่น (Dense Gradation) รวมทั้งใช้วัสดุมวลรวมที่มีความแข็งแกร่งและมีคุณสมบัติในการยึดเกาะแอสฟัลต์ได้ดี ขนาดคละที่มีลักษณะแน่นทำให้น้ำและอากาศผ่านได้ยาก ความแข็งแกร่งของวัสดุมวลรวมป้องกันการแตกเนื่องจากน้ำหนักจราจร คุณสมบัติการเกาะยึดระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์จะช่วยไม่ให้หินหลุด ในสภาวะการใช้งานขณะที่ผิวทางเปียกน้ำ

ค. ออกแบบส่วนผสมรวมทั้งการบดอัดในสนามในลักษณะที่ทำให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่กันน้ำและอากาศผ่านได้มากที่สุด (Maximum Impermeability)

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตขาดความงาม

- ปริมาแอสฟัลต์น้อยไป ทำให้ผิวทางมีลักษณะแห้ง หินหลุดล่อนได้ง่าย

- ช่องว่างอากาศมากเกินไป ซึ่งอาจเนื่องมาจากออกแบบไม่เหมาะสมหรือบดอัดไม่พอทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเป็นผลทำให้เกิดรอยแตกหรืออาจแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ

- คุณสมบัติในการยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ภายใต้สภาวะเปียกน้ำไม่ดีพอทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์หลุดออกจากวัสดุมวลรวม ทำให้หินหลุดหรือโผล่ออกมา

2.2.3 ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability)

ปริมาตรช่องว่างอากาศเป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ แต่ที่สำคัญยิ่งกว่าปริมาตรช่องว่างก็คือ ลักษณะของช่องว่าง ได้แก่ ขนาดของช่องว่าง (แต่ละช่อง) ช่องว่างทะลุติดกันหรือไม่ และช่องว่างทะลุถึงผิวนอกของแอสฟัลต์คอนกรีตหรือไม่ ถึงแม้ว่า ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศจะเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทน แต่ในความเป็นจริงแล้วแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมด น้ำและอากาศจะสามารถซึมผ่านได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งหากมีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนดแล้วก็ถือว่าใช้ได้

สาเหตุที่ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

- ปริมาณแอสฟัลต์น้อยไป ทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์เสื่อมสภาพอย่างเร็ว ทำให้มวลรวมหลุดออกเกิดเป็นช่องว่าง

- การออกแบบส่วนผสมให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศมากเกินไป ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ง่ายขึ้น

- บดอัดไม่แน่นเพียงพอ มีปริมาตรช่องอากาศมากเกินไป ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ง่ายขึ้น

2.2.4 ความง่ายในการปูและการบดอัด (Workability)

แอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูและบดอัดยากอาจแก้ไขได้โดยการออกแบบใหม่หรือเปลี่ยนวัสดุมวลรวมใหม่ และหรือเปลี่ยนขนาดคละของวัสดุมวลรวมใหม่

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตปูและบดอัดยาก

- ขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวมโตเกินไป ทำให้ผิวหน้าหยาบและปูยาก
- วัสดุมวลรวมมีส่วนที่หยาบมากเกินไป ทำให้บดอัดยาก
- อุณหภูมิขณะผสมต่ำ) ทำให้แอสฟัลต์เคลือบผิววัสดุมวลรวมไม่ทั่ว
- ใช้ทรายที่มีขนาดเม็ดกลางผสมมากเกินไป ทำให้ส่วนผสมไม่อยู่ตัว อ่อนยวบยาบขณะบดอัด จึงทำให้บดอัดยาก
- ปริมาณวัสดุผสมแทรกน้อยเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะอ่อนยวบยาบนา, ซึมผ่านได้ง่าย
- ปริมาณวัสดุผสมแทรกมากเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะแห้งหรือเหนียวหนืดทำงานยากและไม่คงทน

2.2.5 ความสามารถในการแอ่นตัว (Flexibility)

โดยที่ผิวจราจรไม่แตกเป็นสิ่งที่ต้องการในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัว โดยการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกดหรือโดยการโป่งขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของดินชั้นทางข้างล่างตลอดเวลา

แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดเรียงขนาดโปร่ง (Open-Graded) จะสามารถแอ่นตัวได้ดีกว่าชนิดเรียงขนาดแน่น (Dense-Graded)

แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้ดี มักตะมีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่แอ่นตัวได้น้อย

2.2.6 ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance)

ความต้านทานต่อการล้า คือ ความสามารถในการต้านทานการดัดโค้งแบบซ้ำซาก (Repeated Bending) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดจากน้ำหนักล้อกระทำปริมาตรช่องว่างอากาศจะเกี่ยวข้องกับปริมาณแอสฟัลต์ละความหนืดของแอสฟัลต์มีผลต่อความต้านทานต่อการล้า

กล่าวคือ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างอากาศมาก ไม่ว่าจะเป็นผลจากการออกแบบหรือจากการบดอัดไม่เพียงพอจะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลง ในทำนองเดียวกันการใช้แอสฟัลต์ที่เสื่อมสภาพและแข็งตัวได้ง่ายจะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลงเช่นกัน นอกจากนั้นความหนาและความแข็งแรงของชั้นผิวทางตลอดจนความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางก็มีผลต่ออายุและความสามารถรับน้ำหนักของผิวทางโดยไม่เกิดรอยแตก กล่าวคือผิวทางที่หนารวมทั้งชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางแข็งแรงจะทำให้มีการแอ่นตัวน้อยลง จึงมีอายุรับน้ำหนักล้อซึ่งกระทำซ้ำๆ ได้นานกว่า

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความต้านทานต่อการล้าไม่ดี

- ปริมาณแอสฟัลต์น้อยเกินไป จะทำให้เกิดรอยแตกเมื่อมีน้ำหนักมากระซ้ำมากๆ
- ออกแบบใหม่มีช่องว่างอากาศมาก ทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพเร็วเกิดรอยแตกง่าย
- การบดอัดที่ไม่เพียงพอทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพเร็ว เกิดรอยแตกง่าย
- ผิวทางหนาไม่พอทำให้เกิดการแอ่นตัวมากเกินควร เมื่อมีน้ำหนักกระทำทำให้เกิดรอยแตกได้ง่าย

2.2.7 ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance)

ความต้านทานต่อการลื่นไถล เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของถนนลาดยางเพราะช่วยป้องกันการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางลื่น

- ปริมาณแอสฟัลต์มากเกินไป ทำให้เกิดการเยิ้มทำให้ผิวทางลื่น
- ขนาดคละและลักษณะผิวของวัสดุมวลรวมไม่เหมาะสม ทำให้ผิวทางมีลักษณะเรียบเกินไป น้ำมีโอกาสท่วมเม็ดวัสดุมวลรวมทำให้ลื่น
- เม็ดวัสดุมวลรวมถูกขัดสี ทำให้ผิวหน้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้ลื่นได้ง่าย

2.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธี Marshall (ASTM D1559)

2.3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

2.3.1.1 เตรียมมวลรวม โดยตัวอย่างมวลรวมจะต้องผ่านการทดสอบและเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด จากนั้นนำมวลรวมที่ผสมกันได้ขนาดตามต้องการ จำนวน 1,200 กรัม ไปอบในตู้อบหรือใส่กระทะเผาบนเตาแก๊สให้ได้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

2.3.1.2 นำแบบสำหรับใส่ตัวอย่างและค้อนตำตัวอย่างไปให้ความร้อน เพื่อความสะดวกในการบดอัดซึ่งจะไม่ทำให้ยางติดแบบและค้อน

2.3.1.3 ให้อุณหภูมิแก่แอสฟัลต์ซีเมนต์ประมาณ 150 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

2.3.1.4 เมื่อมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ มีอุณหภูมิตามต้องการแล้วนำมาผสมกันโดยในการผสมแต่ละครั้ง จะต้องผสมแอสฟัลต์ที่ 4.4 , 5.0 , 5.5 , 6.0 และ 6.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมในแต่ละค่าร้อยละจะใช้ทำตัวอย่าง 3 ก้อน การผสมให้ใช้เกรียงกวนมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้เข้ากันในขณะที่ยังมีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

2.3.1.5 นำแบบมาประกอบเข้ากันที่เครื่องมือ

2.3.1.6 ใส่ตัวอย่างที่ผสมแล้วลงไปในแบบ ใช้เกรียงแซะตัวอย่าง 15 ครั้ง ในขณะที่ผสมยังคงมีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สำหรับ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

2.3.1.7 บดอัดด้วยค้อนโดยการยกตุ้มน้ำหนักแล้วปล่อยน้ำหนักให้ตกกระแทกลงบนแผ่นเหล็กวงกลม จำนวนครั้งของการบดอัดพิจารณาการจราจร ดังต่อไปนี้

ก. แอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรเบาบางถึงปานกลาง บดอัดด้วยจำนวน 50 ครั้งต่อด้าน

ข. แอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น บดอัดด้วยจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน

2.3.1.8 เมื่อบดอัดด้านหนึ่งเสร็จเรียบร้อย ให้กลับเอาอีกด้านหนึ่งมาบดอัดจำนวนครั้งที่เท่ากัน

2.3.1.9 ปล่อยให้ตัวอย่างที่บดอัดมีอุณหภูมิลดลงแล้วจึงดันออกจากแบบด้วยเครื่องมือดันตัวอย่างแล้วทิ้งไว้ในอากาศธรรมดาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง

2.3.1.10 นำไปทดสอบหาความหนาแน่น ดังต่อไปนี้

ก. นำตัวอย่างไปชั่งในอากาศ บันทึกเป็นค่า e

ข. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดา 5 นาที แล้วเช็ดผิวให้แห้ง ชั่งในอากาศบันทึกเป็นค่า f

ค. นำตัวอย่างในข้อ 2.4.2.10 ไปชั่งในน้ำ บันทึกค่าเป็นค่า g

2.3.1.11 ทดสอบหาค่าเสถียรภาพและการไหล ดังต่อไปนี้

ก. นำตัวอย่างที่หาความหนาแน่นเสร็จแล้วไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างต้มน้ำ

ข. เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง นำไปใส่ในแบบที่ใช้สำหรับทดสอบหาค่าเสถียรภาพ

ค. นำแบบที่บรรจุตัวอย่างแล้วไปวางบนเครื่องกดหาค่าเสถียรภาพ

ง. เดิมเครื่องให้แบบเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับท่อนกด จนกระทั่งเข็มของเกวัด (Dial Gage) ที่ติดกับวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ขยับตัว ให้หยุดเครื่อง ตั้งเข็มของเกวัดให้อยู่ที่เลขศูนย์

จ. นำเครื่องวัดการไหลไปวางบนแกนสำหรับทดสอบหาค่าการไหล ตั้งเข็มของเกวัดของเครื่องวัดการไหลให้ไปอยู่ที่เลขศูนย์

ฉ. เดินเครื่องกดเพื่อทดสอบหาค่าเสถียรภาพ โดยการอ่านน้ำหนักสูงสุดที่กดจากวงแหวนวัดแรง และอ่านค่าการไหลที่น้ำหนักสูงสุดเช่นเดียวกัน

2.3.2 การคำนวณหาค่าคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

2.3.2.1 หาค่าแอสฟัลต์ประสิทธิผลโดยน้ำหนักของส่วนผสม (Effective Asphalt Cement by Weight of Mix) บันทึกเป็นค่า c

$$c = b - \frac{x(100 - b)}{100}$$

เมื่อ c = ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ในส่วนผสม

X = ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ที่เสียไปในการดูดซึมโดยน้ำหนักของมวลรวม

โดยค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของส่วนผสม (b) หาได้จาก

$$b = \frac{a \times 100}{100 + a}$$

เมื่อ a = ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวมที่ได้จากการกำหนด

2.3.2.2 หาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อน (Bulk Specific Gravity) ของตัวอย่างบันทึกเป็นค่า i โดยหาค่า i ได้ดังนี้

$$i = \frac{e}{f-g}$$

เมื่อ e = น้ำหนักของตัวอย่างเมื่อชั่งในอากาศ (g)

f = น้ำหนักของตัวอย่างขณะอิ่มตัวผิวแห้ง (g)

g = น้ำหนักของตัวอย่างเมื่อชั่งในน้ำ (g)

2.3.2.3 หาค่าร้อยละของปริมาตรแอสฟัลต์ประสิทธิผล บันทึกเป็นค่า j

$$j=\frac{c\times i}{Gac}$$

เมื่อ G_{ac} = ค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์

2.3.2.4 หาค่าร้อยละของปริมาตรของมวลรวม บันทึกเป็นค่า k

$$k = \frac{(100 - b)i}{Gag}$$

เมื่อ G_{ag} = คือความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมที่ใช้ในส่วนผสม

2.3.2.5 หาค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ บันทึกเป็นค่า AV

$$AV = 100 - j - k$$

2.3.2.6 หาค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม บันทึกเป็นค่า VMA

$$VMA = 100 - k$$

2.3.2.7 หาค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ บันทึกค่าเป็น VFA

$$VFA = \frac{100\times j}{l}$$

(อ้างอิง: วัชรินทร์ วิทยกุล. 2544: หน้า 1, 16-21, 85-88)

2.4 ทฤษฎีความล้า (Fatigue)

เมื่อวัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) มากระทำกลับไปกลับมาซ้ำ ๆ กันก็อาจจะเกิดการแตกหักขึ้นได้ เนื่องจากเกิดความล้าหรือ Fatigue ขึ้น ความล้าที่เกิดในวัสดุนี้เป็นสาเหตุใหญ่ของการเสียหายของชิ้นส่วนวัสดุเพราะตลอดอายุงานของวัสดุต่าง ๆ เช่น ผิวทางเครื่องยนต์ ฯลฯ จะต้องเกิดความเค้นสลับไปสลับมาเป็นซึ่งอาจจะมากถึงล้าน ๆ ครั้ง ทำให้เกิดการล้าขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆ ได้ กลไกการเกิดความล้าที่แท้จริงยังไม่เป็นที่เข้าใจดีนัก แต่จากการศึกษาพบว่าความล้าจะเกิดเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกจะเกิดรอยแตกขึ้น เมื่อมีความเค้นรวมศูนย์ (Stress Concentration) ในบริเวณนั้น และในระยะที่สอง เมื่อมีความเค้นซ้ำไปซ้ำมารอยแตกนี้ก็จะโตขึ้นเรื่อย ๆ จะมีพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุลดลง จนกระทั่งแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด วัสดุก็จะแตกหักจากกัน

2.4.1 การทดสอบความล้า

2.4.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความต้านทานความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต จากผลการวิจัยของ The Australian State Road Authorities มีดังนี้

ก. ความแข็ง (Stiffness) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จะมีผลต่อความต้านทานความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับการทดสอบว่าเป็นแบบ Controlled Stress หรือ Controlled Strain

ข. ขนาดของน้ำหนักบรรทุก และช่วงเวลาที่น้ำหนักกระทำ เช่นช่วงเวลาที่น้ำหนักบรรทุกกระทำส่วนใหญ่เป็นช่วงที่อุณหภูมิต่ำ หรือสูง

ค. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงอายุการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีต

ง. วิธีการทดสอบที่ใช้ทดสอบหาความต้านทานความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น การทดสอบแบบควบคุมความเค้น หรือแบบควบคุมความเครียด

2.4.1.2 รูปแบบการทดสอบความล้า

การทดสอบความล้าแบ่งเป็น 2 รูปแบบตามลักษณะการให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ รูปแบบการควบคุมความเค้น (Controlled Stress) และ รูปแบบการควบคุมความเครียด (Controlled Strain) ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

ก. การทดสอบแบบควบคุมความเค้น (Controlled Stress Test) จะทดสอบโดยการให้แรงกระทำซ้ำๆ (Repeated Load) ต่อตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อให้เกิดความเค้น

(Stress) ที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่งซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าตัวอย่างจะเกิดความเสียหาย (Failure) จำนวนครั้งที่แรงกระทำจนเกิดความเสียหาย (N_f) ก็คือ อายุความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Life) ของตัวอย่างทดสอบนั้น ซึ่งการทดสอบแบบนี้ส่วนมากจะใช้กับวิธีการทดสอบแบบใช้แรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test)

ข. การทดสอบแบบควบคุมความเครียด (Controlled Strain Test) จะทดสอบโดยการให้แรงกระทำซ้ำๆ (Repeated Load) ต่อตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อให้เกิดความเครียด (Strain) ที่มีค่าคงที่ค่าหนึ่งซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าตัวอย่างจะเกิดความเสียหาย (Failure) ซึ่งจะถือว่าตัวอย่างเกิดความเสียหายเมื่อค่า Stiffness ของตัวอย่างลดลงเหลือประมาณ 50 % ของค่า Stiffness เมื่อเริ่มต้นทดสอบจำนวนครั้งที่แรงกระทำจนถึงสภาวะดังกล่าวก็ถือว่าเป็นอายุความต้านทานต่อการล้าของตัวอย่างทดสอบนั้นซึ่งการทดสอบแบบนี้ส่วนมากจะใช้กับวิธีการทดสอบแบบใช้แรงดัด (Flexural Test) ต่างๆ

2.4.1.3 การทดสอบความล้าแบบการใช้แรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test on Cylindrical Shaped Specimens)

การทดสอบความล้าของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต แบบใช้แรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue Test) จะใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีรูปร่างเป็นแท่งทรงกระบอก (Cylindrical Shaped Specimens) ซึ่งอาจเตรียมได้จากห้องทดลองหรือจากการเจาะตัวอย่างในสนามในการทดสอบนั้นจะวางตัวอย่างทดสอบในแนวนอน จากนั้นตัวอย่างจะถูกกระทำด้วยแรงอัดซ้ำๆ ผ่าน Loading Strips ซึ่งเป็นแท่งเหล็กที่มีขนาดกว้าง 12.7+0.2 มม. สำหรับตัวอย่างทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว สูง 3 นิ้ว มีผิวด้านหนึ่งโค้งมีรัศมีที่สัมผัสได้พอดีกับผิวของก้อนตัวอย่าง จำนวน 2 อัน วางตามความยาวของตัวอย่างทั้งด้านบนและด้านล่าง แรงที่กระทำจะมีลักษณะแบบ Haversine Load Signal กระทำในระนาบเส้นผ่านศูนย์กลางแนวดิ่งของตัวอย่าง ด้วยแรงกระทำนี้จะก่อให้เกิดความเค้นดึงในแนวตั้งฉากกับแนวแรงกระทำในแนวดิ่งดังกล่าว และกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดแนวของระนาบเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวดิ่ง จากการกระทำแบบซ้ำๆดังกล่าวจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวอย่างในลักษณะถูกแยกออกเป็นสองส่วนตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางแนวดิ่งของตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแนวราบ (Horizontal Deformation) จะถูกบันทึกไว้ และจากค่าอัตราส่วนปัวส์ซองที่สมมติขึ้น (Assumed Poisson's ratio) ก็สามารถนำมาคำนวณความเครียดดึง (Tensile Strain) ที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนกลางของตังอย่างได้ อายุการวิบัติ (Fracture Life) ของตัวอย่างจะหาได้จาก จำนวนครั้งของแรงกระทำที่ส่งผลให้ตัวอย่างเกิดความเสียหาย

2.4.1.4 การทดสอบความล้าแบบการใช้แรงดึงทางอ้อม ด้วยเครื่องทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตแบบไดนามิกส์

การทดสอบหาความต้านทานความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตแบบ Indirect Tensile Fatigue Test โดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตแบบไดนามิกส์ เพื่อให้สามารถนำผลการทดสอบมาสร้าง Fatigue Curve ได้นั้น จะต้องทำการทดสอบที่ระดับ Horizontal Stress ต่างๆ โดยจะทำการทดสอบเพื่อหาค่า Strain ที่ระดับ Stress ที่กำหนดในการทดสอบก่อน ซึ่งตามคู่มือการใช้เครื่องทั่วไปนั้น แนะนำให้ทดสอบหาค่า Stiffness Modulus ที่ระดับ Stress ที่กำหนด ด้วยโปรแกรม Indirect Tensile Stiffness Test ซึ่งผู้ทดสอบสามารถกำหนดระดับ Horizontal Stress ที่ต้องการได้ แล้วจึงคำนวณหาค่า Strain โดยใช้ค่าอัตราส่วนปัวส์ซองของ Repeated Load Loading Strips แอสฟัลต์คอนกรีต ณ อุณหภูมิทดสอบ และค่า Stiffness Modulus ที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณค่า horizontal tensile strain จากสูตร

$$\varepsilon(max) = \frac{\sigma(\max) \times (1+v)}{m}$$

เมื่อ ε_x = horizontal tensile strain

σ_x = horizontal stress (kPa)

v = Poisson's ratio

S_m = Stiffness Modulus (kPa)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Poisson's Ratio ของแอสฟัลต์คอนกรีต

ค่า Poisson's Ratio	
Test Temperature (°C)	Poisson's Ratio
5	0.20
10	0.25
25	0.35
40	0.50

(อ้างอิง: ดร. ชยธันว์ พรหมศร และคณะ, 2546, หน้า 9)

2.5 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

The Shell Bitumen Handbook (2003) การทดสอบความล้าโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue Test : ITFT) แบบควบคุมความเค้นจะทดสอบโดยให้แรงกระทำซ้ำ ๆ เป็นจังหวะจนก้อนตัวอย่างเกิดความเสียหายและนำการเสียรูปในแนวดิ่งของก้อนตัวอย่างกับจำนวนครั้งของแรงกระทำมาพล็อตกราฟ ซึ่งการทดสอบนี้ได้รับการยอมรับจากคณะกรรมการมาตรฐานอังกฤษ โดยมีเงื่อนไขการทดสอบและข้อกำหนด ดังนี้

Stress ใช้ระหว่าง 50 ถึง 600 กิโลปาสคาล (แล้วแต่ผู้ใช้กำหนด)

target rise time 120 มิลลิวินาที เท่ากันกับความถี่ 1.33 เฮิรตซ์

failure criterion 9 มิลลิเมตร

อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Farag Khodary Moalla Hamed (2010) ได้ทำการศึกษาความล้าโดยการเพิ่มสารผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยางเกรด 70/100 ผสมเพิ่มด้วย crumb rubber (CR) และ styrene-butadiene-styrene (SBS) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ทดสอบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและนำการเสียรูปของก้อนตัวอย่าง (mm) มาเทียบกับจำนวนครั้งของแรงกระทำ พบว่าอัตราส่วนของสารผสมเพิ่มที่สามารถทนต่อการเสียรูปได้ดีที่สุด โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้แก่ 10% CR, 7% CR, 5% SBS และ 3% SBS ตามลำดับ

พรหมมา เทพศรีหา (2555) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความต้านทานต่อการล้าของผิวต่างชนิดต่าง ๆ โดยออกแบบตามวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ และทดสอบความล้าด้วยวิธีใช้แรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue Test : ITFT) แบบควบคุมความเค้น (Controlled Stress) ซึ่งจากการทดสอบพบว่าผิวทางชนิดที่มีความต้านทานต่อความล้าหรือทนทานต่อ Load Repetitions เรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดในแต่ละระดับ Horizontal Stress คือ Stone Mastic Asphalt (SMA), Polymer Modified Asphalt Concrete (PMAC), Warm Mix Asphalt (WMA) Asphalt Concrete AC 60-70 และ Porous Asphalt (PA) ตามลำดับ

ธงชัย จินตนาวงศ์ และคณะ (2556) ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตโดยการเสริมกำลังด้วยเส้นใย โดยการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC60-70 เติมด้วยเส้นใยสังเคราะห์ที่เป็นการผสมผสานกันระหว่างเส้นใยของโพลีโอลิฟิน (Polyolefin fibers) และเส้นใยอะรามิด (Aramid fibers) โดยออกแบบตามวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) ทำการบดอัด 75 ครั้งต่อด้าน ทดสอบที่

อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจากผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไปกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยเส้นใย พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยเส้นใย สามารถเพิ่มค่าความต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้าได้ประมาณ 19.70 – 41 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) มีความต้านทานต่อความล้าได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) ที่ใช้ยางชนิด AC 60-70 ธรรมดา โดยโครงงานนี้กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบที่ 20 , 25 และ 30 องศาเซลเซียส ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมในประเทศไทย และแรงกระทำที่ 400 และ 500 กิโลปาสคาล

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

การเตรียมก้อนตัวอย่างตามวิธีของมาร์แชลล์ (Marshall Test) โดยตัวอย่างก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตของผิวทางแต่ละชนิดที่เตรียมไว้จะทดสอบคุณสมบัติความล้าที่อุณหภูมิ 20 , 25 และ 30 องศาเซลเซียส ที่แรงกระทำ (Stress) เท่ากับ 400 และ 500 กิโลปาสคาล

3.1 การเตรียมวัสดุมวลรวม

3.1.1 มวลรวมที่ใช้ผสมเป็นแบบเย็น

3.1.2 ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60/70 สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete: HMA) และใช้ Warm Mix Asphalt Cement สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

3.1.3 ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลรวมตามมาตรฐานการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test)

3.1.3.1 ทดสอบหาขนาดของวัสดุมวลรวมโดยผ่านตะเกรงแบบไม่ล้างน้ำ (ทล.-ท. 204/2516)

3.1.3.2 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวม (ทล.-ท. 207/2517)

3.1.4 ออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุชนิดเม็ด ที่เมื่อรวมกันแล้วได้ขนาด 1,200 กรัม

3.2 การเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2.1 นำมวลรวมที่ผสมกันได้ขนาดตามต้องการจำนวน 1,200 กรัม ไปอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

3.2.2 นำแบบและค้อนไปให้ความร้อน เพื่อเวลาบดอัดยางจะได้ไม่ติดกับแบบและค้อน

3.2.3 ให้อุณหภูมิแก่แอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้มีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)

3.2.4 เมื่อมวลรวมและแอสฟัลต์คอนกรีต มีอุณหภูมิตามต้องการแล้วนำมาผสมกันโดยใช้เกรียงกวนมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้เข้ากัน

3.2.5 นำตัวอย่างที่ผสมแล้วมาใส่แบบ แล้วใช้เกรียงแซะรอบตัวอย่าง 15 ครั้ง และตรงกลางอีก 10 ครั้ง

3.2.6 ทำการบดอัดด้วยตุ้มยกน้ำหนักจำนวน 75 ครั้ง/ด้าน

3.2.7 ปล่อยให้ตัวอย่างที่บดอัดมีอุณหภูมิลดลง แล้วจึงดันออกจากแบบ แล้วทิ้งตัวอย่างไว้ในอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 16 ชั่วโมง

3.2.8 ทำการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต ความหนาแน่น (Density) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate) โดยผลการทดสอบแนบไว้ในภาคผนวก

3.3 วิธีการดำเนินการทดสอบ

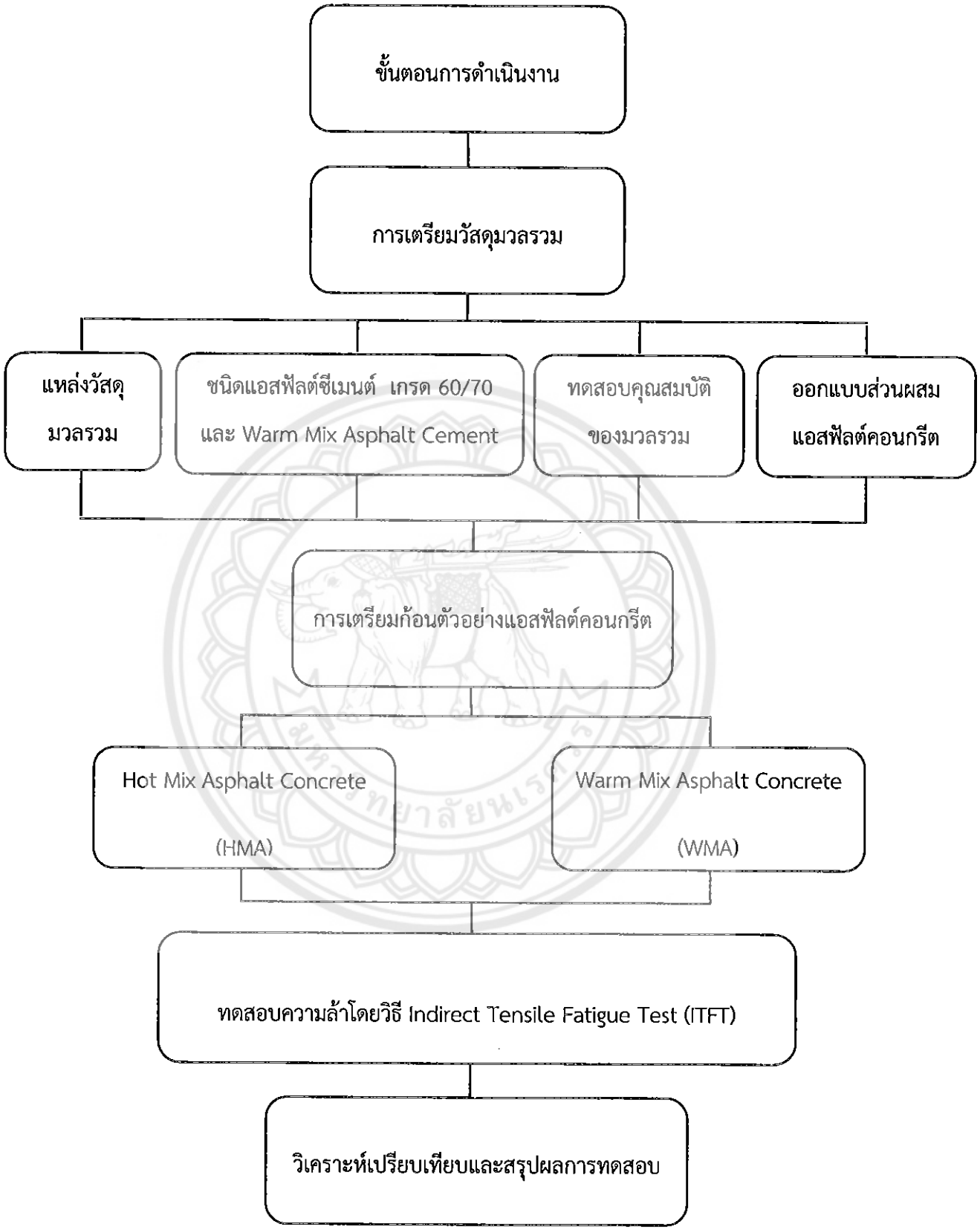
3.3.1 นำก้อนตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปป้อนลงในโปรแกรมสำหรับการทดสอบ

3.3.2 นำก้อนตัวอย่างที่ทดสอบเข้าไปใน IT sub-frame

3.3.3 นำก้อนตัวอย่างที่ทดสอบที่ติดตั้งใน IT sub-frame เรียบร้อยแล้วไปใส่ในตู้ Load Cell แล้วปรับอุณหภูมิในตู้ให้ได้ตามที่ใช้ในการทดสอบคือที่อุณหภูมิ 20 , 25 และ 30 องศาเซลเซียสและทำการแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิของก้อนตัวอย่างเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ

3.3.4 ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Dynamics Load Test

3.3.5 เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการบันทึกค่า Fatigue ที่ได้จากการทดสอบก้อนตัวอย่างดังกล่าวไว้ จากนั้นผู้ทดสอบจะนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

จากการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมแล้วนั้นได้ทำการออกแบบส่วนผสมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อเตรียมก้อนตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) ไว้ดังนี้

4.1 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

วัสดุมวลรวมที่ใช้ได้ผ่านการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของการทดสอบมวลรวมแล้ว และได้เตรียมวัสดุมวลรวมสำหรับผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด ตามอัตราส่วนของ Job mix formula ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนของมวลรวม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์

ชนิดการผลิต	แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 (%)	Mix Proportion (%)			
		BIN 1	BIN 2	BIN 3	BIN 4
HMA	5.0	49	51	-	-
	5.2	47	22	13	18
WMA	5.0	49	51	-	-
	5.2	47	22	13	18

จากตารางมีการเตรียมก้อนสองชนิด คือ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA)ที่ใช้อุณหภูมิในการผสม 150 องศาเซลเซียส โดยแบ่งเป็นแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC60/70 9.5 มิลลิเมตร ที่ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับขนาดคละของหินฝุ่น 49 เปอร์เซ็นต์และหินขนาด 3/8"อีก 51 เปอร์เซ็นต์ และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC60/70 12.5 มิลลิเมตรที่ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 5.2 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับขนาดคละของหินฝุ่น 47 เปอร์เซ็นต์ หินขนาด 3/8"เท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์ หินขนาด 1/2"เท่ากับ 13 เปอร์เซ็นต์และหินขนาด 3/4" เท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีกชนิด คือแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) ที่ใช้อุณหภูมิในการผสม 130 องศาเซลเซียส โดยแบ่งเป็นแอสฟัลต์คอนกรีตผสม

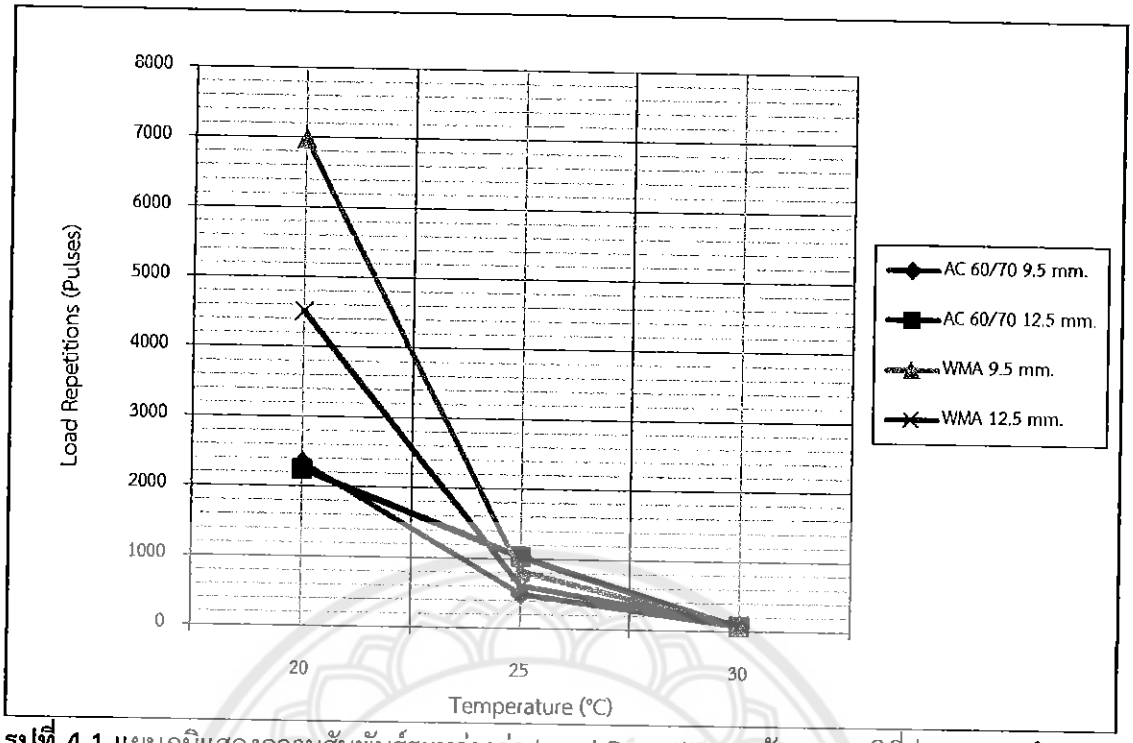
อุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 9.5 มิลลิเมตร ที่ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับขนาดคละของหินฝุ่น 49 เปอร์เซ็นต์และหินขนาด 3/8"อีก 51 เปอร์เซ็นต์ และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 12.5 มิลลิเมตรที่ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับ 5.2 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับขนาดคละของหินฝุ่น 47 เปอร์เซ็นต์ หินขนาด 3/8" เท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์ หินขนาด 1/2"เท่ากับ 13 เปอร์เซ็นต์และหินขนาด 3/4" เท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์

4.2 ผลการทดลองการทดสอบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่าง ๆ

จากการทดสอบความล้าของตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิดที่ทดสอบด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test : ITFT) ที่อุณหภูมิ 20 , 25 และ 30 องศาเซลเซียสโดยใช้แรงกระทำ (Stress) ที่ 400 และ 500 กิโลปาสคาล เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าLoad Repetitions กับอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ

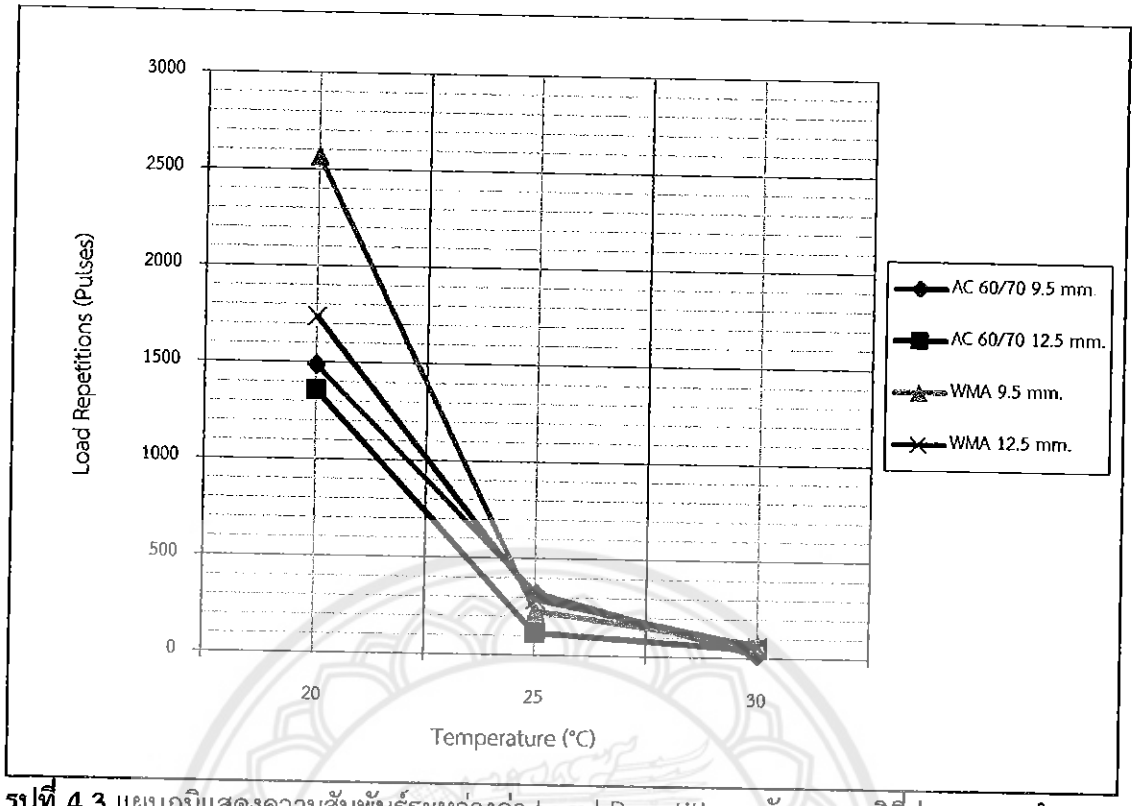
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Load Repetitions (Pulses)

Stress (kPa)	อุณหภูมิ (°C)	AC 60-70 9.5mm.	AC 60-70 12.5mm.	WMA 9.5mm.	WMA 12.5mm.
400	20	2342	2248	6986	4514
	25	495	1033	819	613
	30	76	72	76	109
500	20	1488	1360	2569	1739
	25	323	116	231	290
	30	16	45	72	60



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Load Repetitions กับอุณหภูมิที่ค่าแรงกระทำ (Stress) เท่ากับ 400 กิโลปาสคาล ของผิวทางที่ศึกษาชนิดต่าง ๆ

จากรูปพบว่าก้อนตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทดสอบคุณสมบัติความล้าโดยใช้แรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสผิวทางสามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ และพบว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 9.5 มิลลิเมตร สามารถต้านทานความล้าได้ดีที่สุด รองลงมาคือแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 12.5 มิลลิเมตร แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC60/70 9.5 มิลลิเมตร และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) 12.5 มิลลิเมตรตามลำดับ



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Load Repetitions กับอุณหภูมิที่ค่าแรงกระทำ (Stress) เท่ากับ 500 กิโลปาสคาล ของผิวทางที่ศึกษาชนิดต่าง ๆ

จากรูปพบว่าก้อนตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทดสอบคุณสมบัติความล้าโดยใช้แรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสผิวทางสามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ และพบว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 9.5 มิลลิเมตร สามารถต้านทานความล้าได้ดีที่สุด รองลงมาคือแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 12.5 มิลลิเมตร แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC60/70 9.5 มิลลิเมตร และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) 12.5 มิลลิเมตรตามลำดับ

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete: HMA) AC60/70 9.5 มิลลิเมตร , 12.5 มิลลิเมตร และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete: WMA) 9.5 มิลลิเมตร , 12.5 มิลลิเมตรสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 บทสรุป

5.1.1 อุณหภูมิมีผลต่อการต้านทานความล้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยที่อุณหภูมิต่ำผิวทางจะสามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูงซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงตอนกลางวันที่ผิวทางมีอุณหภูมิสูงนั้นจะทำให้ถนนเกิดการพังเสียหายไวกว่าในช่วงตอนกลางคืนที่ผิวทางมีอุณหภูมิต่ำ

5.1.2 ค่าแรงกระทำ (Stress) มีผลต่อการต้านทานความล้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยที่ค่าแรงกระทำ (Stress) ต่ำผิวทางจะมาสามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าผิวทางที่มีค่าแรงกระทำ (Stress) สูงซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากมีน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำต่อถนนมีค่ามากก็จะทำให้ถนนนั้นเกิดความพังเสียหายไวขึ้น

5.1.3 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 9.5 มิลลิเมตรสามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) ที่ใช้ยาง AC60/70 9.5 มิลลิเมตรและผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 12.5 มิลลิเมตรสามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA)ที่ใช้ยาง AC60/70 12.5 มิลลิเมตร

5.1.4 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA)สามารถต้านทานความล้าได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) ที่ใช้ยาง AC60/70 และการใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) ยังทำให้ประหยัดพลังงาน ลดควัน และคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วยเนื่องจากการลดอุณหภูมิในการผสมและการทำงานลงได้ถึง 20 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรคำนึงถึงและระมัดระวังในการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการทดสอบความล้าโดยใช้แรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue Test : ITFT) เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อค่าความต้านทานความล้าของผิวทาง

5.2.2 ควรทำการศึกษาคุณสมบัติความล้าโดยใช้วัสดุมวลรวมชนิดต่างๆ ในแต่ละแหล่งหรือภูมิภาคอื่นเพื่อจะได้ใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุมวลรวมต่างชนิดกัน

5.2.3 ควรทำการศึกษาคุณสมบัติความล้าโดยใช้ยางชนิดต่าง ๆ เพื่อจะได้ใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของยางต่างชนิดกัน

5.2.4 ควรทำการศึกษาคุณสมบัติความล้าโดยใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความล้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยนเรศวร

เอกสารอ้างอิง

1. ดร. ชยธันว์ พรหมศร และคณะ. (2546). คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) และค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย. สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง
2. ธงชัย จินตนาวงศ์ และคณะ. (2556). โครงการปรับปรุงคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตโดยการเสริมกำลังด้วยเส้นใย. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง
3. พรหมมา เทพศรีหา. (2555). การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความต้านทานต่อความล้า (Fatigue Resistance) ของผิวทาง. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง
4. วัชรินทร์ วิทยกุล. (2544). การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนวิธีมาร์แชลล์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5. Dr. John Read and Mr. David Whitroak. (2003). The Shell Bitumen Handbook.
6. FaragKhodaryMoallaHamed. (2010). Evaluation of Fatigue Resistance for Modified Asphalt Concrete Mixtures Based on Dissipated Energy Concept.

ภาคผนวก ก

การออกแบบส่วนผสมและผลการทดสอบคุณสมบัติของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

วัสดุมวลรวมที่ใช้ได้ผ่านการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของการทดสอบมวลรวมแล้ว และได้เตรียมวัสดุมวลรวมสำหรับผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชนิด ตามอัตราส่วนของ Job mix formula ดังนี้

ตารางที่ ก1 แสดงอัตราส่วนของมวลรวม และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์

ชนิดการผลิต	แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 (%)	Mix Proportion (%)			
		BIN 1	BIN 2	BIN 3	BIN 4
HMA	5.0	49	51	-	-
	5.2	47	22	13	18
WMA	5.0	49	51	-	-
	5.2	47	22	13	18

ผลการทดสอบคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

ตารางที่ ก2 แสดงค่าค่าความหนาแน่น (Density) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC60/70 9.5 มิลลิเมตร

Specimen No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Mass in Air (e)	1246.50	1248.10	1245.00	1248.00	1247.40	1249.80
Mass Sat. Surface Dry (f)	1257.70	1253.10	1247.00	1249.90	1249.50	1259.90
Mass in Water (g)	712.70	715.10	716.00	724.20	724.70	711.60
Bulk Volume (h)=f-g	545.00	538.00	531.00	525.70	524.80	548.30
Bulk Density (i) = e/h	2.28716	2.31989	2.34463	2.37398	2.37691	2.27941
Volume AC (j)	10.03703	10.18067	10.28926	10.41804	10.43089	10.00303
Volume Agg (k)	81.55162	82.71875	83.60104	84.64736	84.75176	81.27540
VMA (l) = 100-k	18.44838	17.28125	16.39896	15.35264	15.24824	18.72460
Air Voids (m) = 100-j-k	8.41135	7.10058	6.10970	4.93460	4.81735	8.72157
VFB (n) = 100(j/l)	54.40602	58.91165	62.74336	67.85830	68.40717	53.42186

ตารางที่ ก3 แสดงค่าค่าความหนาแน่น (Density) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อน (Hot Mix Asphalt Concrete : HMA) AC 60/70 12.5 มิลลิเมตร

Specimen No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Mass in Air (e)	1248.60	1248.20	1248.90	1250.90	1251.60	1252.80
Mass Sat. Surface Dry (f)	1249.50	1248.60	1249.30	1251.60	1253.30	1253.60
Mass in Water (g)	734.50	738.30	736.40	733.60	737.50	738.40
Bulk Volume (h)=f-g	515.00	510.30	512.90	518.00	515.80	515.20
Bulk Density (i) = e/h	2.42447	2.44601	2.43498	2.41486	2.42652	2.43168
Volume AC (j)	10.75115	10.84670	10.79776	10.70858	10.76027	10.78313
Volume Agg (k)	86.09481	86.85993	86.46808	85.75386	86.16781	86.35088
VMA (l) = 100-k	13.90519	13.14007	13.53192	14.24614	13.83219	13.64912
Air Voids (m) = 100-j-k	3.15404	2.29337	2.73415	3.53756	3.07192	2.86599
VFB (n) = 100(j/l)	77.31754	82.54672	79.79479	75.16828	77.79153	79.00235

ตารางที่ ก4 แสดงค่าค่าความหนาแน่น (Density) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 9.5 มิลลิเมตร

Specimen No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Mass in Air (e)	1257.30	1251.10	1245.20	1246.10	1248.20	1252.00
Mass Sat. Surface Dry (f)	1258.60	1251.50	1245.50	1247.50	1249.60	1253.10
Mass in Water (g)	745.40	737.60	730.30	729.60	728.00	742.60
Bulk Volume (h)=f-g	513.20	513.90	515.20	517.90	521.60	510.50
Bulk Density (i) = e/h	2.44992	2.43452	2.41693	2.40606	2.39302	2.45250
Volume AC (j)	10.75131	10.68373	10.60651	10.55884	10.50161	10.76262
Volume Agg (k)	87.35527	86.80610	86.17873	85.79141	85.32640	87.44710
VMA (l) = 100-k	12.64473	13.19390	13.82127	14.20859	14.67360	12.55290
Air Voids (m) = 100-j-k	1.89342	2.51018	3.21476	3.64975	4.17199	1.79028
VFB (n) = 100(j/l)	85.02604	80.97473	76.74050	74.31310	71.56806	85.73810

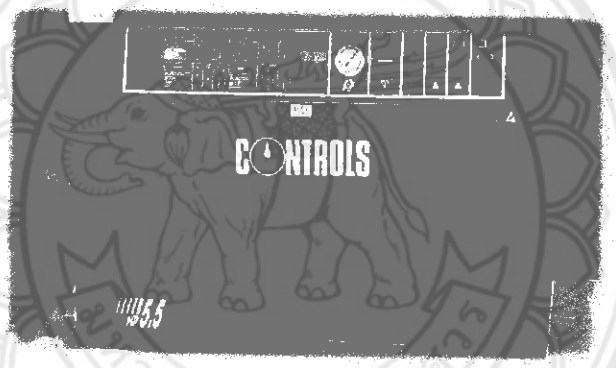
ตารางที่ ก5 แสดงค่าค่าความหนาแน่น (Density) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate) ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt Concrete : WMA) 12.5 มิลลิเมตร

Specimen No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Mass in Air (e)	1252.40	1250.70	1257.20	1260.00	1257.20	1251.00
Mass Sat. Surface Dry (f)	1254.40	1251.50	1258.00	1260.90	1258.30	1252.40
Mass in Water (g)	734.60	736.60	741.90	742.40	739.60	737.50
Bulk Volume (h)=f-g	519.80	514.90	516.10	518.50	518.70	514.90
Bulk Density (i) = e/h	2.40939	2.42902	2.43596	2.43009	2.42375	2.42960
Volume AC (j)	10.68429	10.77133	10.80213	10.77608	10.74798	10.77391
Volume Agg (k)	85.55938	86.25636	86.50304	86.29441	86.06944	86.27705
VMA (l) = 100-k	14.44062	13.74364	13.49696	13.70559	13.93056	13.72295
Air Voids (m) = 100-j-k	3.75633	2.97232	2.69483	2.92952	3.18257	2.94904
VFB (n) = 100(j/l)	73.98777	78.37315	80.03381	78.62539	77.15401	78.51014

ภาคผนวก ข

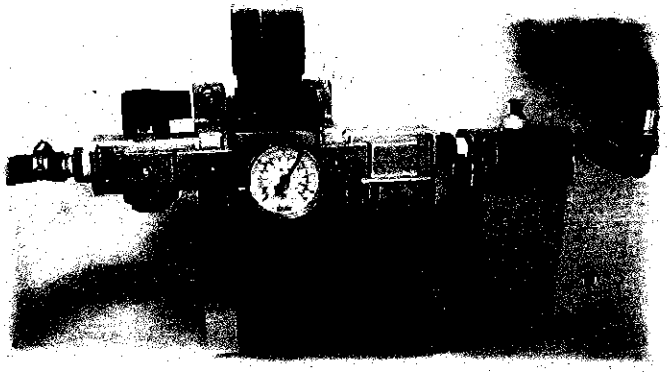
วิธีการใช้เครื่อง Universal Testing Machine NAT (NU 10) และโปรแกรม ITFT

1. เปิดสวิตช์ปั๊มลม

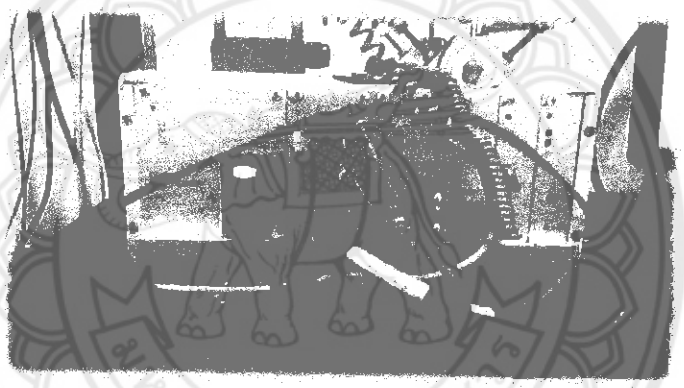


2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

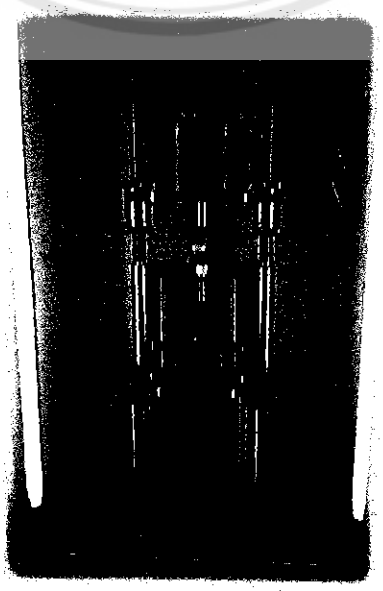
3. เปิด Solenoid Valve ของ Pneumatic Unit



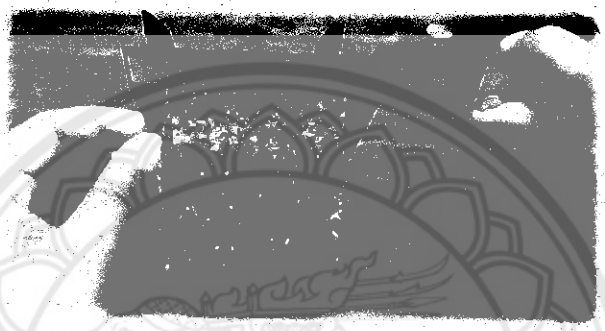
4. เปิดสวิตช์ Interface Unit



5. เปิดสวิตช์ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

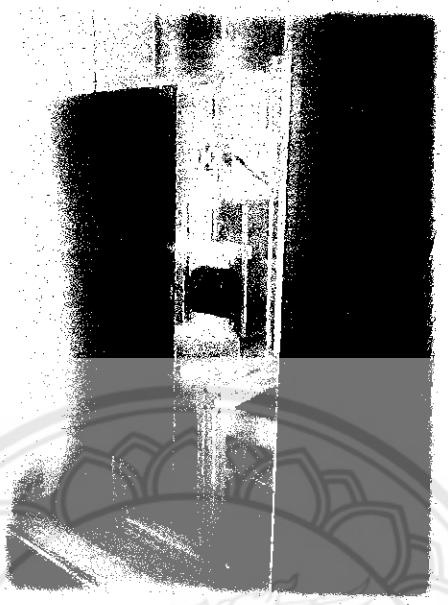


6. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของก้อนตัวอย่าง แล้วจดบันทึกค่า



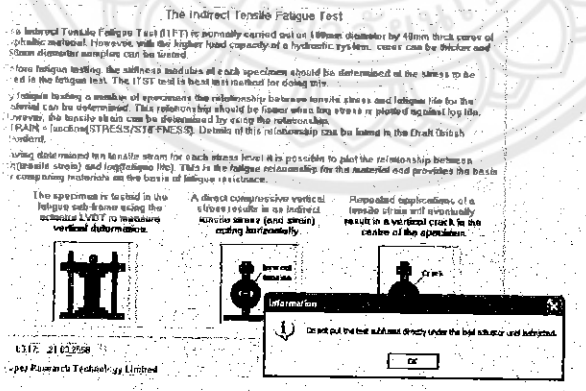
7. นำก้อนตัวอย่างไปใส่ใน IT sub-frame

8. นำ IT sub-frame ใส่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการทำการทดสอบเป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง

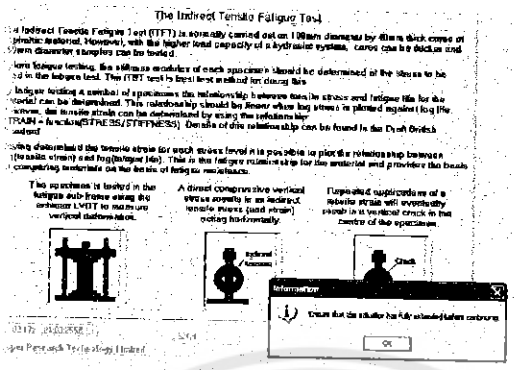


9. ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine NAT (NU 10) และโปรแกรม ITFT

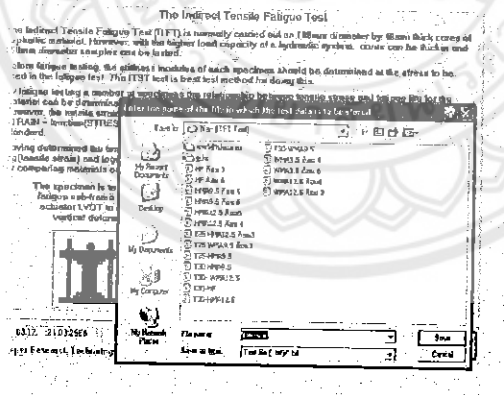
9.1 เปิดโปรแกรม ITFT ขึ้นมา โปรแกรมจะแจ้งเตือน สำหรับการวาง IT sub-frame ควรวางตามคำแนะนำข้างต้น



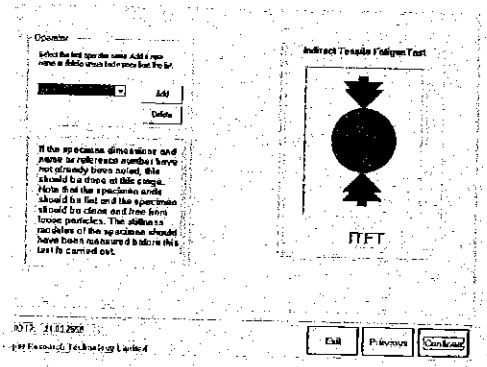
9.2 โปรแกรมจะแจ้งเตือนให้แน่ใจว่าตัวอุปการณ์ได้ขยายอย่างเต็มที่ก่อนที่จะดำเนินการต่อไป เมื่อตรวจสอบเครื่องมือแล้วคลิก OK



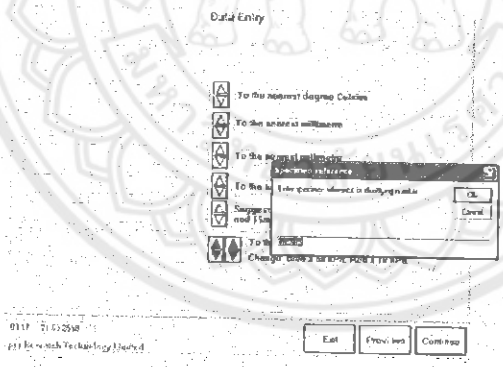
9.3 หลังจากนั้นโปรแกรมจะขึ้นให้เลือกพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูล เลือก File ที่ต้องการแล้วคลิก Save



9.4 คลิกปุ่ม Continue



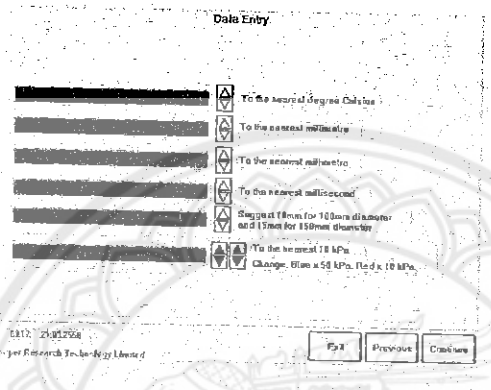
9.5 ตั้งชื่อ File ของก้อนตัวอย่าง แล้วคลิกปุ่ม OK



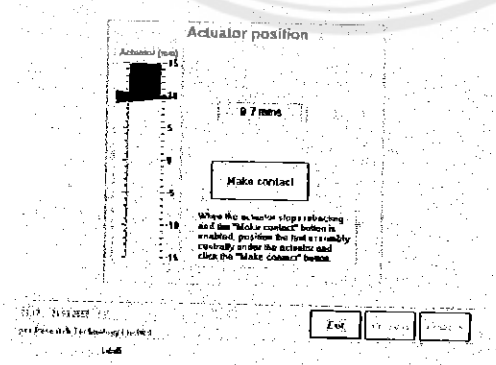
9.6 ทำการป้อนค่าของข้อมูลดังนี้

- อุณหภูมิ
- เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง
- ความหนาของตัวเอย่าง
- Rise time
- Horizontal Stress

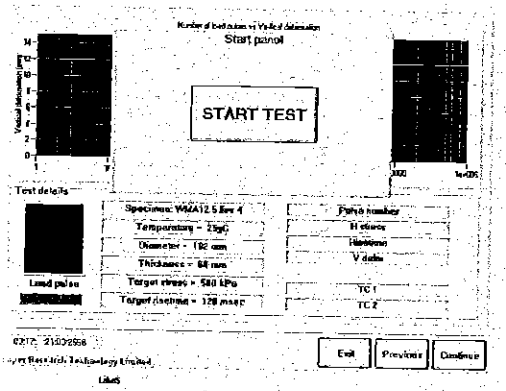
เมื่อป้อนค่าเรียบร้อยแล้วคลิกปุ่ม Continue



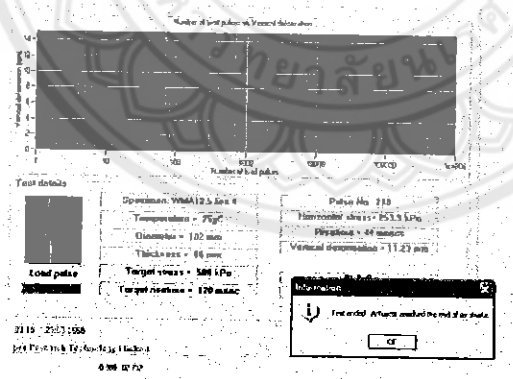
9.7 คลิกที่ Make Contact เพื่อให้ Load Transducer สัมผัสกับ IT sub-frame



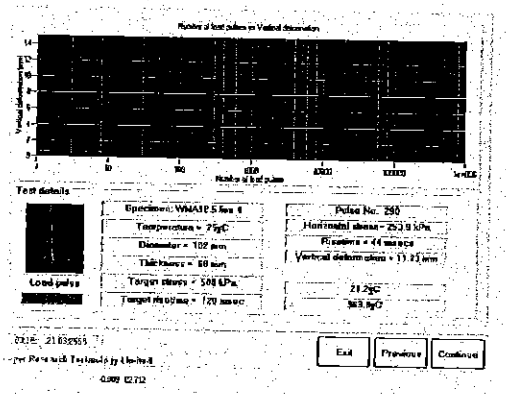
9.8 คลิกปุ่ม START TEST



9.9 เมื่อทำการทดสอบจนก้อนตัวอย่างเกิดการวิบัติแล้ว โปรแกรมจะแจ้งเตือนว่าสิ้นสุดการทดสอบ คลิกปุ่ม OK



9.10 เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบแล้ว คลิกปุ่ม Exit



10 เมื่อเสร็จการทดสอบแล้ว ให้ปฏิบัติดังนี้

10.1 นำก้อนตัวอย่างออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำความสะอาดและจัดเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย

10.2 ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

10.3 ปิดสวิตช์ Interface Unit

10.4 ปิดสวิตช์ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

10.5 ปิด Solenoid Valve ของ Pneumatic Unit

10.6 ปิดสวิตช์ปั๊มลมและสวิตช์อุปกรณ์อื่น ๆ ให้เรียบร้อย

10.7 ตรวจสอบดูความเรียบร้อยอีกครั้งก่อนออกจากห้องทดสอบ

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ผู้จัดทำโครงงาน	นางสาวธัญญารัตน์ เผือกหอม
วัน/เดือน/ปี เกิด	29 มิถุนายน 2536
ที่อยู่	194/14 หมู่ 3 ต. ลาดบัวหลวง อ. ลาดบัวหลวง จ. พระนครศรีอยุธยา 13230
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2546	สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนอุปลพันธุ์โรจนประสิทธิ์ อ. ลาดบัวหลวง จ. พระนครศรีอยุธยา
พ.ศ. 2553	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนบางซ้ายวิทยา อ. บางซ้าย จ. พระนครศรีอยุธยา
พ.ศ. 2557	ศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ. วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก
E-mail :	Nan_Thanyarat@outlook.co.th