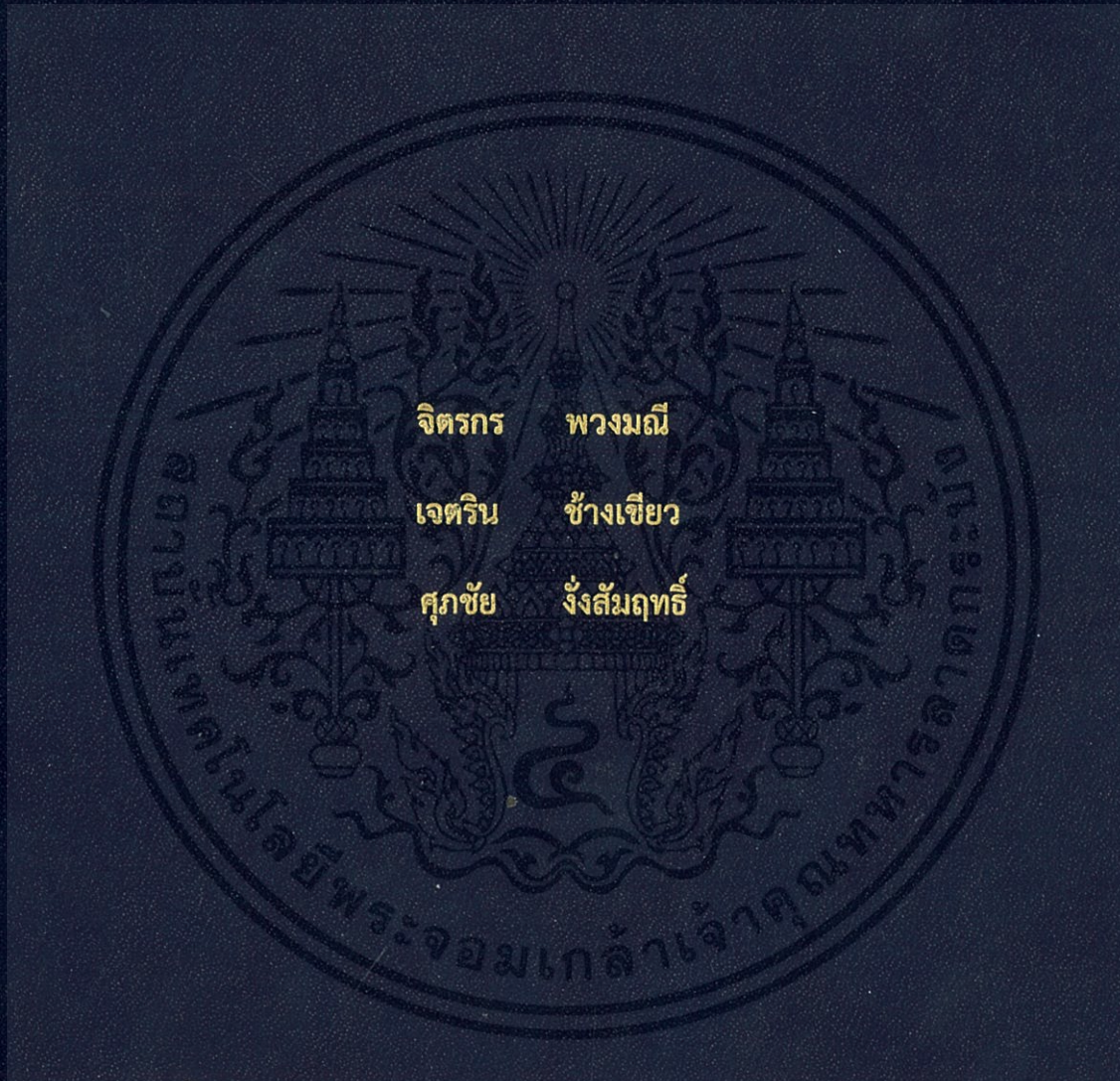


การศึกษาปริมาณถุงพลาสติกที่สามารถแทนที่น้ำยางมะตอยเพื่อการ  
ออกแบบถนนลาดยางในประเทศไทย

A Study on amount of using plastic bags that can replace  
asphalt for asphalt pavement design



จิตรกร พวงมณี  
เจตริน ช้างเขียว  
ศุภชัย จังสัมฤทธิ์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การศึกษาปริมาณถุงพลาสติกที่สามารถแทนที่น้ำยางมะตอยเพื่อการ  
ออกแบบถนนลาดยางในประเทศไทย

A Study on amount of using plastic bags that can replace  
asphalt for asphalt pavement design



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study on amount of using plastic bags that can replace  
asphalt for asphalt pavement design



Jittrakorn Puangmanee  
Supachai Ngangsamrit  
Jetrin Changkeaw

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาปริมาณถุงพลาสติกที่สามารถแทนที่น้ำยางมะตอยเพื่อออกแบบถนนลาดยางในประเทศไทย		
นักศึกษา	นายจิตรกร พวงมณี	รหัสนักศึกษา	58010173
	นายเจตริน ช่างเขียว	รหัสนักศึกษา	58010208
	นายศุภชัย ้งสัมฤทธิ์	รหัสนักศึกษา	58011237
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ชลิตา อุตะเถา		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชลิตา อุตะเถา	
รศ.ดร. แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
ผศ. สมเกียรติ ขวัญพุกษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศิริธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาปริมาณถุงพลาสติกที่สามารถแทนที่น้ำยางมะตอยเพื่อ ออกแบบถนนลาดยางในประเทศไทย

นายจิตรกร	พวงมณี	รหัสนักศึกษา	58010173
นายเจตริน	ช่างเขี้ยว	รหัสนักศึกษา	58010208
นายศุภชัย	จั่งสมฤทธิ	รหัสนักศึกษา	58011237
อาจารย์ที่ปรึกษา		รศ.ดร.ชลิตา อุตะเภา	ปีการศึกษา 2561

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการสร้างถนนขึ้นในปริมาณมากเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้รถใช้ถนนของประชาชน หนึ่งในนั้นคือถนนลาดยาง เนื่องจาก ถนนลาดยางมีความแข็งแรง ไม่มีฝุ่น มีความยืดหยุ่นสูงและราคาถูกกว่าถนนคอนกรีต และอีกปัญหาหนึ่งที่เป็นปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมคือ ปัญหาขยะถุงพลาสติก เนื่องจาก มีความคงทนสูงและยากต่อการย่อยสลาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาให้ทราบถึงปริมาณถุงพลาสติกที่มากที่สุดที่ใช้ในการแทนที่ยางมะตอยในการสร้างถนน โดยทำการเพิ่มปริมาณถุงพลาสติกที่ใช้แทนที่ยางมะตอยขึ้นเรื่อยๆจนแอสฟัลท์ไม่สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้โดยมีการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ด้วยวิธีมาร์แชลเพื่อใช้ในการพิจารณา จากนั้นนำยางมะตอยที่ผสมถุงพลาสติกไปทดสอบคุณสมบัติของยางโดยจะประกอบไปด้วย ค่าการทะลวง อุณหภูมิของจุดอ่อนตัวและ ค่าการยึดตัว จากการทดสอบพบว่า เมื่อนำถุงพลาสติกไปแทนที่ยางมะตอย 40% แอสฟัลท์เริ่มไม่เกาะตัวกันเป็นก้อนและผิวของก้อนแอสฟัลท์เริ่มที่จะหลุดออกมา เมื่อนำถุงพลาสติกไปแทนที่ยางมะตอย 17% จะให้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุด จากนั้นนำยางมะตอยผสมถุงพลาสติก 17% ไปทดสอบคุณสมบัติพบว่า มีค่าการทะลวงน้อยลง ค่าการยึดตัวน้อยลง และ อุณหภูมิจุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อผสมยางมะตอยกับถุงพลาสติกจะทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

# A study on amount of using plastic bags that can replace asphalt for asphalt pavement design

Mr.Jittrakorn Puangmanee Student ID. 58010173

Mr.Supachai Ngangsamrit Student ID. 58010208

Mr.Jetrin Changkeaw Student ID. 58011237

Advisor.Assoc.Prof.Dr. Chalida U-tapao

Academic Year 2018

## Abstract

Nowadays, the value of road construction is increase for demand of population in Thailand. Asphalt concrete is a composite material commonly used to surface roads that has better property, such as Durability, flexibility and saving price, more than concrete road. At the same time, the problems of plastic bag are concerned environmental problems because plastic bag is difficult to decompose naturally. Therefore, the objective of this research is to research the maximum amount of using plastic bags to instead of asphalt but also, still can be formed by adding percent of plastic that instead of asphalt until it can't be formed and test the property of asphalt concrete to consider appropriate percent of plastic by Marshall method mixing design. After that it's process of bitumen property testing on bitumen that mixed with appropriate percent of plastic, such as penetration test, Softening point test and ductility test. From the experimental result, At 40% weight of plastic by bitumen weight can not be formed, at 17% weight of plastic by bitumen weight has the most stability And the property of bitumen that mix with plastic at 17% has lower penetration, ductility and has higher softening point than normal bitumen

# การศึกษาปริมาณถุงพลาสติกที่สามารถแทนที่น้ำยางมะตอยเพื่อ ออกแบบถนนลาดยางในประเทศไทย

นายจิตรกร	พวงมณี	รหัสนักศึกษา	58010173
นายเจตริน	ช่างเชียว	รหัสนักศึกษา	58010208
นายศุภชัย	จิ่งสมฤทธิ์	รหัสนักศึกษา	58011237
อาจารย์ที่ปรึกษา		รศ.ดร.ชลิตา อุตะภา	ปีการศึกษา 2561

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการสร้างถนนขึ้นในปริมาณมากเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้รถใช้ถนนของประชาชน หนึ่งในนั้นคือถนนลาดยาง เนื่องจาก ถนนลาดยางมีความแข็งแรง ไม่มีฝุ่น มีความยืดหยุ่นสูงและราคาถูกกว่าถนนคอนกรีต และอีกปัญหาหนึ่งที่เป็นปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมคือ ปัญหาขยะถุงพลาสติก เนื่องจาก มีความคงทนสูงและยากต่อการย่อยสลาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาให้ทราบถึงปริมาณถุงพลาสติกที่มากที่สุดที่ใช้ในการแทนที่ยางมะตอยในการสร้างถนน โดยทำการเพิ่มปริมาณถุงพลาสติกที่ใช้แทนที่ยางมะตอยขึ้นเรื่อยๆจนแอสฟัลท์ไม่สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้โดยมีการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ด้วยวิธีมาร์แชลเพื่อใช้ในการพิจารณา จากนั้นนำยางมะตอยที่ผสมถุงพลาสติกไปทดสอบคุณสมบัติของยางโดยจะประกอบไปด้วย ค่าการทะลวง อุณหภูมิของจุดอ่อนตัวและ ค่าการยึดตัว จากการทดสอบพบว่า เมื่อนำถุงพลาสติกไปแทนที่ยางมะตอย 40% แอสฟัลท์เริ่มไม่เกาะตัวกันเป็นก้อนและผิวของก้อนแอสฟัลท์เริ่มที่จะหลุดออกมา เมื่อนำถุงพลาสติกไปแทนที่ยางมะตอย 17% จะให้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุด จากนั้นนำยางมะตอยผสมถุงพลาสติก 17% ไปทดสอบคุณสมบัติพบว่า มีค่าการทะลวงน้อยลง ค่าการยึดตัวน้อยลง และ อุณหภูมิจุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อผสมยางมะตอยกับถุงพลาสติกจะทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

# A study on amount of using plastic bags that can replace asphalt for asphalt pavement design

Mr.Jittrakorn Puangmanee Student ID. 58010173

Mr.Supachai Ngangsamrit Student ID. 58010208

Mr.Jetrin Changkeaw Student ID. 58011237

Advisor.Assoc.Prof.Dr. Chalida U-tapao

Academic Year 2018

## Abstract

Nowadays, the value of road construction is increase for demand of population in Thailand. Asphalt concrete is a composite material commonly used to surface roads that has better property, such as Durability, flexibility and saving price, more than concrete road. At the same time, the problems of plastic bag are concerned environmental problems because plastic bag is difficult to decompose naturally. Therefore, the objective of this research is to research the maximum amount of using plastic bags to instead of asphalt but also, still can be formed by adding percent of plastic that instead of asphalt until it can't be formed and test the property of asphalt concrete to consider appropriate percent of plastic by Marshall method mixing design. After that it's process of bitumen property testing on bitumen that mixed with appropriate percent of plastic, such as penetration test, Softening point test and ductility test. From the experimental result, At 40% weight of plastic by bitumen weight can not be formed, at 17% weight of plastic by bitumen weight has the most stability And the property of bitumen that mix with plastic at 17% has lower penetration, ductility and has higher softening point than normal bitumen

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย รศ.ดร.ชลิตา อุ่ตะเกาที่ให้คำปรึกษาคอยชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหาต่างๆตลอดทั้งให้ความรู้และประสบการณ์แก่ข้าพเจ้า แนวทางการศึกษาหาความรู้ แนวทางการศึกษาเพื่อบรรลุเป้าหมายในการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าและคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบคุณในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในหลายๆรายวิชาเพื่อเป็นพื้นฐานเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณ บริษัท เด่นชัยแอสฟัลติกคอนกรีต จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุสนับสนุนงานวิจัยนี้

ข้าพเจ้าและคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยเล่มนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาทุกท่านเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการทำงานต่างๆ หากเอกสารเล่มนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับไว้สำหรับคำติชมและพร้อมรับฟังจากผู้อ่านทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆในการดำเนินงานทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ และให้กำลังใจเสมอมา

นายจิตรกร	พวงมณี
นายเจตริน	ช่างเขี้ยว
นายศุภชัย	งังสมฤทธิ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติประกาศ .....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ .....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา .....	3
1.4 วิธีการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้.....	4
บทที่ 2 แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 แอสฟัลท์คอนกรีต.....	5
2.3 พลาสติก .....	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน .....	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	25
3.2 วัสดุและวิธีการตัดเตรียมวัสดุ.....	26
3.3 การทดลองหาอัตราส่วนของถุงพลาสติกที่เหมาะสม.....	28
3.4 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติก .....	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	50
4.1 ผลการทดสอบของมาร์แชล.....	50
4.2 การหาขนาดคละมวลรวม.....	51
4.3 การหาปริมาณของแอสฟัลท์ที่เหมาะสม.....	53
4.4 การทดลองคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ผสมขยะถุงพลาสติก.....	54
4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	62
5.1 บทสรุป.....	62
5.2 ปัญหาที่พบ.....	63
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	65

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดของแอสฟัลท์คอนกรีตโดยใช้ค่าการทะลวงเป็นมาตรฐานวัด .....	13
4.1 ผลมาร์แชลของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก .....	51
4.2 ปริมาณของมวลรวมที่ผ่านตะแกรง.....	51
4.3 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาตรแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้.....	52
4.4 ผลการทดลองหาค่าการทะลวง .....	60
4.5 ผลการทดลองหาค่าการยึดตัว .....	60
4.6 ผลการทดลองหาจุดอ่อนตัว.....	61



# สารบัญญภาพ

รูป	หน้า
1.1 แนวคิดที่มาของปัญหาในงานวิจัย .....	2
2.1 การทดสอบหาค่าเพี้ยนเนทเทอร์ชั้น .....	13
2.2 การทดสอบความเหนียวโดยวิธี Saybolt Furol .....	14
2.3 การทดสอบหาจุดวาบไฟโดยวิธี COC .....	15
2.4 การทดสอบความเหนียว .....	15
2.5 สัญลักษณ์พลาสติกกรีซเคลททั้ง 7 ชนิด .....	17
3.1 กระบวนการให้ความร้อนแอสฟัลท์ .....	26
3.2 วัสดุ Aggregate ทั้ง 3 ชนิด .....	26
3.3 การให้ความร้อนวัสดุ Aggregate ตามส่วนผสมที่ได้ .....	27
3.4 พลาสติกที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดและการตัด .....	27
3.5 ภาชนะที่มีขอบสูงประมาณ 7 เซนติเมตร .....	28
3.6 เตาแบบ Hot Plate .....	28
3.7 หม้อโลหะ .....	29
3.8 เกรียง .....	29
3.9 เทอร์โมมิเตอร์ .....	30
3.10 เครื่องชั่ง .....	30
3.11 อ่างต้มน้ำ .....	31
3.12 แบบเครื่องกดทับ .....	31
3.13 ค้อนกดอัดตัวอย่าง .....	32
3.14 ที่จับแบบ .....	32
3.15 ถุงมือกันความร้อน .....	33
3.16 เครื่องทดสอบ Marshall .....	33
3.17 เครื่องวัดการยุบตัว .....	34
3.18 แบบทดสอบ .....	34
3.19 กระบวนการใส่พลาสติกและแอสฟัลท์ลงบน Aggregate ที่ให้ความร้อนไว้ .....	35
3.20 กระบวนการผสมวัสดุ Aggregate แอสฟัลท์และพลาสติก .....	35
3.21 กระบวนการเทตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่เครื่องกดทับ .....	36
3.22 กระบวนการบดอัดทับตัวอย่าง .....	36
3.23 กระบวนการใช้เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ .....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.24 กระบวนการทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศ .....	37
3.25 กระบวนการแช่น้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ .....	38
3.26 กระบวนการกดตัวอย่างเพื่อหาค่า stability และค่า Flow.....	39
3.27 เครื่องทดสอบหาค่าการทะลวง.....	42
3.28 กระบวนการทำตัวอย่างให้เหลว .....	43
3.29 ตัวอย่างหลังเย็นลงที่อุณหภูมิอากาศ .....	43
3.30 กระบวนการทดสอบหาค่าการทะลวง.....	44
3.31 แบบหล่อแอสฟัลท์ .....	45
3.32 เครื่องดึงตัวอย่าง .....	45
3.33 กระบวนการปาดผิวตัวอย่าง .....	46
3.34 กระบวนการแช่แบบในอ่างควบคุมอุณหภูมิ.....	47
3.35 กระบวนการดึงตัวอย่าง.....	47
3.36 วงแหวนทองเหลือง แนวสำหรับลูกกลม และลูกกลมเหล็ก .....	48
3.37 แหวนยึดห่วง .....	48
3.38 กระบวนการทดลองหาจุดอ่อนตัว.....	49
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหินที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ต่างๆกับค่ามาตรฐาน.....	52
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %AC โดยน้ำหนักของมวลรวมกับ ความหนาแน่น .....	52
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %AC โดยน้ำหนักของมวลรวมกับ Stability.....	53
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %AC โดยน้ำหนักของมวลรวมกับ %AirVoid .....	53
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %AC โดยน้ำหนักของมวลรวมกับ Flow.....	53
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %AC โดยน้ำหนักของมวลรวมกับ %VMA.....	53
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %AC โดยน้ำหนักของมวลรวมกับ %VFB .....	53
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์ กับค่า Stability .....	54
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์ กับค่า Flow.....	55
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์ กับค่า ความหนาแน่น .....	56
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์ กับค่า %AirVoid .....	57
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์ กับค่า %VMA.....	58
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์ กับค่า %VFB .....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# บทที่ 1

## บทนำ

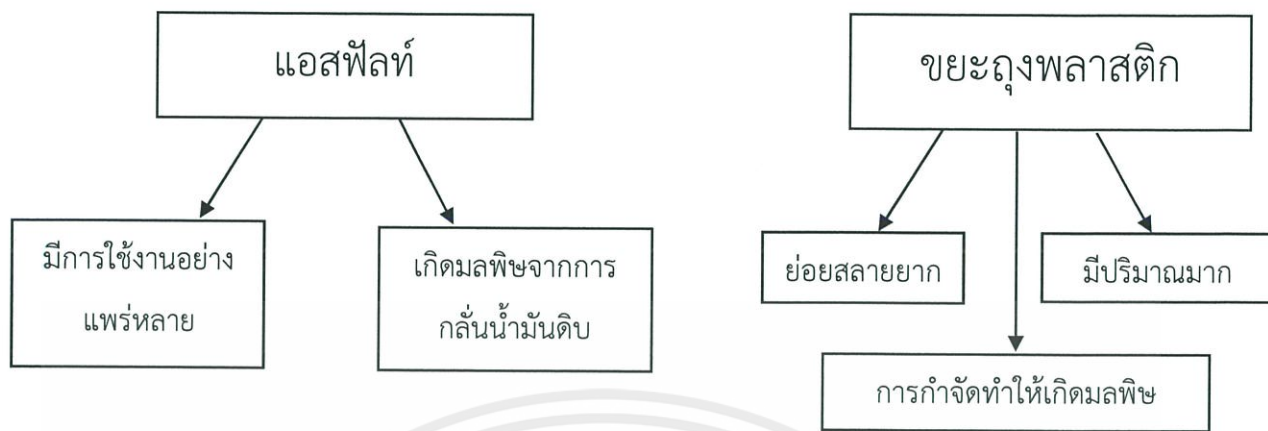
### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการสร้างถนนขึ้นมากมายเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ถนนของประชาชน หนึ่งในนั้นคือถนนลาดยางโดยการนำแอสฟัลท์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบมาผสมกับหินแล้วนำมาเทเป็นผิวทาง ไม่เพียงแค่นั้นที่ใช้แอสฟัลท์ในการเทผิวแต่ยังมี ลานจอดรถ สนามบิน ทางจักรยาน เหตุที่แอสฟัลท์เป็นที่นิยมในการนำมาใช้เป็นผิวทางของถนนเนื่องจากถนนที่ทำจากแอสฟัลท์มีความแข็งแรง ไม่มีฝุ่น มีความยืดหยุ่นสูงทำให้เมื่อรถวิ่งผ่านมากๆไม่เกิดการทรุดตัวจนเป็นร่อง ล้อถาวร่ง่ายใช้เวลาในการก่อสร้างน้อย บำรุงรักษางานและที่สำคัญมีราคาถูกกว่าถนนคอนกรีตแต่อายุการใช้งานก็จะน้อยกว่า

ปัญหาขยะถุงพลาสติกเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทยในด้านสิ่งแวดล้อม ถุงพลาสติกส่วนใหญ่ทำขึ้นมาจาก polyethylene สามารถสร้างเป็นรูปทรงต่างๆ ที่ต้องการได้ และมีความคงทนสูง อยากรถการย่อยสลายตามธรรมชาติ ซึ่งอาจใช้เวลาย่อยสลายด้วยตัวเองตามธรรมชาตินานถึง 500-1,000 ปี จึงนับว่าเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่เป็นปัญหาต่อโลกและภาวะเรือนกระจก ปัจจุบันเชื่อว่าขยะพลาสติกมากกว่า 100 ล้านถุงในแต่ละปีเฉพาะประเทศไทย ขยะพลาสติกสร้างผลเสียต่อธรรมชาติมากมาย เช่น เป็นอันตรายต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ มีอันตรายต่อระบบนิเวศในหลายๆด้าน มีก๊าซก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

แนวทางในการกำจัดขยะพลาสติกมีแค่ 2 วิธี คือ การฝัง แต่การฝังนั้นจะส่งผลต่อสภาพดินอย่างมาก เนื่องจากต้องฝังกลบดินและต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานเป็นร้อยๆ ทำให้พื้นดินบริเวณนั้นสามารถทำประโยชน์ได้น้อยหรือไม่ได้อีกเลย อีกวิธีหนึ่งคือ การเผา จะส่งผลต่อภาวะเรือนกระจกหรือภาวะโลกร้อนโดยตรง ไม่ว่าจะพยายามเผาด้วยวิธีใดก็ตาม เนื่องจากสารประกอบพลาสติกนั้นเมื่อทำการเผาจะมีคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเสมอ ส่งผลให้โลกร้อนขึ้นอย่างชัดเจน ขี้รายยังมีก๊าซพิษออกมาอีกด้วย จะเห็นว่าการกำจัดขยะพลาสติกทั้ง 2 วิธีมีผลกระทบต่อธรรมชาติ ดังนั้นเราจึงหาวิธีใช้ถุงพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมาแล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการนำขยะพลาสติกมาผสมกับแอสฟัลท์ที่ใช้ในการทำถนนเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้แอสฟัลท์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ และเป็นการใช้ขยะพลาสติกให้เกิดประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การวิจัยนำขยะถุงพลาสติกมาใช้ผสมกับ  
แอสฟัลท์ในการทำถนนลาดยาง

รูปที่ 1.1 แสดงแนวคิดที่มาของปัญหาในงานวิจัย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถุงพลาสติกในการแทนที่แอสฟัลท์เพื่อใช้ทำถนน
- 2.2 เพื่อศึกษาหาปริมาณของถุงพลาสติกที่มากที่สุดใช้แทนที่แอสฟัลท์แล้วยังทำให้แอสฟัลท์สามารถขึ้นรูปได้เมื่อทำการผสมกับมวลรวมและได้ค่าต่างๆที่ได้จากการทดลองแอสฟัลท์คอนกรีต เป็นไปตามค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง (มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532)

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 3.1 ทำการทดสอบแอสฟัลท์คอนกรีตด้วยวิธี Marshall Test
- 3.2 ทำการแทนที่แอสฟัลท์ด้วยขยะถุงพลาสติกที่ 10% 15% 20% 25% 30% 40% และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนกระทั่งแอสฟัลท์คอนกรีตไม่สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้
- 3.3 ทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ผสมพลาสติกที่ทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบได้ดีที่สุด โดยทดสอบค่าการยึดตัว จุดอ่อนตัว และค่าการทะลวง

## 1.4 วิธีการศึกษา

1. ทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับ ถนนลาดยาง และ การนำขยะถุงพลาสติกมาใช้ในการผสมกับแอสฟัลท์โดยทำการค้นคว้าจากเว็บไซต์และห้องสมุด
2. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัย
3. เตรียมถุงพลาสติก แอสฟัลท์ มวลรวมขนาดต่างๆและอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานวิจัย
4. ทำความสะอาดและตัดถุงพลาสติกให้เป็นชิ้นเล็กๆ
5. นำหินทั้ง3ขนาดมาทำการร่อนผ่านตะแกรง เพื่อหาอัตราส่วนของหินทั้ง3ขนาดที่จะนำมาผสมกับแอสฟัลท์
6. ทำการทดลองแอสฟัลท์คอนกรีต โดยวิธี Marshall เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของยางต่อน้ำหนักของหินที่ทำให้ได้ค่าจากการทดลองเป็นไปตามค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง (มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532)
7. ผสมถุงพลาสติกที่เตรียมไว้กับแอสฟัลท์ที่10%,15%,20%,25%,30% และ40% ต่อน้ำหนักของแอสฟัลท์ที่ใช้แล้วทำการทดลองแอสฟัลท์คอนกรีต โดยวิธี Marshall จากนั้นเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ทดลองได้ในข้อ 6 ว่าการผสมพลาสติกที่ช่วงเปอร์เซ็นต์ใดให้ค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐาน

8. นำช่วงเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่ใช้ผสมกับแอสฟัลท์ที่ได้จากข้อ 7 มาแบ่งเป็นช่วงย่อยๆ จากนั้นทำการทดลองแอสฟัลท์คอนกรีต โดยวิธี Marshall เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของถุงพลาสติกที่ใช้แทนที่แอสฟัลท์ที่มากที่สุดแล้วยังให้ค่าเป็นไปตามหรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง

9. ทดสอบคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลท์ที่ผสมพลาสติกในเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากข้อ 8 ดังนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ค่าการทะลวง ค่าการยึดตัว จุดวาบไฟ จุดติดไฟ จุดอ่อนตัว

10. บันทึกผลการทดลอง

11. ทำการวิเคราะห์ สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และเขียนรายงาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการนำเอาขยะพลาสติกที่ย่อยสลายยากและเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมมาผสมกับแอสฟัลท์ในการทำถนนลาดยาง

2. สามารถลดปริมาณการใช้แอสฟัลท์ในการทำถนนลาดยางและลดจำนวนขยะพลาสติกในธรรมชาติ โดยการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดมลพิษน้อยที่สุด

## บทที่ 2

### แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแอสฟัลท์ คำจำกัดความของแอสฟัลท์ ประเภทของแอสฟัลท์ คุณสมบัติของแอสฟัลท์ วัสดุที่ใช้ทำแอสฟัลท์คอนกรีต ข้อกำหนดของแอสฟัลท์คอนกรีต พลาสติก ประวัติความเป็นมาของพลาสติก พลาสติกกรีซไคเคิล ประเภทของพลาสติกกรีซไคเคิล กุ้งพลาสติก ประเภทเนื้อกุ้งพลาสติก ประโยชน์ของกุ้งพลาสติก ปัญหาขยะกุ้งพลาสติกในประเทศไทย และยังรวมถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเนื้อหา มีรายละเอียดแยกตามแต่ละหัวข้อย่อย ดังนี้

#### 2.2 แอสฟัลท์ (Asphalt)

##### 2.2.1 คำจำกัดความของแอสฟัลท์

แอสฟัลท์ (Asphalt) คือวัสดุประสานสีน้ำตาลแก่ถึงดำ มีบิทูเมน (bitumen) เป็นส่วนประกอบหลัก เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือได้จากการกลั่นปิโตรเลียม บิทูเมนคือสารที่ประกอบไปด้วยโมเลกุลของพวกไฮโดรคาร์บอน อยู่ในสถานะของแข็ง, กึ่งของแข็ง หรือเหนียวหนืด สีดำหรือค่อนข้างดำ สามารถละลายในคาร์บอนไดออกไซด์ (CS<sub>2</sub>) เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือได้จากการบวนการผลิต ต่อมาได้มีการนำแอสฟัลท์นี้มาใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีดังนี้

คุณสมบัติในการยึดเกาะและประสาน (Cementing)

คุณสมบัติไม่ดูดซึมน้ำ (Water Proofing)

คุณสมบัติที่เปลี่ยนเป็นของเหลวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลง

(Thermoplastic)

คุณสมบัติในการทนกรดและด่างอ่อน

##### 2.2.2 ประเภทของแอสฟัลท์

แอสฟัลท์นั้นมีชนิดต่างๆมากมาย เพื่อให้เหมาะกับชนิดของงานที่ใช้ตลอดจนวิธีการนำไปใช้ จึงได้มีการจัดแบ่งแอสฟัลท์เป็นประเภทใหญ่ๆดังนี้

##### 2.2.2.1 แอสฟัลท์ซีเมนต์ (Asphalt Cement)

โดยทั่วไปที่มีการกล่าวถึงแอสฟัลท์นั้น จะหมายถึงแอสฟัลท์ซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่เพราะเป็นแอสฟัลท์ที่ผลิตขึ้นได้ก่อน หลังจากนั้นจึงได้มีการนำแอสฟัลท์ซีเมนต์ไปผ่านขบวนการเพื่อแปรสภาพเป็นแอสฟัลท์ชนิดอื่นต่อไป โดยแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นมาร้อยละ 99 ได้มาจากการกลั่นน้ำมัน

ปิโตรเลียมดิบ ปิโตรเลียมดิบประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งแอสฟัลท์ซีเมนต์ การกลั่นเป็นการแยกส่วนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยมีกรรมวิธีการผลิตจะป้อนปิโตรเลียมดิบโดยให้ความร้อนที่เพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว เป็นการเริ่มต้นการกลั่น จากนั้นจะผ่านเข้าสู่หอกลั่น (Distillation Tower) เพื่อแยกส่วนประกอบที่เบากว่าและกลั่นต่อไปอีกจะได้ผลิตภัณฑ์ แนพธา (Naphtha) น้ำมันเบนซิน (Gasoline) น้ำมันก๊าด (Kerosene) น้ำมันดีเซล (Diesel Oil) สารเหลือจากการกลั่น เป็นส่วนที่หนักของปิโตรเลียมดิบ และนำไปเข้ากรรมวิธีต่อไปจะได้ผลิตภัณฑ์อื่นอีก รวมทั้งแอสฟัลท์ด้วย แอสฟัลท์ที่แยกออกจากส่วนที่เหลือ เมื่อกลั่นตามวิธีอีกจะได้แอสฟัลท์ซีเมนต์

#### 2.2.2.2 คัทแบคแอสฟัลท์ (Cut-back Asphalt)

เป็นแอสฟัลท์เหลวสีดามีความเข้มข้นแตกต่างกันไป ประกอบด้วยยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ระหว่าง 50-80% ผสมกับตัวทำละลายซึ่งเป็นน้ำมันปิโตรเลียมชนิดต่างๆ กระบวนการผลิตคัทแบคแอสฟัลท์สามารถแบ่งแยกได้ตามตัวทำละลายที่นำมาผสม และแบ่งเกรดตามค่าความหนืดดังนี้

ชนิดบ่มตัวเร็ว (Rapid Curing, RC)

ชนิดบ่มตัวปานกลาง (Medium Curing, MC)

ชนิดบ่มตัวช้า (Slow Curing, SC)

#### 2.2.2.3 อิมัลซิไฟด์แอสฟัลท์ (Emulsified Asphalt)

สามารถเรียกแอสฟัลท์อิมัลชัน หรือยางน้ำ มีลักษณะเป็นแอสฟัลท์เหลวสีน้ำตาลแก่ ประกอบด้วยอนุภาคของแอสฟัลท์ซีเมนต์ประมาณ 55-70% ผสมกับน้ำ และอิมัลซิฟายเออร์ ซึ่งเป็นตัวประสานให้แอสฟัลท์ซีเมนต์และน้ำผสมเข้าด้วยกัน โดยแอสฟัลท์ซีเมนต์ถูกทำให้ร้อนและแตกเป็นอนุภาคเล็กๆ ด้วยแรงกล ก่อนที่จะนำมาผสมรวมกับน้ำและอิมัลซิฟายเออร์

### 2.2.3 คุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีต

#### 2.2.3.1 เสถียรภาพ (Stability)

เสถียรภาพของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตคือความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อเป็นคลื่น หรือการเปลี่ยนรูปร่างในลักษณะอื่นๆ โดยเสถียรภาพของแอสฟัลท์คอนกรีตขึ้นอยู่กับความเสียดทาน และแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ซึ่งได้แก่รูปร่างของเม็ดวัสดุ ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือขรุขระของผิว ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่สามารถยึดเม็ดวัสดุมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทาน และแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักรถมากระทำ

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตมีค่าเสถียรภาพต่ำอันจะเกิดได้แก่

- ใช้แอสฟัลท์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกกระนาบหรือเกิดร่องล้อ
- ใช้ทรายที่มีเม็ดขนาดกลางมากเกินไป ทำให้การบดอัดยาก และไม่อยู่ตัว
- วัสดุมวลรวมที่มีลักษณะกลม ผิวเรียบ ขยี้บตัวได้ง่าย มักทำให้เกิดร่องล้อ

โดยปกติแล้ว วัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง ส่วนแรงยึดเกาะจะมีมากถ้าแอสฟัลท์ที่ใช้มีความหนืดสูง หรือขณะที่แอสฟัลท์มีอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลท์ในส่วนผสม จะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลท์จนถึงจุดหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลท์ที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานลดลง ทำให้ค่าเสถียรภาพลดลงด้วย ในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบให้ค่าเสถียรภาพสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ แต่มีข้อควรคำนึงคือ ค่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่น ซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ โดยเฉพาะแอสฟัลท์คอนกรีตที่ปูลงบนพื้นทางหรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัวสูง

### 2.2.3.2 ความคงทน (Durability)

ความคงทน หมายถึง ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตเสื่อมสภาพเป็นผลมาจากภูมิอากาศ สภาพการจราจร หรือทั้ง 2 อย่าง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอสฟัลท์ที่ใช้เสื่อมสภาพเนื่องจากขบวนการ Polymerization และ Oxidation ส่งผลให้มวลรวมเสื่อมสภาพและเกิดการแตกตัว และฟิล์มแอสฟัลท์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมหลุดออก

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตขาดความคงทน ได้แก่

- ปริมาณแอสฟัลท์น้อยไป ทำให้ผิวทางมีลักษณะแห้ง หินหลุด
- ช่องว่างอากาศมากไป ซึ่งอาจเนื่องจากออกแบบไม่เหมาะสมหรือบดอัดไม่พอ ทำให้แอสฟัลท์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดรอยแตก หรืออาจแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก็ได้
- คุณสมบัติในการยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลท์ภายใต้สภาวะเปียกน้ำไม่ดีพอ ทำให้ฟิล์มแอสฟัลท์หลุดออกจากวัสดุมวลรวม ทำให้หินหลุดหรือหินโผล่

การออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้แอสฟัลท์คอนกรีตที่มีความคงทนอาจจะทำได้ 3 วิธี คือ

- การใช้ปริมาณแอสฟัลท์มาก ซึ่งเป็นผลทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลท์ที่เคลือบผิววัสดุมวลรวมหนา ฟิล์มแอสฟัลท์ที่หนาจะเสื่อมสภาพได้ช้ากว่าฟิล์มแอสฟัลท์ที่บาง นอกจากนั้นการใช้แอสฟัลท์มากจะช่วยอุดช่องว่างอากาศที่อาจต่อเนื่องกัน ทำให้น้ำและอากาศผ่านไปทำลายเนื้อแอสฟัลท์ได้ยากยิ่งขึ้น

- เลือกขนาดคละที่ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะแน่น รวมทั้งใช้วัสดุมวลรวมที่มีความแข็งแรง และมีคุณสมบัติในการยึดเกาะแอสฟัลท์ได้ดี ขนาดคละที่มีลักษณะแน่น ช่วยป้องกันการแตกจาก น้ำหนักจากรถ คุณสมบัติการเกาะยึดระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลท์จะช่วยไม่ให้หินหลุดในสภาวะการใช้งานขณะที่ผิวทางเปียกน้ำ

- ออกแบบส่วนผสมทั้งการบดอัดในสนาม ในลักษณะที่ทำให้ได้แอสฟัลท์คอนกรีตที่กันน้ำ และอากาศผ่านได้มากที่สุด

### 2.2.3.3 ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability)

ปริมาตรช่องว่างอากาศ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ แต่ที่สำคัญยิ่งกว่าปริมาตรช่องว่างอากาศ ก็คือลักษณะของช่องว่างอากาศ ซึ่งได้แก่ ขนาดของช่องว่างแต่ละช่อง ช่องว่างทะลุถึงกันหรือไม่ และช่องว่างทะลุถึงผิวนอกของแอสฟัลท์คอนกรีตหรือไม่ ถึงแม้ว่าความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศจะเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตมีความคงทน แต่ในความเป็นจริงแล้วแอสฟัลท์คอนกรีตทั้งหมด ควรให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ระดับหนึ่ง ซึ่งหากมีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว ก็ถือว่าใช้ได้

สาเหตุที่ทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านผิวทางคอนกรีต ได้แก่

- ปริมาณแอสฟัลท์น้อยไป ทำให้ฟิล์มแอสฟัลท์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว
- การออกแบบส่วนผสมให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศมากเกินไป
- บดอัดไม่เพียงพอ ทำให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศมากเกินไป น้ำซึมผ่านได้ง่าย

### 2.2.3.4 ความง่ายในการต่อการปูและการบดอัด (Workability)

แอสฟัลท์คอนกรีตที่ปูและบดอัดยาก อาจแก้ไขได้โดยการออกแบบใหม่หรือเปลี่ยนวัสดุมวลรวมใหม่ หรือเปลี่ยนขนาดคละของมวลรวมใหม่

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตปูและบดอัดยาก

- ขนาดสูงสุดของวัสดุมวลรวมโตเกินไป ทำให้ผิวหยาบ ปูได้ยาก
- วัสดุมวลรวมมีส่วนที่หยาบมากเกินไปทำให้บดอัดได้ยาก
- อุณหภูมิขณะผสมต่ำ ทำให้แอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมไม่ทั่ว ผิวหยาบ บดอัดยาก
- ใช้ทรายที่มีเม็ดขนาดกลางผสมมากเกินไป ทำให้ส่วนผสมไม่อยู่ตัว อ่อนยุบยุบขณะบดอัด
- ปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อยเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะอ่อนยุบยุบ น้ำซึมผ่านได้ง่าย
- ปริมาณวัสดุอัดแทรกมากเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะแห้งและเหนียวหนืด ทำงานยากไม่คงทน

### 2.2.3.5 ความสามารถในการแอ่นตัว (Flexibility)

ความสามารถในการแอ่นตัวโดยไม่แตก เป็นสิ่งที่ต้องการในการออกแบบผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัวโดยการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกด หรือโดยการโป่งขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของดินชั้นทางข้างล่างตลอดเวลา แอสฟัลท์คอนกรีตชนิด Open-Graded จะสามารถแอ่นตัวได้ดีกว่าชนิด Dense-Graded แอสฟัลท์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้ดีมักจะมีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าที่แอ่นตัวได้น้อย

### 2.2.3.6 ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance)

คือความสามารถในการต้านทานการดัดโค้งแบบซ้ำซากของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักล้อกระทำต่อปริมาตรช่องว่างอากาศ และความหนืดนั้นนี้มีผลต่อความต้านทานต่อการล้า กล่าวคือ แอสฟัลท์คอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างอากาศมาก ไม่ว่าจะเป็ผลจากการออกแบบ หรือจากการบดอัดไม่เพียงพอ จะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลงในทำนองเดียวกัน การใช้แอสฟัลท์ที่เสื่อมสภาพและแข็งตัวได้ง่าย จะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ ความหนาและความแข็งแรงของชั้นผิวทาง ตลอดจนความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางก็มีผลต่ออายุและความสามารถรับน้ำหนักของผิวทางโดยไม่เกิดรอยแตก กล่าวคือ ผิวทางที่หนารวมทั้งชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางแข็งแรง จะทำให้ไม่เกิดการแอ่นตัวมาก จึงมีอายุรับน้ำหนักล้อซึ่งกระทำได้นานกว่า

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตมีความต้านทานต่อการล้าไม่ดี ได้แก่

- ปริมาณแอสฟัลท์น้อยไป จะทำให้เกิดรอยแตกเมื่อน้ำหนักกระทำซ้ำมากๆ
- ออกแบบใหม่ให้มีช่องว่างอากาศมาก ทำให้แอสฟัลท์เสื่อมสภาพเร็ว เกิดรอยแตกได้ง่าย
- ผิวทางหนาไม่พอ ทำให้เกิดการแอ่นตัวมากเกินไปจนครเมื่อมีน้ำหนักกระทำ

### 2.2.3.7 ความต้านทานต่อการลื่น (Skid Resistance)

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางลื่น

- ปริมาณแอสฟัลท์มากเกินไป เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ทำให้ลื่น
- ขนาดคละและลักษณะผิวของวัสดุผสมรวมไม่เหมาะสม ทำให้ผิวทางมีลักษณะเรียบเกินไป  
น้ำมีโอกาสท่วมเม็ดวัสดุผสมรวม ทำให้ลื่น
- เม็ดวัสดุผสมรวมถูกขัดสีให้ลื่นได้ง่าย

## 2.2.4 องค์ประกอบต่างๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีต

### 2.2.4.1 ความหนาแน่น (Density)

คือปริมาณมวลของแอสฟัลท์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอ จะทำให้อายุการใช้งานยืนยาว และมีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามการบดอัดโดยรถบดในสนามจะได้ความหนาแน่นน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งบดอัดด้วยเครื่องมือในห้องทดลอง ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่ต้องบดอัดให้ในสนาม จะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นที่ทดลองได้ในสนามไม่ควรน้อยกว่า 98% ของความหนาแน่นที่ทดลองได้ในห้องทดลอง

### 2.2.4.2 ช่องว่างอากาศ (Air Voids)

แอสฟัลท์คอนกรีตประกอบด้วยเม็ดวัสดุมวลรวมซึ่งถูกเคลือบด้วยฟิล์มของแอสฟัลท์ ระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลท์เหล่านี้ จะมีช่องว่างเล็กๆ เรียกว่าช่องว่างอากาศ ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียุทธศาสตร์ช่องว่างอากาศที่เพียงพอแต่ไม่มากเกินไปจำนวนหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเปิดการจราจรแล้ว รถที่แล่นบนผิวทางจะทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตแน่นขึ้นจากเดิม ทำให้ปริมาตรช่องว่างอากาศลดลง ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศขณะก่อสร้างเสร็จใหม่มีไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลท์ทะลักขึ้นมาบนผิวจนเกิดการเยิ้ม นอกจากนี้ ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุด ควรจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศ 3-5% ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาตรและน้ำหนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่างๆ อาจออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างได้มากกว่านี้ เช่น 4-7% เป็นต้น

ความหนาแน่นและปริมาตรช่องว่างอากาศมีความสัมพันธ์กันโดยตรง กล่าวคือความหนาแน่นยิ่งมาก ปริมาตรช่องว่างอากาศจะยิ่งน้อย การกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดของผิวทางจะต้องคำนึงถึงปริมาตรช่องว่างอากาศด้วย โดยปกติผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่บดอัดเสร็จใหม่ๆ มักจะกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดซึ่งทำให้ปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยกว่า 8%

### 2.2.4.3 ช่องว่างในวัสดุมวลรวม (Voids in the Mineral Aggregate หรือ VMA)

คือปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลท์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลท์ (Voids filled with bitumen หรือ VFB) ด้วย โดยที่ VMA คือปริมาตรช่องว่างสำหรับรับปริมาตรของแอสฟัลท์ประสิทธิผล (หมายถึงปริมาตรแอสฟัลท์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปผสมกับวัสดุมวลรวม หักด้วยปริมาณที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเม็ดของวัสดุมวลรวม) ปริมาตรช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของแอสฟัลท์ประสิทธิผลคือปริมาตรช่องว่างอากาศดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นถ้าหากออกแบบส่วนผสมให้แอสฟัลท์คอนกรีตมีปริมาตรช่องว่างอากาศเท่ากันแล้ว

แอสฟัลท์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่า จะมีความคงทนต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า ซึ่งอธิบายได้โดยอาศัยหลักความเป็นจริงว่า การที่วัสดุมวลรวมมีค่า VMA สูงย่อมหมายถึงมีปริมาตรสำหรับใส่แอสฟัลท์มาก ทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลท์ที่ห่อหุ้มผิววัสดุมวลรวมหนา ซึ่งทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตมีความคงทนและมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ในทำนองเดียวกัน การออกแบบส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลท์ผสมน้อย ซึ่งประหยัดแต่ไม่ควรกระทำ เพราะจะทำให้ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีความคงทนลดลง

#### 2.2.4.3 ปริมาณแอสฟัลท์ (Asphalt Content)

ปริมาณแอสฟัลท์ที่ใส่ลงไปผสมในแอสฟัลท์คอนกรีต มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลท์ที่ใช้ จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องทดลองหรือที่โรงผสม ในการออกแบบส่วนผสมของแอสฟัลท์คอนกรีต เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งได้แก่ข้อกำหนดต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลท์คอนกรีตที่ต้องการจะเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณแอสฟัลท์ที่ต้องผสม

ปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตจะเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมได้แก่ขนาดคละ และคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลท์ของวัสดุมวลรวม วัสดุมวลรวมที่ประกอบด้วยเม็ดขนาดเล็กต้องการแอสฟัลท์สำหรับผสมมากกว่าวัสดุมวลรวมที่ประกอบด้วยเม็ดขนาดใหญ่ ด้วยเหตุผลที่ว่า วัสดุมวลรวมเม็ดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุมวลรวมเม็ดใหญ่ จึงต้องใช้แอสฟัลท์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวม และชดใช้ส่วนที่ถูกดูดซึม

#### 2.2.5 วัสดุที่ใช้ทำแอสฟัลท์คอนกรีต

วัสดุที่ใช้ทำแอสฟัลท์คอนกรีต ประกอบด้วย วัสดุมวลรวม แอสฟัลท์ซีเมนต์ และวัสดุอื่นๆ

##### 2.2.5.1 วัสดุมวลรวม (Aggregate)

วัสดุมวลรวมจะประกอบไปด้วยมวลรวมหยาบ, มวลรวมละเอียด และวัสดุอัดแทรก ดังนี้

##### - มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดโตกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ค้ำตะแกรงเบอร์ 4) ปกติวัสดุมวลรวมหยาบจะใช้หินไม่ตั้งแต่ 2 ขนาดขึ้นไปผสมกัน เช่นใช้หินขนาดโตสุด 19.0 มิลลิเมตร ผสมกับหินขนาดโตสุด 9.5 มิลลิเมตร เป็นต้น หินแต่ละขนาดที่ใช้จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นขนาดเดียว ทั้งนี้เพื่อลดการแยกตัวตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง

- มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4) ต้องเป็นหินฝุ่น หรือทราย สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก จะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลท์ โดยปกติถ้าไม่จำเป็นไม่ควรใช้ทราย จะใช้ทรายเมื่อจำเป็นจะต้องการปรับปรุงขนาดคละของมวลรวมเท่านั้น

- วัสดุอัดแทรก (Mineral Filler)

หมายถึงวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 กรณีที่วัสดุมวลรวมละเอียดมีส่วนผสมไม่พอ จำเป็นต้องใช้วัสดุอัดแทรกด้วยเพื่อปรับปรุงขนาดคละ วัสดุอัดแทรกก็ได้แก่ ฝุ่นหิน และปูนขาวหรือปูนซีเมนต์

2.2.5.2 แอสฟัลท์ซีเมนต์

ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ให้ใช้แอสฟัลท์ซีเมนต์เพนิเตรชันเกรด 60-70 และต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ จุดวาบไฟ (Flash Point) ไม่น้อยกว่า 323 °C, ความคงทน (Ductility) ไม่น้อยกว่า 100 cm, Solubility in Trichloroethylene ไม่น้อยกว่า 99%, Loss in Heat ไม่มากกว่า 1%

2.2.5.3 วัสดุอื่นๆ

อาจใช้วัสดุอื่นๆ นอกจากวัสดุมวลรวม และแอสฟัลท์ซีเมนต์ตามที่กล่าวมาแล้วด้วยก็ได้ วัสดุเหล่านี้ จะใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีตให้มีลักษณะเด่นเฉพาะอย่างเช่น สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าปกติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าอื่นมากนัก เป็นต้น

2.2.6 ข้อกำหนดของแอสฟัลท์คอนกรีต

แอสฟัลท์คอนกรีตสามารถแบ่งเกรดตามมาตรฐานของความชื้นเหลว โดยใช้การทดสอบการทะลวง เป็นมาตรฐานการวัด มาตรฐาน ASTM D946 แบ่งเกรดของแอสฟัลท์คอนกรีตออกเป็น 5 เกรด คือ AC.40-50, AC.60-70, AC.85-100, AC.120-150 และ AC.200-300 ดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดของแอสฟัลท์คอนกรีตโดยใช้ค่าการทะลวงเป็นมาตรฐานวัด ASTM D946

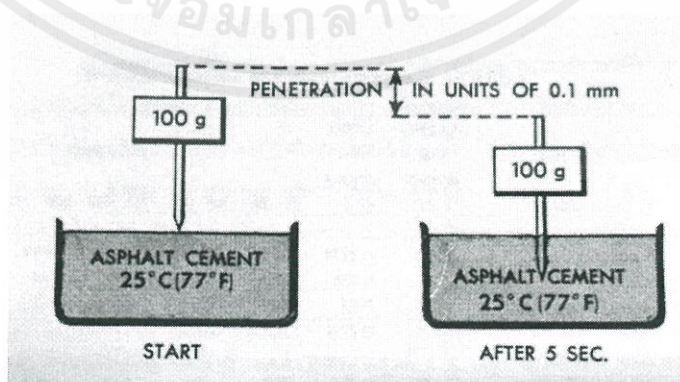
	Penetration grade									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Penetration at 77 °F (25 °C) 100 g, 5 s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Flash point, °F (Cleveland open cup)	450	—	450	—	450	—	425	—	350	—
Ductility at 77 °F (25 °C) 5 cm/min. cm	100	—	100	—	100	—	100	—	100 <sup>a</sup>	—
Solubility in trichloroethylene, %	99.0	—	99.0	—	99.0	—	99.0	—	99.0	—
Retained penetration after thin-film oven test, %	55+	—	55+	—	47+	—	42+	—	37+	—
Ductility at 77 °F (25 °C) 5 cm/min. cm after thin-film oven test	—	—	50	—	75	—	100	—	100 <sup>a</sup>	—

<sup>a</sup>If ductility at 77 °F (25 °C) is less than 100 cm, material will be accepted if ductility at 60 °F (15.5 °C) is 100 cm minimum at the pull rate of 5 cm/min.  
Source: ASTM D946

ซึ่งมาตรฐานที่ประเทศไทยใช้ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ให้ใช้แอสฟัลท์คอนกรีตเพนิเตรชัน 60-70 หรือ แอสฟัลท์ซีเมนต์เกรด AC.60-70 นั้นเอง

#### 2.2.6.1 การทดสอบเพนิเนทเทรชัน (Penetration Test)

การทดสอบเพนิเนทเทรชัน เป็นวิธีวัดความชันเหลวของยาง โดยวิธีการทดสอบแบบนี้ แอสฟัลท์จะถูกแบ่งเป็นหลายเกรดมาตรฐาน รูปดังต่อไปนี้ แสดงวิธีทดสอบดังกล่าว ขณะทำการทดลองจะต้องเพิ่มอุณหภูมิยางให้ถึงอุณหภูมิมาตรฐานคือ 25°C โดยการใช้อ่างที่ควบคุมอุณหภูมิได้เป็นตัวส่งผ่านความร้อนไปสู่ยาง ต่อจากนั้นจึงใช้เข็มมาตรฐานที่มีน้ำหนักรวม 100 กรัม ปล่อยให้จมลงในยางเป็นเวลา 5 วินาที ระยะทางที่จมลง (วัดเป็นหน่วยของ 0.1 มม.) ในยางเป็นค่าเพนิเนทเทรชัน ซึ่งในบางกรณี การวัดค่าเพนิเนทเทรชันอาจต้องวัดที่อุณหภูมิอื่นซึ่งจะต้องเปลี่ยนน้ำหนักเข็มหรือเวลา หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่างแล้วแต่มาตรฐานการทดสอบ

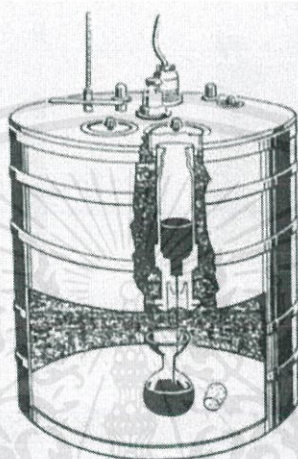


รูปที่ 2.1 รูปการทดสอบค่าเพนิเนทเทรชัน (Penetration Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.6.2 การทดสอบความหนืด (Viscosity Test)

ความหนืดมาตรฐานของยางกำหนดโดย Asphalt Institute ให้วัดที่อุณหภูมิ 275°F ความมุ่งหมายของวัดความหนืดก็เพื่อควบคุมความข้นเหลวของยางในช่วงอุณหภูมิปกติสำหรับการก่อสร้าง การวัดความหนืดวัดโดยวิธี Saybolt Furol Viscosity Test ดังรูปภาพต่อไปนี้

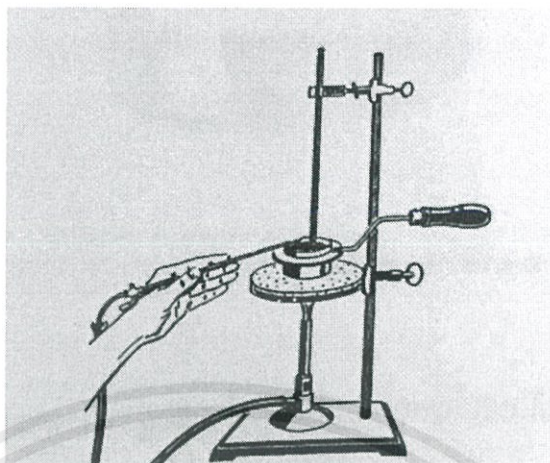


รูปที่ 2.2 การทดสอบความหนืดโดยวิธี Saybolt Furol

### 2.2.6.3 การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point Test)

จุดวาบไฟ เป็นจุดที่แสดงอุณหภูมิซึ่งยางจะถูกให้ความร้อนสูงได้อย่างปลอดภัย แม้จะเอาเปลวไฟเปิดมาอยู่ใกล้ๆ ก็จะไม่ลุกติดไฟ ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวโดยทั่วไปจะต่ำกว่าจุดที่ทำให้ลุกไหม้ จุดที่ลุกไหม้เรียกว่าจุดติดไฟ (Fire Point) ซึ่งไม่นิยมใช้ในการกำหนดมาตรฐานของยางแอสฟัลท์

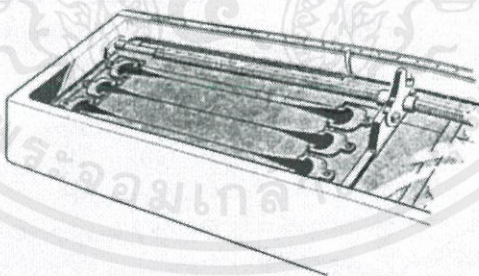
การวัดจุดวาบไฟโดยเครื่องมือที่เรียกว่า Cleveland Open Cup (COC) เครื่องมือนี้นี้แสดงในรูป เครื่องมือประกอบด้วยถ้วยทองเหลืองซึ่งใส่ยางตามปริมาตรที่กำหนดให้ และให้ความร้อนตามข้อกำหนด ต่อไปนำเปลวไฟเล็กๆ มาผ่านผิวหน้าของยางแอสฟัลท์ เป็นระยะเวลาที่กำหนดให้เช่นกัน อุณหภูมิที่ทำให้ยางระเหยเป็นไอพอเพียงที่จะติดไฟพอดีเรียกว่า จุดวาบไฟ



รูปที่ 2.3 การทดสอบจุดวับไฟโดยวิธี COC

#### 2.2.6.4 การทดสอบความเหนียว (Ductility Test)

ความเหนียวเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในงานบางอย่าง ยางแอสฟัลท์ที่มีความเหนียวจะมีการยืดเกาะที่ดีกว่ายางที่ขาดคุณสมบัติข้อนี้ อย่างไรก็ตามยางที่มีติกรของความเหนียวมากเกินไปจะรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นได้ง่าย นั่นคือการเปลี่ยนแปลงความชื้นเหลวจะเพิ่มขึ้นมากกว่าการเปลี่ยนอุณหภูมิ ในงานบางอย่างเช่นการปูผิวจราจรความเหนียวและการยืดเกาะสำคัญมาก แต่ในบางกรณีเช่นการทำ Undersealing ของ Concrete slab หรืออุดรอยแตกต่างๆ มีความจำเป็นต้องใช้ยางที่มีการรับอุณหภูมิเพิ่มได้ต่อ



รูปที่ 2.4 การทดสอบความเหนียว (Ductility Test)

ความเหนียวของยางแอสฟัลท์วัดได้โดยการยืด (Extension) ด้วยเครื่องมือดั่งรูป โดยการนำยางมาเทใส่แบบรูปมาตรฐาน แล้วทำการทดสอบที่อุณหภูมิมาตรฐานซึ่งโดยมากเท่ากับ 25°C โดยการดึงให้ยืดออกจากกันในอัตราเร็วที่กำหนด (โดยมากเท่ากับ 5 ซม.ต่อนาที) จนกระทั่งยางยืดขาดออกจากกัน ความยาวที่ยืดออกไป (วัดเป็นเซนติเมตร) จนกระทั่งขาดออกจากกันเรียกว่า ความเหนียว(Ductility) ของยางนั้นๆ

## 2.3 พลาสติก (Plastic)

### 2.3.1 ประวัติความเป็นมาของพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่มนุษย์คิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นเพื่อช่วยให้เรามีชีวิตที่สะดวกสบายยิ่งขึ้น ในอดีตเราไม่เคยรู้จักพลาสติกเลยจนกระทั่งกลางศตวรรษที่ 19 วัสดุดั้งเดิมที่มนุษย์คุ้นเคยและใช้อยู่ทั่วไปในชีวิตประจำวันในยุคก่อนหน้านี้นี้ล้วนเป็นวัสดุจากธรรมชาติทั้งสิ้นไม่ว่าเป็น แก้ว ไม้ กระดาษ โลหะ ยาง หรือขนสัตว์ สิ่งเหล่านี้เคยเป็นวัสดุที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม มนุษย์ยังคงพยายามค้นคว้าวัสดุใหม่ๆ มาใช้งานอยู่เสมอ

โดยส่วนใหญ่พบว่ามีการใช้คำว่า “พลาสติก” และ “พอลิเมอร์” ในความหมายเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แต่คำว่า “พอลิเมอร์” มักหมายถึงวัสดุประเภทพลาสติก ยาง เส้นใยและกาว ส่วนคำว่า “พลาสติก” จะหมายถึงสารผสมระหว่างพอลิเมอร์ และสารเติมแต่ง เช่น สี สารพลาสติกไซเซอร์ สารเพิ่มเสถียรภาพ และฟิลเลอร์ ที่ถูกนำมาใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยการขึ้นรูปให้มีรูปร่างต่างๆ เช่น ถัง จาน และช้อน เป็นต้น

### 2.3.2 พลาสติกรีไซเคิล

ในปัจจุบันได้มีการนำพลาสติกมาใช้งานมากขึ้น และมีแนวโน้มเป็นที่ต้องการมากขึ้นในท้องตลาด ดังนั้นพลาสติกที่ถูกผลิตและนำมาใช้งานแล้วถ้าไม่ถูกจัดการให้เป็นระบบก็จะส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามด้วย ดังนั้น การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ หรือการรีไซเคิลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกแล้ว ยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย อย่างไรก็ตาม พลาสติกแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน รวมไปถึงการใช้สารเคมีหรือสารเติมแต่งให้กับพลาสติกในแต่ละประเภท ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการรีไซเคิลให้เหมาะสมกับพลาสติกแต่ละประเภท

โดยการรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีโดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลักๆ คือ

1. การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (Primary Recycling)

เป็นการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำการแยกประเภทและนำกลับมาใช้ใหม่ หรืออาจจะนำมาผลิตใหม่โดยการผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม

2. การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (Secondary Recycling)

การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิหรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอมและขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง

3. การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ (Primary Recycling)

เป็นการรีไซเคิลอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การรีไซเคิลทางเคมี และการรีไซเคิลทางความร้อน โดยเป็นการทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออกได้ และนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่นและตกผลึก

4. การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ (Primary Recycling)

พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกจะให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ แต่ก็จะต้องยอมรับถึงผลกระทบด้านมลพิษ

2.3.3 ประเภทพลาสติกรีไซเคิล

ในปัจจุบันได้มีการรณรงค์การนำวัสดุต่างๆมารีไซเคิล เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมไปถึงการนำพลาสติกต่างๆ ไปรีไซเคิลด้วย สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกแห่งอเมริกา ได้กำหนดสัญลักษณ์มาตรฐาน 7 ประเภทหลักๆ โดยหากพลาสติกใดสามารถนำมารีไซเคิลได้ ก็จะมีรหัสอันประกอบด้วยลูกศร 3 ตัววนเป็นรูปสามเหลี่ยมรอบๆ และมีหมายเลขบอกประเภทของพลาสติก ดังนี้



รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์พลาสติกรีไซเคิลทั้ง 7 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกหมายเลข 1

มีชื่อว่า พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate) หรือที่รู้จักกันว่า PET หรือ PETE เป็นพลาสติกใส แข็ง ทนแรงกระแทกดี ไม่เปราะแตกง่าย และกันแก๊สซึมผ่านได้ดี ใช้ทำขวดบรรจุน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช เป็นต้น สามารถนำมารีไซเคิลเป็นเส้นใย สำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม และใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน เป็นต้น

พลาสติกหมายเลข 2

มีชื่อว่า พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) หรือเรียกแบบย่อว่า HDPE เป็นพลาสติกที่เหนียวและแตกยาก ค่อนข้างแข็งและแตกยาก ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ทนทานต่อสารเคมีและสามารถขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย ใช้ทำขวดนม ขวดน้ำและบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด ยาสระผม

พลาสติกหมายเลข 3

มีชื่อว่า พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride) หรือที่รู้จักกันว่า PVC ใช้ทำท่อน้ำประปา สายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร แผ่นพลาสติกสำหรับทำประตู หน้าต่าง และผนังเทียม เป็นต้น สามารถนำมารีไซเคิลเป็นท่อน้ำประปาหรือรางน้ำสำหรับการเกษตร กรวยจราจร เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

พลาสติกหมายเลข 4

มีชื่อว่า พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene) หรือเรียกแบบย่อ LDPE เป็นพลาสติกที่มีความนิ่ม เหนียว ยืดตัวได้มาก ใส ทนทาน แต่ไม่ค่อยทนต่อความร้อน ใช้ทำฟิล์มห่ออาหารและห่อของถุงขนมปัง ถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร สามารถนำมารีไซเคิลเป็นถุงดำ สำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว ถังขยะ กระเบื้องปูพื้น เฟอร์นิเจอร์ ถังไม้เทียม เป็นต้น

พลาสติกหมายเลข 5

มีชื่อว่า พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) เรียกโดยย่อว่า PP เป็นพลาสติกที่มีความใส ทนต่อความร้อน คงรูป เหนียว และทนแรงกระแทกได้ดี นอกจากนี้ยังทนต่อสารเคมีและน้ำมัน ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง จาน ชาม และสามารถรีไซเคิลเป็นกล่องแบตเตอรี่ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน ไฟท้าย แปรงพลาสติก เป็นต้น

พลาสติกหมายเลข 6

มีชื่อว่า พอลิสไตรีน (Polystyrene) หรือเรียกกันว่า PS เป็นพลาสติกที่มีความใส แต่เปราะ และแตกง่าย ใช้ทำภาชนะบรรจุของใช้ต่างๆ หรือโฟมใส่อาหาร สามารถนำมารีไซเคิลเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวิดีโอ ไม้บรรทัด กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ แผงสวิทช์ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกหมายเลข 7

เป็นประเภทอื่นๆ (other) ที่ไม่ได้ระบุ ก็หมายถึงว่าพลาสติกที่นอกเหนือจากทั้ง 6 หมายเลข  
นี้เอง

### 2.3.4 ถุงพลาสติก

ปัจจุบัน หากเรามองไปรอบตัวจะพบว่า "ถุงพลาสติก" ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากเป็นภาชนะที่มีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติในการใช้งานหลากหลาย อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่าถุงที่ทำจากวัสดุอื่นๆ เช่น กระดาษหรือผ้า อุตสาหกรรมถุงพลาสติกจึงขยายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกรรมวิธีการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับความต้องการของตลาด และยิ่งปัจจุบันจะเห็นได้ว่าธุรกิจความสวยงามมีแนวโน้มที่จะเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ถุงพลาสติกในรูปแบบของ ซิงค์แล็ป / ถุงพลาสติก OPP / ถุงแก้วหุ้ม ฯลฯ เข้ามามีบทบาท และมีความจำเป็นต่อการใช้ห่อหุ้ม เพื่อรักษาสินค้าให้คงความใหม่อยู่เสมอ ไม่สกปรก ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจ จึงขออธิบายและบอกถึงประเภทของถุงพลาสติก เพื่อการเลือกใช้ให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานประเภทของเนื้อถุงพลาสติกนั้นมีหลายชนิด แต่ละชนิดนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนั้นเพื่อที่จะได้รับประโยชน์และความคุ้มค่าในการใช้งานสูงสุด เราจึงควรเลือกชนิดของถุงพลาสติกให้ตรงต่อการใช้งานเช่น ถุงบรรจุอาหารร้อน ถุงบรรจุอาหารเย็น ถุงบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักเบา ถุงบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักเบาสูง เป็นต้น

### 2.3.5 ประเภทของเนื้อถุงพลาสติก

HDPE : High Density polyethylene

เนื้อถุงชนิดนี้โดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีขาวขุ่น แต่สามารถปรับเปลี่ยนสีตามความต้องการของได้ ถุงชนิดนี้เราจะเรียกกันว่าถุงหิ้ว ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำไปบรรจุสินค้า อุปกรณ์บริโภค และสินค้าชนิดอื่นๆ อีกมากมาย เพราะถุงชนิดนี้จะมีความเหนียว ทนทานและรับน้ำหนักได้ดี

LDPE: Low Density polyethylene

เนื้อถุงพลาสติกผ่านลม จะมีความใสมากกว่าเนื้อถุงชนิดHDPE แต่จะใส่น้อยกว่าเนื้อถุงผ่านน้ำชนิดLLDPEโดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำไปผลิตเป็นฟิล์มหัด ถุงน้ำแข็ง ถุงข้าวสาร และใช้งานด้านอื่นๆ

LLDPE: Linear Low Density polyethylene

เนื้อถุงพลาสติกผ่านน้ำ จะมีความใสและเหนียวเป็นพิเศษ มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงฉีกขาดได้ดี โดยส่วนใหญ่แล้วจะนำไปใช้ในการบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักสูง เช่นถุงแช่แข็ง ถุงน้ำแข็ง และใช้ในด้านอื่นๆ

PP: Polypropylene

ถุงชนิดนี้เรามักจะรู้จักกันดี หรือที่เรียกว่าถุงร้อน จะมีลักษณะใสเหนียว ทนต่อความร้อนได้ดี สามารถใช้บรรจุของร้อนได้ถึงจุดน้ำเดือด ส่วนใหญ่นิยมนำไปใช้ในการบรรจุอาหาร และใช้ในด้านอื่นๆ

### 2.3.6 ประโยชน์ของถุงพลาสติก

ถุงพลาสติกส่วนใหญ่นั้นทำมาจากโพลีเอทิลีน (polythylene) หรือที่เรียกกันว่าถุง PE ถุงพลาสติกชนิดนี้มีคุณสมบัติดีมากในการนำมาขึ้นรูปทรงใหม่ รวมถึงปรับขนาดตามความต้องการของเราได้ง่ายอีกด้วย และยังมีความคงทนสูง จึงทำให้ถุงพลาสติกเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย โดยเฉพาะการที่นำมาบรรจุสิ่งของที่มีน้ำหนักมากเช่น ขวดน้ำ อะไหล่รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมของโลก ถุงพลาสติกสามารถนำมาหลอมละลายและขึ้นรูปใหม่ได้นอกจากนี้ถุงพลาสติกยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อม โดยใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าถุงกระดาษ และยังให้ความคงทนที่มากกว่า ราคาซึ่งถูกกว่าถุงกระดาษอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตถุงพลาสติกนั้นปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green house effect gas) สู่อากาศน้อยกว่าถุงกระดาษ และถุงพลาสติกยังนำมาใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้โดยการเผาไหม้ถุงพลาสติก และยังพบว่าปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ (sulphur) ที่เกิดขึ้นหลังจากเผาไหม้นั้นน้อยกว่าถ่านหิน

ผลิตภัณฑ์ประเภทถุงพลาสติก มีอายุการใช้งานที่สั้นมากตามปกติมักใช้แล้วทิ้งเลย ยกเว้นแต่มีการนำไปทำความสะอาดแล้วนำไปหลอมกลับมาใช้ใหม่ ถุงพลาสติกมีบทบาทต่อชีวิตประจำวันอย่างมากทำให้เกิดปัญหาเรื่องขยะที่มาจากถุงพลาสติกนั้นเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากถุงพลาสติกนั้น มักไม่ย่อยสลายตามขบวนการตามธรรมชาติในระยะเวลาอันรวดเร็ว

### 2.3.7 ปัญหาขยะถุงพลาสติกในประเทศไทย

ขยะพลาสติกในประเทศไทยติดโผมากเป็นอันดับ 5 ของโลก คิดเป็น 2 ล้านตันของปริมาณขยะทั้งหมด ที่น่ากังวลก็คือ ขยะพลาสติกสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 0.5 ล้านตัน ที่เหลือ 1.5 ล้านตัน ถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบและเผาทำลาย บางส่วนตกค้างในสิ่งแวดล้อม แต่ขยะพลาสติกไหลลงทะเลจำนวนมาก กลายเป็นแพขยะในทะเลขนาดใหญ่ วิกฤตขยะพลาสติกกำลังเป็นปัญหาใหญ่ของโลก ทำให้วันสิ่งแวดล้อมโลกปีนี้กำหนดประเด็นหลักในการรณรงค์เรื่อง Beat Plastic Pollution โดยใช้คำขวัญว่า If you can't reuse it, refuse it หรือ รักโลก เลิกพลาสติก ผู้เชี่ยวชาญเตือนว่า พลาสติกนอกจากเป็นปัญหาในการกำจัดแล้ว ยังทำให้สัตว์น้ำจำนวนมากตาย ล่าสุดพบว่าวาฬตัวหนึ่งทางตอนใต้ของไทยที่ตายเมื่อสัปดาห์ก่อนในท้องมีถุงพลาสติกมากถึง 80 ถุง

องค์การอนุรักษ์ธรรมชาติสากล กรีนพีซ ประจำประเทศไทย ระบุว่าทุกๆ 1 นาที ขวดน้ำพลาสติกจำนวน 1 ล้านขวด จะถูกซื้อใช้โดยคนทั้งโลก และทุกๆ ปีเราใช้ถุงพลาสติกกันถึง มากถึง 5 ล้านล้านใบ ร้อยละ 50 ของพลาสติกที่ใช้ ล้วนเป็นพลาสติกที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งทุกๆ ปี มีขยะพลาสติกมากกว่า 13 ล้านตันไหลลงสู่มหาสมุทร ได้คุกคามชีวิตปะการังและสัตว์ทะเลหลากหลายชนิด พลาสติกที่ไหลลงสู่ทะเลเหล่านี้สามารถเดินทางรอบโลกได้ถึงสี่รอบภายในปีเดียว และจะอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตใต้มหาสมุทรถึง 1,000 ปีก่อนที่จะย่อยสลายเพราะว่าเป็นประเทศที่แนวชายฝั่งยาว จึงเป็นสาเหตุให้ไทยติดอันดับประเทศที่ทิ้งขยะลงทะเลมากที่สุด ผู้อำนวยการกรีนพีซประจำประเทศไทยบอกว่าพฤติกรรมการใช้พลาสติกอย่างฟุ่มเฟือยของคนไทยก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณขยะทะเลเพิ่มขึ้น ปัญหาขยะล้นทะเลไทย สะท้อนให้เห็นว่า บ้านเรายังขาดการจัดการขยะอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ สวนทางการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการเติบโตของเศรษฐกิจ ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ เผยว่าปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น มีขยะมูลฝอยรวม 26.77 ล้านตัน แต่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องเพียง 7.2 ล้านตัน มีขยะมูลฝอยที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อยู่ที่ 5.1 ล้านตัน ในขณะที่ขยะมูลฝอยจำนวน 6.9 ล้านตันไม่ได้นำไปกำจัดอย่างถูกต้อง ส่วนอีก 7.6 ล้านตันคือปริมาณขยะมูลฝอยที่ตกค้างอยู่ในพื้นที่ จะเห็นได้ว่าเกินครึ่งของขยะมูลฝอยในประเทศไทยไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธีการกำจัดขยะที่ไม่ถูกวิธี เผาโดยไม่มีการควบคุม ก่อให้เกิดสารไดออกซิน สร้างมลพิษในดิน อากาศ ทั้งในรูปแบบฝุ่นละออง ก๊าซพิษ และกลิ่นไม่พึงประสงค์ ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้คนทั่วไปที่สุดดมหรือสัมผัสอุปกรณ์ของการกำจัดขยะให้ถูกวิธี เช่น งบประมาณในการทำสถานที่กำจัดขยะแบบถูกต้องมีค่าใช้จ่ายสูง มีขั้นตอนและเกี่ยวข้องกับคนหลายฝ่าย ทั้งในแง่ของการมาตรฐานการกำจัด และการขออนุญาตให้ถูกต้อง การหาพื้นที่ที่เหมาะสม การเตรียมพื้นที่ การดูแลผลกระทบที่เกิดขึ้นจากขยะและคนในชุมชนใกล้เคียง จุดคุ้มทุนของการลงทุนระบบเนื่องจาก เตาเผาขยะ มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง หากแต่บางที่เปิดไปสักพักต้องปิด เพราะไม่มีจำนวนขยะ “ดี” เพียงพอเอา มาเปลี่ยนเป็นพลังงานหรือไฟฟ้า

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรีพัตร บุญชุ่ม (2545) ได้ศึกษาคุณสมบัติของโม่ติฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยรีไซเคิลโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เพื่อศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์60/70ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย RE-LDPE เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ซีเมนต์60/70 และแอสฟัลต์ซีเมนต์60/70ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย สไตรีน-บิวตาไดอีน-สไตรีน(Styrcne-Butadiene-Styrcn,SBS) ตามวิธีมาร์แชลล์ เพื่อยืดอายุการใช้งานและลดความเสียหายอันเกิดขึ้นกับผิวทาง

ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย SBS จะทำให้คุณสมบัติทางด้านจุดอ่อนตัว ความหนืด ความยืดหยุ่น ความเป็นอีลาสติกและความทนทานของวัสดุแอสฟัลต์ดีซีขึ้น ส่วนแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงด้วย RE-LDPE ที่ใช้อัตราส่วนผสม 3-7% จะทำให้คุณสมบัติด้านการลอยตัว ความหนืด และความเป็นอีลาสติกของแอสฟัลต์ดีซีขึ้น แต่เนื่องจากแอสฟัลต์กับ RE-LDPE ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้ค่าที่ได้ ยังไม่ผ่านตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ซึ่งจากผลการทดลองจึงได้เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เพื่อมาทดสอบตามวิธีมาร์แชลล์ คือที่อัตราส่วนผสม 4-6% และทำการทดสอบหาคุณสมบัติ ปรากฏว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมโพลิเมอร์ RE-LDPE ให้ค่าเสถียรภาพความต้านทานต่อการหลุดลอกและความหยุ่นตัวโดยไม่เกิดการแตกร้าวได้สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70 แต่มีค่าต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมโพลิเมอร์ SBS

Yash Menaria และ Rupal Sankha (2559) ได้ทำการศึกษาเรื่องอัตราส่วนในการนำพลาสติกเหลือใช้มาผสมร่วมกับแอสฟัลต์ด้วยแอสฟัลท์เกรด VG-30 โดยใช้พลาสติกในช่วง 0-14% เทียบกับปริมาณแอสฟัลท์ที่ต้องใช้ และอุณหภูมิที่สามารถนำพลาสติกมาใช้ประโยชน์โดยไม่เกิดแก๊สที่เป็นอันตราย โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มเสถียรภาพ (Stability) ของถนนลาดยางและลดปัญหาเรื่องพลาสติกที่เหลือใช้ โดยการเอาขยะถุงพลาสติกมาทำความสะอาดและทำให้แห้ง รวมไปถึงทำให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 2.36mm-4.75mm ผสมกับมวลรวมที่ร้อน ที่อุณหภูมิ 160°C นำแอสฟัลท์มาผสมทันทีที่ผสมและนำเข้าแบบ เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามมาตรฐานเกรด D.B.M II โดยวิธีของมาร์แชลล์

จากผลการศึกษาพบว่าในการนำพลาสติกเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ โดยพลาสติกชนิด Polyethylene , Polystyrene , Polypropylene จะมีอุณหภูมิจุดอ่อนตัวอยู่ที่ 120-160 °C โดยไม่เกิดแก๊สที่เป็นอันตราย ส่วนที่อุณหภูมิ 270-350°C จะทำให้พลาสติกสลายตัว และการนำพลาสติกเหลือใช้ไปแทนที่แอสฟัลท์จะทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มค่าการไหล แต่จะทำให้ความหนาแน่นผิวแห้ง (Bulk Density) ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกเพิ่มขึ้น

เวชสวรรค์ หล้ากาศ (2560) ได้ศึกษากระบวนการสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกในชุมชน โดยเอาขยะพลาสติกที่ตัดแยกได้มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆผสมกับวัสดุมวลรวมคละและยางแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยใช้ความร้อนแล้วนำไปทำเป็นก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมโดยวิธีมาร์แชลล์โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 รูปแบบ แบบที่ 1 ผสมพร้อมทั้งแอสฟัลต์ในขนาดที่กำลังร้อน แบบที่ 2 ผสมพร้อมทั้งมวลรวมไซขนาดที่กำลังร้อน แบบที่ 3 ใช้พลาสติกพ่นลงบนหน้าผิวของแอสฟัลต์คอนกรีต

จากผลการศึกษาพบว่าขยะพลาสติกมาผสมสามารถเพิ่มค่าความเสถียรภาพของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตได้สูงถึง 13.4 kN สูงกว่าถนนแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดาที่มีค่าเสถียรภาพเพียง 10.6 kN และสูงกว่าเกณฑ์มาตราที่กรมทางหลวงกำหนดค่าเสถียรภาพไว้ และที่สำคัญสามารถลดขยะพลาสติกภายในชุมชนได้มากถึง 4,775.3 kg

Nurul Asyiqin Binti Ahmad และ Ramadhansyah Putra Jaya (2558) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของถนนลาดยางด้วยการนำพลาสติกมาแทนที่แอสฟัลท์บางส่วน โดยอ้างอิงถึงสมบัติทางวิศวกรรม อธิเช่น ค่าการ ทะลวง (Penetration Test) อุณหภูมิจุดอ่อนตัว (Softening Point Test) ค่าความหนืด (Viscosity Test) ค่ารับแรงเฉือน (Direct Shear Rheometer Test) โดยใช้เปอร์เซ็นต์พลาสติกช่วง 0-6% เทียบโดยน้ำหนักของแอสฟัลท์ที่ใช้ผสม โดยใช้แอสฟัลท์เกรด AC.60-70 ในการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ในการนำพลาสติกมาแทนที่แอสฟัลท์ จะส่งผลให้แอสฟัลท์ที่ถูกปรับปรุงด้วยพลาสติกมีอุณหภูมิจุดอ่อนตัวสูงขึ้น และมีค่าความหนืดสูงขึ้นที่อุณหภูมิ 135°C ซึ่งค่าความหนืดที่สูงนั้นจะส่งผลทำให้ลดโอกาสที่ถนนลาดยางจะเป็นร่อง ส่วนที่อุณหภูมิ 165°C เปอร์เซ็นต์ของพลาสติกในแอสฟัลท์จะไม่ส่งผลต่อค่าความหนืด และ การที่นำพลาสติกมาใช้ ยังช่วยเรื่องการต้านทานแรงเฉือนของถนนได้ดียิ่งขึ้น ทั้งยังเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ลดการเกิดร่องบนถนนลาดยางได้ ซึ่งในมาเลเซีย เปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมแก่การนำพลาสติกมาผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถนนลาดยางคือ 4% ของน้ำหนักแอสฟัลท์ที่ใช้

Mohammad T.Awwa และ Lina Shbeeb(2560) ได้ทำการศึกษานำ Polyethylene ต่างชนิดกันคือ LDPE และ HDPE ใน ปริมาณ 0-20% เทียบกับน้ำหนักแอสฟัลท์ที่ใช้ ใช้ในแอสฟัลท์คอนกรีตผสมร้อน โดยใช้แอสฟัลท์เกรด AC.60- 70 ในการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเทียบกับมาตรฐานที่ไม่ได้ผสมพลาสติก ซึ่งอาจมีผลต่อความแข็งแรงและความเหมาะสมในการสร้างถนนลาดยาง โดยใช้มาตรฐานของ ASTM เป็นหลัก

จากการศึกษาพบว่า การแทนที่แอสฟัลท์ด้วยพลาสติก Polyethylene สำหรับค่าความหนาแน่น การใช้พลาสติกชนิด HDPE ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นมากที่สุดและเปอร์เซ็นต์พลาสติกที่เหมาะสมคือ 12% เทียบกับน้ำหนักของแอสฟัลท์ ส่วนค่าเสถียรภาพสำหรับแอสฟัลท์ที่ไม่ปรับแต่งด้วยพลาสติกจะมีค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 1450 kg สำหรับพลาสติกที่ทำให้ค่าเสถียรภาพมากที่สุดคือ HDPE คือ 2347 kg แต่ในส่วน LDPE ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนมากนัก แต่มีผลทำให้เสถียรภาพของแอสฟัลท์เพิ่มขึ้น รวมไปถึงทำให้ช่องว่างอากาศและช่องว่างในวัสดุรวมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่การเพิ่มพลาสติก จะทำให้ค่าการไหลลดลงจากปกติ

M.B.Dalen ,S.D.Mador และ J.S.Oyewola (2540) ได้ทำการศึกษานำพลาสติกชนิด Low density polyethylene (LDPE) และ พลาสติกชนิด (PET) มาใช้ในการออกแบบแอสฟัลท์คอนกรีตสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างถนน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพถนนและลดปัญหาขยะพลาสติก โดยเลือกใช้แอสฟัลท์ 6% ในการศึกษาสมบัติทางวิศวกรรม และใช้ปริมาณพลาสติกที่ 15% และ 30% เทียบกับน้ำหนักของแอสฟัลท์

จากการศึกษาพบว่า การแทนที่แอสฟัลท์ด้วยพลาสติกทั้งสองชนิด จะทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้น ค่าการไหลและเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างก็ลดลงโดยต้องมีการควบคุมอย่างเหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดสารก่ออันตรายจากการนำพลาสติกมาใช้ประโยชน์

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อ พัฒนาแอสฟัลท์คอนกรีตโดยใช้ขยะถุงพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ เพื่อเป็นหนึ่งในทางเลือกของการใช้ประโยชน์จากขยะถุงพลาสติกและเป็นการลดปัญหาขยะถุงพลาสติกซึ่งเป็นมลพิษไปในตัว ขั้นตอนแรกจะเป็นการเตรียมวัสดุ โดยการนำขยะถุงพลาสติกที่เป็นขยะเหลือใช้ตามร้านอาหารต่างๆภายในสถาบันมาทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปให้ความร้อนพร้อมกับแอสฟัลท์ จากนั้นนำไปผสมกับมวลรวม แบ่งเป็นช่วงเปอร์เซ็นต์ตามที่กำหนดไว้เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด จากนั้นแอสฟัลท์ที่มีอัตราส่วนของพลาสติกเยอะที่สุดและให้ค่าที่ได้จากการทดสอบอยู่ในหรือใกล้เคียงมาตรฐานมากที่สุดมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลท์โดยจะแบ่งหัวข้อวิธีดำเนินงานวิจัยดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย
- 3.2 วัสดุและวิธีการจัดเตรียมวัสดุ
- 3.3 การทดลองหาอัตราส่วนของพลาสติกที่เหมาะสมนำมาผสม
- 3.4 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีต

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูล
3. กำหนดขอบเขตการศึกษา
4. เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง
5. ออกแบบส่วนผสมของแอสฟัลท์คอนกรีต
6. ทำการทดสอบแอสฟัลท์คอนกรีต โดยวิธี Marshall
7. วิเคราะห์ข้อมูล
8. ทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลท์
9. สรุปผลการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วัสดุและวิธีการจัดเตรียมวัสดุ

#### 3.2.1 การจัดเตรียมแอสฟัลท์

1. นำวัสดุแอสฟัลท์ที่จะใช้ผสมไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลท์สามารถไหลได้



รูปที่ 3.1 กระบวนการให้ความร้อนแอสฟัลท์

#### 3.2.2 การจัดเตรียมมวลรวม

1. ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบ โดย “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไมลิ่ง” ตามวิธีการทดลอง ทล.ท.204/2516 หรือ ASTM C136
2. หาค่าอัตราส่วนผสมของวัสดุ Aggregate เมื่อรวมกันแล้วได้ขนาดตามต้องการ



รูปที่ 3.2 วัสดุ Aggregate ทั้ง 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำวัสดุ Aggregate ตามอัตราส่วนที่ได้ตามข้อ 3 หนัก 1,200 กรัม ใส่ในกะละมังไปให้ความร้อนให้ได้อุณหภูมิสูงถึง  $160 \pm 5$  °C



รูปที่ 3.3 การให้ความร้อนวัสดุ Aggregate ตามอัตราส่วนที่ได้

### 3.2.3 การเตรียมขยะถุงพลาสติก

1. นำขยะถุงพลาสติกจากที่ต่างๆ ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดจากนั้นปล่อยให้แห้งสนิท ทำการตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปเก็บรักษาไว้เพื่อเตรียมนำผสม



รูปที่ 3.4 พลาสติกที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดและการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดลองหาอัตราส่วนของถูกพลาสติกที่เหมาะสมนำมาผสม

#### 3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. ภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 7 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางระหว่างขอบประมาณ 25 เซนติเมตร สำหรับใส่วัสดุ Aggregate



รูปที่ 3.5 ภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 7 เซนติเมตร

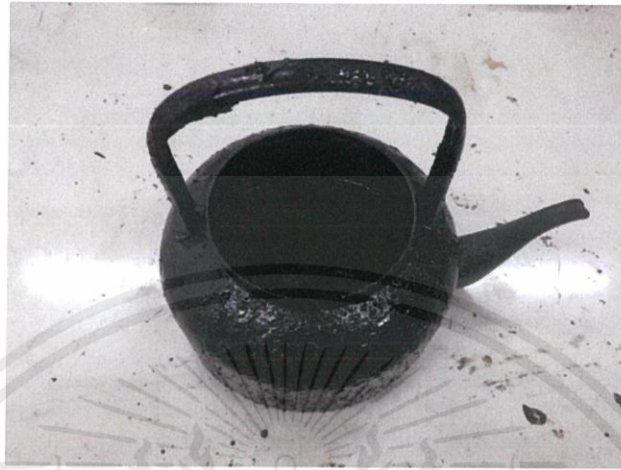
2. เตาแบบ Hot Plate ที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 200 °C สำหรับให้ความร้อนแอสฟัลท์



รูปที่ 3.6 เตาแบบ Hot Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. หม้อโลหะสำหรับใส่แอสฟัลท์คอนกรีต



รูปที่ 3.7 หม้อโลหะ

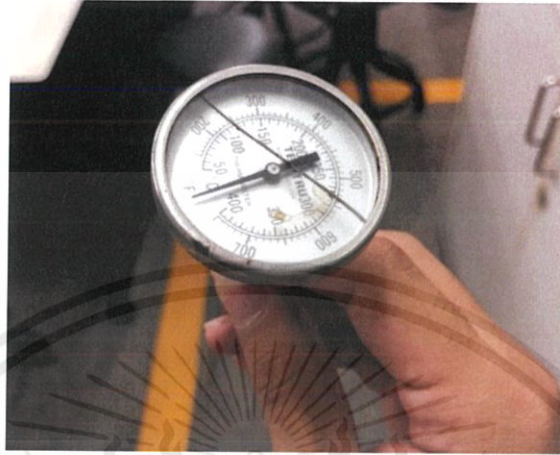
### 4. เครื่องสำหรับผสมวัสดุ Aggregate กับยางแอสฟัลท์



รูปที่ 3.8 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เทอร์โมมิเตอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 250 °C



รูปที่ 3.9 เทอร์โมมิเตอร์

6. เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 1 กรัม สำหรับชั่ง Aggregate และยางแอสฟัลท์



รูปที่ 3.10 เครื่องชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. อ่างต้มน้ำ (Boiling water bath)



รูปที่ 3.11 อ่างต้มน้ำ

8. แบบเครื่องกดทับ (Compaction Mold)



รูปที่ 3.12 แบบเครื่องกดทับ

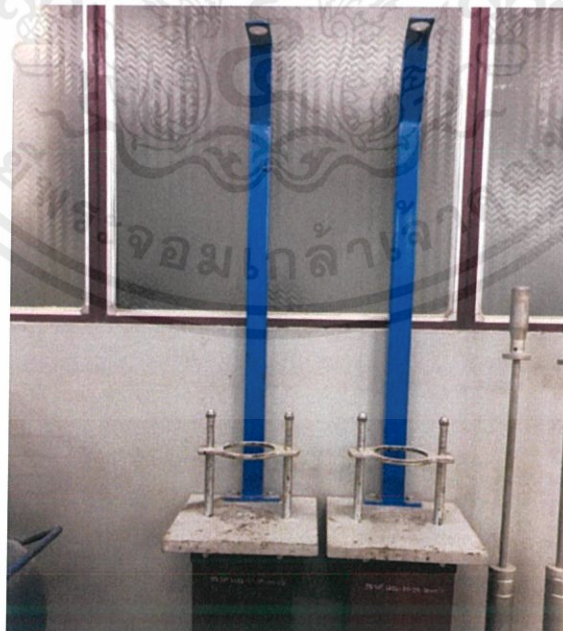
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 9. ค้อนกดทับ (Compaction Hammer)



รูปที่ 3.13 ค้อนกดอัดตัวอย่าง

### 10. ที่จับแบบ (Mold Holder)



รูปที่ 3.14 ที่จับแบบ

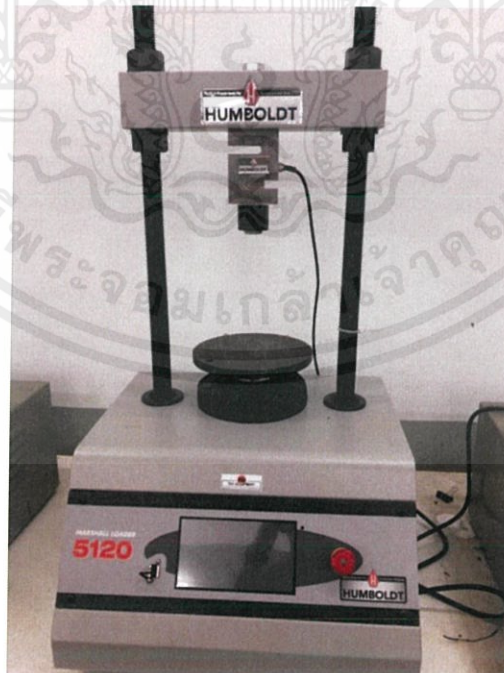
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 11. ถุงมือกันความร้อน



รูปที่ 3.15 ถุงมือกันความร้อน

### 12. เครื่องทดสอบ Marshall ใช้สำหรับทดสอบค่า Stability



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบ Marshall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เครื่องวัดการยุบตัว (dial gauge) ใช้สำหรับทดสอบค่า flow



รูปที่ 3.17 เครื่องวัดการยุบตัว

14. แบบทดลองสำหรับใส่ตัวอย่างทดลอง



รูปที่ 3.18 แบบทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 ขั้นตอนการทดลองหาอัตราส่วนของถูกพลาสติกที่เหมาะสมนำมาผสม

1. นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุ Aggregate ออกจากเตาให้ความร้อน แล้วนำพลาสติกและแอสฟัลท์ ตามที่ออกแบบไว้ใส่ลงในภาชนะสำหรับผสมวัสดุ



รูปที่ 3.19 กระบวนการใส่พลาสติกและแอสฟัลท์บน Aggregate ที่ให้ความร้อนไว้

2. นำภาชนะโลหะที่ได้จากข้อ 1 ขึ้นตั้งบน Hot Plate ใช้เกรียงผสมวัสดุ Aggregate และแอสฟัลท์ที่ทำการปรับปรุงคุณภาพให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด โดยปกติประมาณ 1 นาที พยายามเคลือบวัสดุทุกเม็ด



รูปที่ 3.20 กระบวนการผสมวัสดุ Aggregate แอสฟัลท์ และ พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบ ๆ ตัวอย่าง ข้างในแบบ ประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง



รูปที่ 3.21 กระบวนการเทตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่แบบเครื่องบดทับ

4. วางค้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้ น้ำหนักตกลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับ การออกแบบซึ่งออกเป็น

ก. แอสฟัลท์คอนกรีต สำหรับถนนที่มีจราจรชั้น Medium traffic จำนวนครั้งใช้ 50 ครั้ง ทั้งสองด้าน



รูปที่ 3.22 กระบวนการบดอัดทับตัวอย่าง

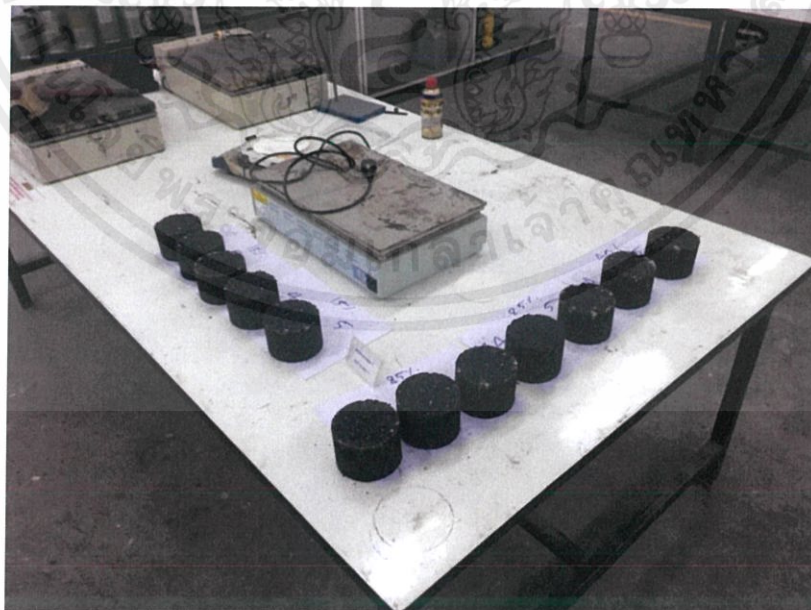
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทิ้งตัวอย่างที่บดหับเรียบร้อยแล้วไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงต่ำกว่า  $60^{\circ}\text{C}$  จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยการใช้เครื่องดันตัวอย่าง



รูปที่ 3.23 กระบวนการใช้เครื่องดันตัวอย่างดันตัวอย่างออกจากแบบ

6. ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศธรรมดาไม่น้อยกว่า 18 ชั่วโมง จึงนำไปทำการทดลองขั้นต่อไป



รูปที่ 3.24 กระบวนการทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างโดย

ก. นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักในอากาศ (d)

ข. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้น เช็ดตัวอย่าง ผึ่งให้แห้ง ชั่งน้ำหนักในอากาศ (d1)

ค. นำตัวอย่างอันเดิม ไปชั่งน้ำหนักในน้ำ (e)

8. ทำการทดลองหาค่า เสถียรภาพ (stability) และ ค่าการยุบตัว (flow)

ก. นำตัวอย่างที่เสร็จจากการทดลองตามข้อ 9 แล้วไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ  $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างต้มน้ำ



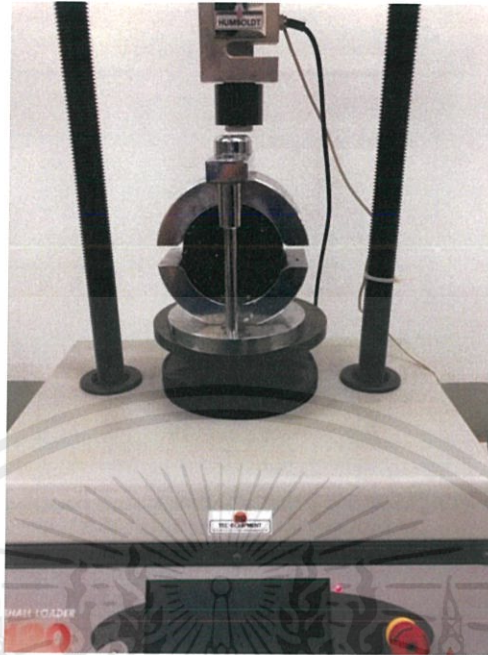
รูปที่ 3.25 กระบวนการแช่น้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ

ข. เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างขึ้นจากอ่างต้มน้ำ เช็ดให้ผิวตัวอย่างแห้งแล้วนำไปใส่ในแบบทดลอง Stability เพื่อไปทดสอบค่า Stability และค่า Flow

ค. เดินเครื่องให้กดเพื่อทดสอบหาค่า Stability โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่กดจาก Proving ring เป็นค่าที่อ่านได้ (Measured) ซึ่งต้องแก้ไข (adjust) สำหรับตัวอย่างมาตรฐานที่หนา 6.35 เซนติเมตร (2.5 นิ้ว)

ง. ขณะที่ทำการทดสอบหา Stability ให้อ่านค่า Flow จากเครื่องที่น้ำหนักกดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 การบวกรวดตัวอย่างเพื่อหาค่า Stability และค่า Flow โดย  
ตัว dial gauge ติดอยู่ด้านหลังเพื่อวัดค่า Flow

การคำนวณคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะอิมตัวผิวแห้งของส่วนผสม(Bulk specific gravity , ช่องอากาศในมวลรวมวัสดุ(Voids in mineral aggregate, V.M.A) , ช่องอากาศในส่วนผสม (Air Void) และช่องอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่(Voids filled with bitumen, V.F.B.) ดังนี้

คำนวณหาเนื้อแอสฟัลท์สุทธิโดยน้ำหนักของส่วนผสม(Effective asphalt cement by weight of mix),c

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

เมื่อ  $b$  = เปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของส่วนผสม

$x$  = แอสฟัลท์ที่สูญเสียไปจากการดูดซึมของหิน(Asphalt lost by absorption), 1 กก. ของ  
แอสฟัลท์/100 กก. ของหิน

คำนวณหาความถ่วงจำเพาะอิมตัวผิวแห้งของส่วนผสม(Bulk specific Gravity of Specimen),  $i$

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

เมื่อ  $e$  = ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างในอากาศ(กรัม)

$f$  = ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอิมตัวผิวแห้งในอากาศ(กรัม)

$g$  = ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอิมตัวในน้ำ(กรัม)

คำนวณหาปริมาณสุทธิของแอสฟัลท์, หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์(Percent Total volume of effective asphalt cement),  $j_{ac}$

$$j = \frac{ci}{G_{ac}}$$

เมื่อ  $G_{ac}$  = ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์

คำนวณหาปริมาณทั้งหมดของมวลรวมวัสดุ, หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์(Percent total volume of aggregate) ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว ( $k$ )

$$k = \frac{100 - b}{G_{ag}} i$$

เมื่อ  $G_{ag}$  = ความถ่วงจำเพาะที่อิมตัวผิวแห้งของมวลรวมวัสดุ(Bulk Specific Gravity of Blended Aggregate)

คำนวณหาช่องว่างอากาศ (Percent air voids) ตัวอย่างที่บดทับแล้ว

$$\text{ช่องว่างอากาศ} = 100 - k - j$$

คำนวณหา V.M.A.(Voids in mineral aggregate),(L)

$$V. M. A. = 100 - k$$

คำนวณหา V.F.B.(Voids filled with bitumen)

$$V. F. B = 100 \frac{j}{L}$$

นำค่าต่างๆที่คำนวณได้ไปเขียนโค้ง(Curves)แสดงความสัมพันธ์ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมวัสดุ
2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัว(Flow) กับเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมวัสดุ
3. ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของส่วนผสมของส่วนผสม(Unit weight of total mix) กับเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวม
4. ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของช่องอากาศ(% Air Voids) กับเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมวัสดุ
5. ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.M.A. กับเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมวัสดุ
6. ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.F.B. กับเปอร์เซ็นต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมวัสดุ

### 3.4. การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยพลาสติก

#### 3.4.1 การทดลองหาค่าการทะลวง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องมือทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Apparatus) ประกอบด้วยแกนยึดเข็มที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง โดยมีแรงเสียดทานน้อยที่สุดและสามารถอ่านระยะการเคลื่อนที่ได้ละเอียด 0.1 มิลลิเมตร ผิวของตัวอย่างที่ใช้จะต้องราบและทำมุมกับแกนยึดเข็ม ประมาณ 90 องศา



รูปที่ 3.27 เครื่องมือทดสอบหาค่าการทะลวง

2. เข็มทดสอบหาค่าการทะลวง (Penetration Needle) ทำจากสแตนเลสที่ชุบแข็ง
3. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง (Sample Container) รูปทรงกระบอกก้นแบนเรียบทำด้วยแก้วหรือโลหะสำหรับวัสดุที่มีค่าการทะลวง (Penetration) ไม่มากกว่า 200 เพนิเตอร์ชั้น
4. อ่างปรับ (Water Bath) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $0.1^{\circ}\text{C}$  จากอุณหภูมิที่ทำการทดลอง
5. ภาชนะย้ายตัวอย่าง (Transfer Dish) ต้องมีความจุไม่น้อยกว่า 350 มิลลิเมตร
6. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometers) อ่านละเอียด  $0.1^{\circ}\text{C}$  ความคาดเคลื่อนสูงสุด  $0.1^{\circ}\text{C}$
7. ให้ความร้อน (Heater) สำหรับอุ่นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการทดลอง

1. ทำตัวอย่างให้เหลวโดยใช้ความร้อนและคนอย่างสม่ำเสมอ ป้องกันความร้อนมากเกินไปที่จุดใดจุดหนึ่ง จนตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัว (Softening point) ประมาณ  $80-90^{\circ}\text{C}$  สำหรับแอสฟัลท์ และอย่าให้ความร้อนนานกว่า 30 นาที ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศภายในตัวอย่าง



รูปที่ 3.28 กระบวนการทำตัวอย่างให้เหลว

2. เทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างให้มีปริมาณมากพอ โดยที่ไม่คาดว่าเข็มมาตรฐานจะจมลงห่างจากก้นภาชนะ ไม่น้อยกว่า 10 มม.
3. ปลอ่ยให้เย็นลงที่อุณหภูมิอากาศระหว่าง  $15$  ถึง  $30^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ถึง  $1\frac{1}{2}$  ถึง 2 ชั่วโมง สำหรับภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาด 3 ออนซ์ และ  $1\frac{1}{2}$  ถึง 2 ชั่วโมง สำหรับภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาด 6 ออนซ์



รูปที่ 3.29 ตัวอย่างหลังเย็นลงที่อุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำหนักกด 100 กรัม เป็นระยะเวลา 5 วินาที จากนั้นเปิดฝาและวางภาชนะบรรจุตัวอย่างและภาชนะย้ายตัวอย่างแช่ไว้ในอ่างปรับอุณหภูมิซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ตามข้อกำหนดของการทดลอง
5. ย้ายตัวอย่างจากภาชนะบรรจุตัวอย่างไปไว้ในภาชนะย้ายตัวอย่างโดยที่อุณหภูมิคงที่ จากนั้นวางบนที่ตั้งของเครื่องมือทดลองหาค่าการทะลวง
6. ทำความสะอาดเข็มมาตรฐานด้วยผ้าสะอาดชุบคาร์บอนเตตระคลอไรด์และใช้ผ้าแห้งเช็ดอีกครั้งหนึ่ง ปรับเครื่องมือให้ปลายเข็มมาตรฐานสัมผัสผิวของตัวอย่างพอดี
7. ปลดปล่อยเข็มให้เลื่อนลงไปในตัวอย่าง เป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นอ่านค่าที่หน้าปัด



รูปที่ 3.30 กระบวนการทดสอบหาค่าการทะลวง

8. ทำการทดลองให้ได้ค่าน้อย 3 ครั้ง ตำแหน่งในแต่ละครั้งที่กดเข็มลงบนตัวอย่างให้ห่างจากภาชนะไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร และจุดทดลองแต่ละจุดห่างกันไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

### 3.4.2 การทดลองหาค่าการยึดตัว

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. แบบหล่อแอสฟัลท์สำหรับการทดลองหาค่าการยึดตัว (Mold)



รูปที่ 3.31 แบบหล่อแอสฟัลท์

2. อ่างปรับ (Water Bath) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $0.1^{\circ}\text{C}$  จากอุณหภูมิที่ทำการทดลอง
3. เครื่องดึง (Testing Machine) สำหรับดึงตัวอย่างที่หล่อแล้ว ด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอที่กำหนดคือ 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยไม่เกิดการสั่นและตัวอย่างต้องจมอยู่ในน้ำตลอดเวลา



รูปที่ 3.32 เครื่องดึงตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พายผสม (Brass Plaste) ควรใช้แผ่นที่มีผิวหน้าราบเรียบ
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) มีช่วงระหว่าง  $-8$  ถึง  $32^{\circ}\text{C}$
6. ตะแกรงเบอร์ 50 (Sieve No.50)
7. ภาชนะรองรับตัวอย่าง

#### วิธีการทดลอง

1. ทาวาสลีนบนแผ่นทองเหลือง และด้านข้างของแบบทางด้านใน แล้วจึงประกอบแบบทั้งหมดลงบนแผ่นทองเหลือง
2. ให้ความร้อนกับตัวอย่างและคนสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดความร้อนมากเกินไปที่จุดหนึ่งจุดใด เทตัวอย่างผ่านตะแกรง เบอร์ 50 หลังจากนั้นเทตัวอย่างลงในแบบมาตรฐานที่วางอยู่บนแผ่นทองเหลืองจนเต็มล้นออกมาจากแบบเล็กน้อยปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิ หลังจากนั้นใช้พายผสม(Spatula) เฝ้าให้ความร้อนพอประมาณ ตัดส่วนของแอสฟัลท์ที่เกินแบบออก เพื่อให้ตัวอย่างเรียบพอดี



รูปที่ 3.33 กระบวนการปาดผิวตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วางแผ่นทองเหลืองและแบบอ่างควบคุมอุณหภูมิที่  $25^{\circ}\text{C}$  ประมาณ 85 ถึง 95 นาที  
 ต่อจากนั้นยกขึ้นจากน้ำ นำแผ่นทองเหลืองและส่วนข้างทั้งสองของแบบออก



รูปที่ 3.34 กระบวนการแช่แบบในอ่างควบคุมอุณหภูมิ

4. นำห่วงที่ปลายของตัวยึดทั้งสองข้างใส่ลงในหมุดยึดของเครื่องดึงแล้วเดินเครื่องให้ดึงตัวอย่างออกจากกัน ด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอที่ 50 มิลลิเมตรต่ออนาที จนกระทั่งเส้นของตัวอย่างที่ยึดออกขาดจากกัน อ่านระยะทางที่ยึดออกทันทีที่ตัวอย่างขาดเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 3.35 กระบวนการดึงตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การทดลองหาจุดอ่อนตัว

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. วงแหวนห่วงทองเหลือง เป็นวงแหวนสองวง
2. ลูกเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 3.5 กรัม จำนวน 2 ลูก
3. แนวสำหรับให้ลูกกลมอยู่กลางห่วง (Ball – Centering Guides)



รูปที่ 3.36 วงแหวนทองเหลือง แนวสำหรับลูกกลม และลูกเหล็กกลม ตามลำดับ

4. แหวนยึดห่วง (Ring – Holder and Assembly) ยึดแกนหรือขาตั้ง โดยที่ห่วง จะวางในตำแหน่งแนวนอนห่างจากพื้นล่าง 25 มิลลิเมตร พื้นผิวนี้จะวางสูงจากกันอย่างระหว่ง 13 ถึง 19 มิลลิเมตรและเทอร์โมมิเตอร์จะแขวนไว้โดยที่กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์อยู่ระดับเดียวกับกับห่วง ห่างจากห่วงไม่เกิน 13 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.37 แหวนยึดห่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แผ่นทองเหลืองแบนเรียบ (Brass Pouring Plate) ขนาดประมาณ 50 x 70 มิลลิเมตร
6. อ่างน้ำ (Bath) ทำด้วยแก้วทนความร้อน เส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 85 มิลลิเมตร และลึกไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร หรือใช้บีกเกอร์แทนก็ได้
7. เทอร์โมมิเตอร์ มีช่วงจาก -2 ถึง 80 °C สำหรับตัวอย่างที่มีจุดอ่อนตัวต่ำ และมีช่วง 30 ถึง 200°C สำหรับตัวอย่างที่มีจุดอ่อนตัวสูง

#### วิธีการทดลอง

1. ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจนเหลวพอที่จะเท คนให้สม่ำเสมอเพื่อป้องกันความร้อนมากเกินไปที่จุดใดจุดหนึ่ง เทลงในห้วงทองเหลืองจนล้นเล็กน้อย โดยที่ห้วงทองเหลืองวางอยู่บนแผ่นทองเหลืองซึ่งทา กลีเซอริน (Glycerin) ผสมเด็กซ์ทริน (Dextrin) ,ทอลค์ (talc) หรือ ไซนาเคลย์ (China Clay) เพื่อไม่ให้แอสฟัลท์เกาะติดกับแผ่นทองเหลือง
2. ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลงประมาณ 30 นาที เป็นอย่างน้อยและไม่มากกว่า 240 นาที ก่อนทำการทดลอง ทำให้ตัวอย่างเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิที่คาดไว้ 8 °C เป็นอย่างน้อย หลังจากนั้นปาดตัวอย่างส่วนเกินจากห้วงด้วยพายผสมที่ร้อน
3. ให้ความร้อนของน้ำ สูงขึ้น 5°C ต่อนาที ในอัตราเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ
4. บันทึกอุณหภูมิที่ลูกเหล็กกลมสัมผัสพื้นล่างเป็นค่าจุดอ่อนตัวของแอสฟัลท์นั้น



รูปที่ 3.38 กระบวนการทดลองหาจุดอ่อนตัว

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลท์คอนกรีตที่ทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยขยะถุงพลาสติก โดยมีการทดสอบ เสถียรภาพ,ค่าการยุบตัว,ความหนาแน่น,ช่องว่างอากาศ,ช่องว่างในวัสดุมวลรวม(V.M.A) และ ช่องว่างอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่(V.F.B) โดยแทนที่แอสฟัลท์ด้วยพลาสติก 10%,15%,20%,25%,30% และ 40% ของน้ำหนัก และศึกษาค่าการทะลวง ค่าการยึดตัว ค่าจุดอ่อนตัว โดยนำเปอร์เซ็นต์ที่มีค่าเสถียรภาพมากที่สุดมาทดสอบ โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในบทนี้

#### 4.1 ผลการทดสอบมาร์แชล

**เสถียรภาพ** คือความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อ เป็นคลื่น หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(Deformation) ในลักษณะอื่นๆ

**ค่าการยุบตัว** คือระยะยุบตัวของแอสฟัลท์คอนกรีตขนาดรับแรงกระทำสูงที่สุด

**ความหนาแน่น** คือปริมาณมวลของแอสฟัลท์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอจะทำให้อายุการใช้งานยืนยาวและมีคุณภาพ

**ช่องว่างอากาศ** คือแอสฟัลท์คอนกรีตประกอบด้วยเม็ดวัสดุมวลรวมซึ่งถูกเคลือบด้วยฟิล์มของแอสฟัลท์ ระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลท์เหล่านี้จะมีช่องว่างเล็กๆเรียกว่าช่องว่างอากาศ

**ช่องว่างในวัสดุมวลรวม** คือปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลท์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว

**ช่องอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่** คือปริมาตรช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลท์

ซึ่งค่าทั้งหมดควรเป็นไปตามค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง ในการทดสอบนี้เป็นการศึกษาว่าการผสมขยะพลาสติกประเภทถุงมีผลอย่างไรต่อความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรของแอสฟัลท์คอนกรีตดังแสดงในตาราง

Marshall properties	plastic waste Content %					
	10	15	20	25	30	40
Stability(lbs)	1623.3	1924.7	1819.4	1836.4	1696.7	1681.2
Flow(mm.)	5.66	5.65	6.43	4.4162	5.7564	4.6593
Air void(%)	11.65	11.11	13.75	13.98	15.45	17.87
Density(gm/cm <sup>3</sup> )	2.2	2.24	2.183	2.185	2.1559	2.1103
VMA(%)	21.98	19.77	21.8	21.5	22.35	23.6
VFB(%)	47.19	43.81	36.96	35.1	30.95	24.62

ตารางที่ 4.1 ผลมาร์แชลของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก

#### 4.2 การหาขนาดคละของมวลรวม

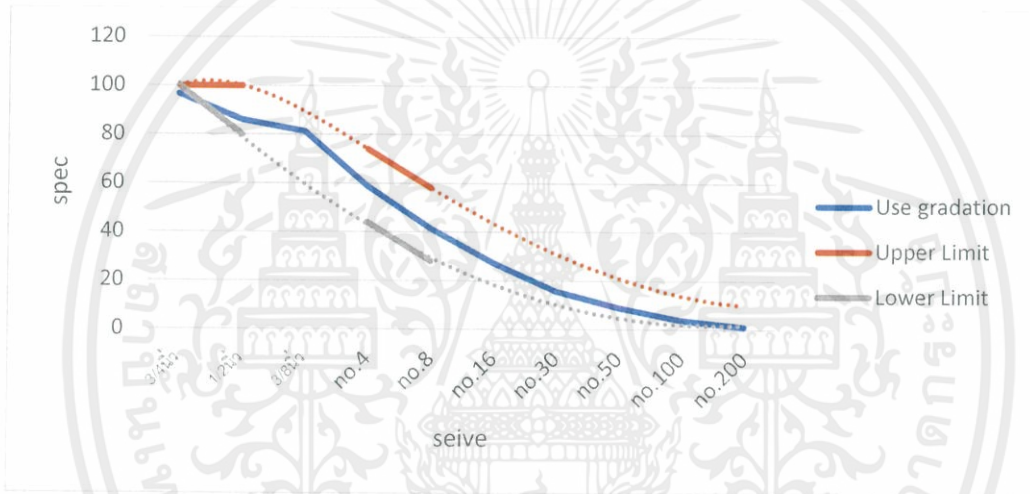
sieve	Percent Passing		
	หินA	หินB	หินC
3/4นิ้ว	84.46	100	100
1/2นิ้ว	36.08	100	100
3/8นิ้ว	14.38	99.69	100
No.4	1.26	24.21	94.82
No.8	1.26	6.86	64.91
No.16	1.26	3.41	42.18
No.30	1.245	2.52	26.55
No.50	1.191	1.82	14.79
No.100	1.066	0.86	6.04
No.200	0.689	0.07	1.52

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของมวลรวมที่ผ่านตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

seive	3/4นิ้ว	1/2นิ้ว	3/8นิ้ว	no.4	no.8	no.16	no.30	no.50	no.100	no.200
0.22A	18.58	7.94	3.16	316	3.16	3.16	0.274	0.26	0.23	0.15
0.215B	21.5	21.5	21.43	5.205	1.475	0.73	0.542	0.39	0.185	0.015
0.565C	56.5	56.5	56.5	53.57	36.67	2383	15	8.36	3.41	0.88
total	96.58	85.94	81.09	374.78	41.305	2386.9	15.816	9.01	3.825	1.045
spec	100	80-100		44-74	28-58			21-3		10-2

ตารางที่ 4.3 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้

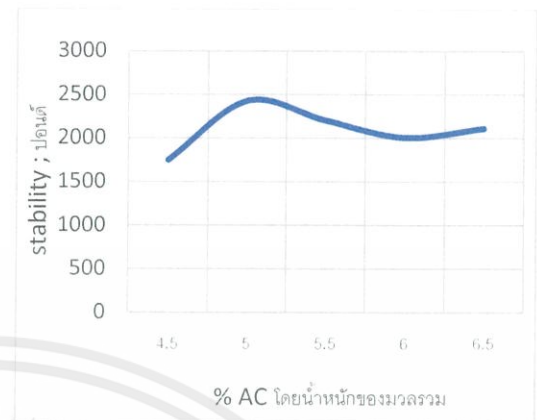
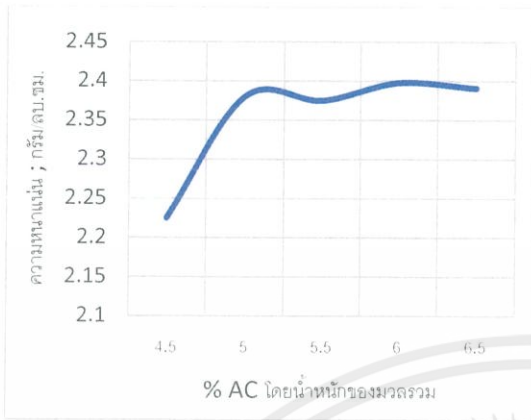


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของหินที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ต่างๆกับค่ามาตรฐาน

หิน A:B:C = 0.22:0.215:0.565

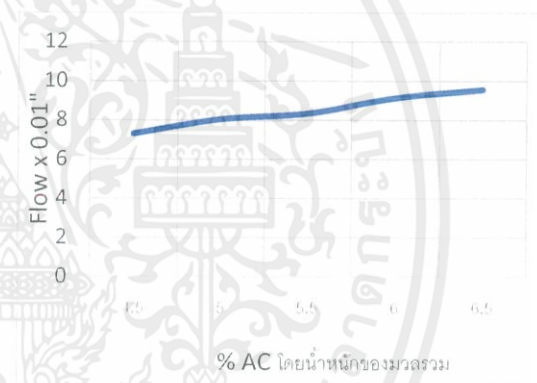
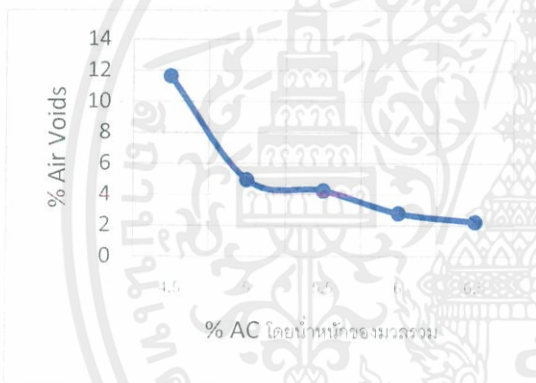
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหาปริมาณของแอสฟัลท์ที่เหมาะสมกับหินทั้ง3ขนาด



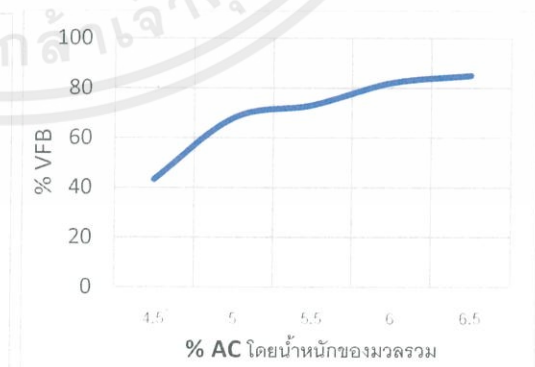
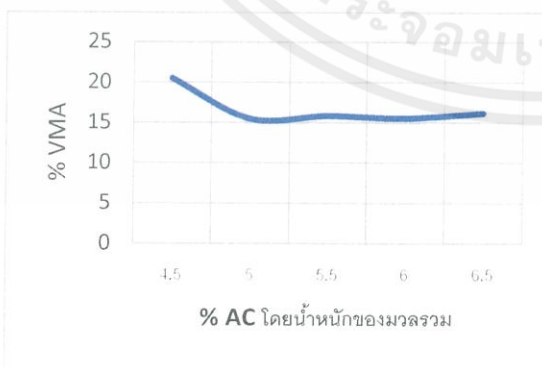
รูปที่4.2แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ACโดย น้ำหนักของมวลรวมกับ ความหนาแน่น

รูปที่4.3แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ACโดย น้ำหนักของมวลรวมกับ stability



รูปที่4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ACโดย น้ำหนักของมวลรวมกับ %Air voids

รูปที่4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ACโดย น้ำหนักของมวลรวมกับ Flow



รูปที่4.6แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ACโดย น้ำหนักของมวลรวมกับ %V.M.A

รูปที่4.7แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%ACโดย น้ำหนักของมวลรวมกับ %V.F.B

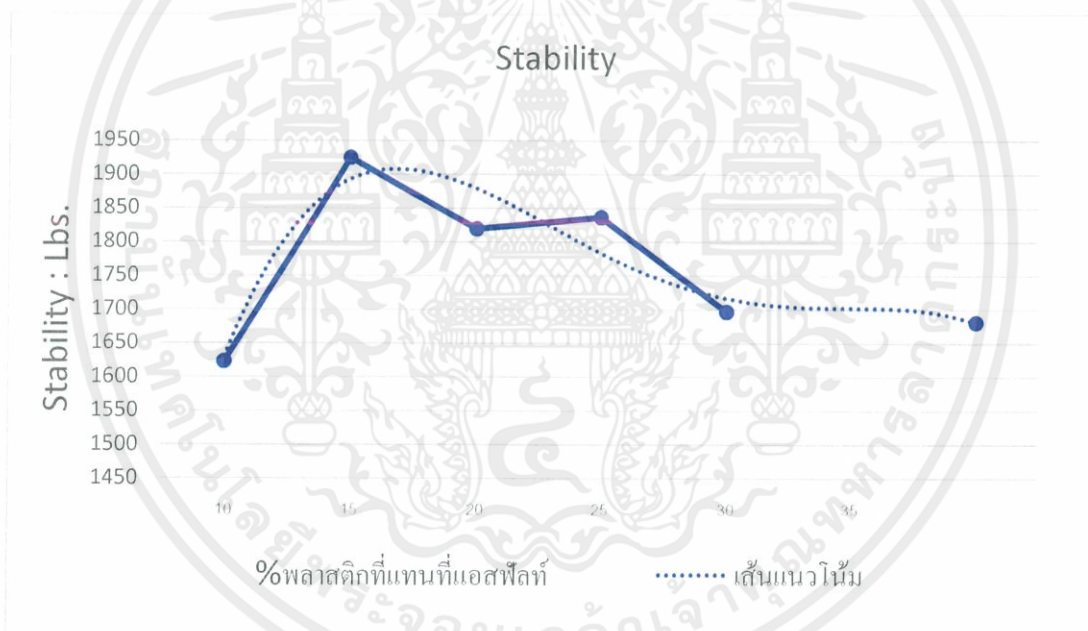
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2-4.7 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวงฯ ในประเภทถนนทางหลวงจะ  
ได้ว่าค่าเสถียรภาพมากกว่า 1600 IB, ค่ายุบตัว 8-16 mm., ความหนาแน่น 2.3-2.4 gm/cm<sup>3</sup>, ช่องว่าง  
อากาศ 3-5 %, ช่องอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่ 68-75 % และ ช่องว่างในวัสดุรวมรวม 15-16 %  
จากผลการทดลองค่าที่เหมาะสมที่สุดคือใช้แอสฟัลท์ 5.2% จะให้ค่าได้ตามมาตรฐานของกรมทาง  
หลวง

#### 4.4 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ผสมขยะถุงพลาสติก

##### ค่าเสถียรภาพ (stability)

จากการทดลองหาค่าเสถียรภาพของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก มีค่าเสถียรภาพ  
ดังแสดงในรูปที่ 4.8

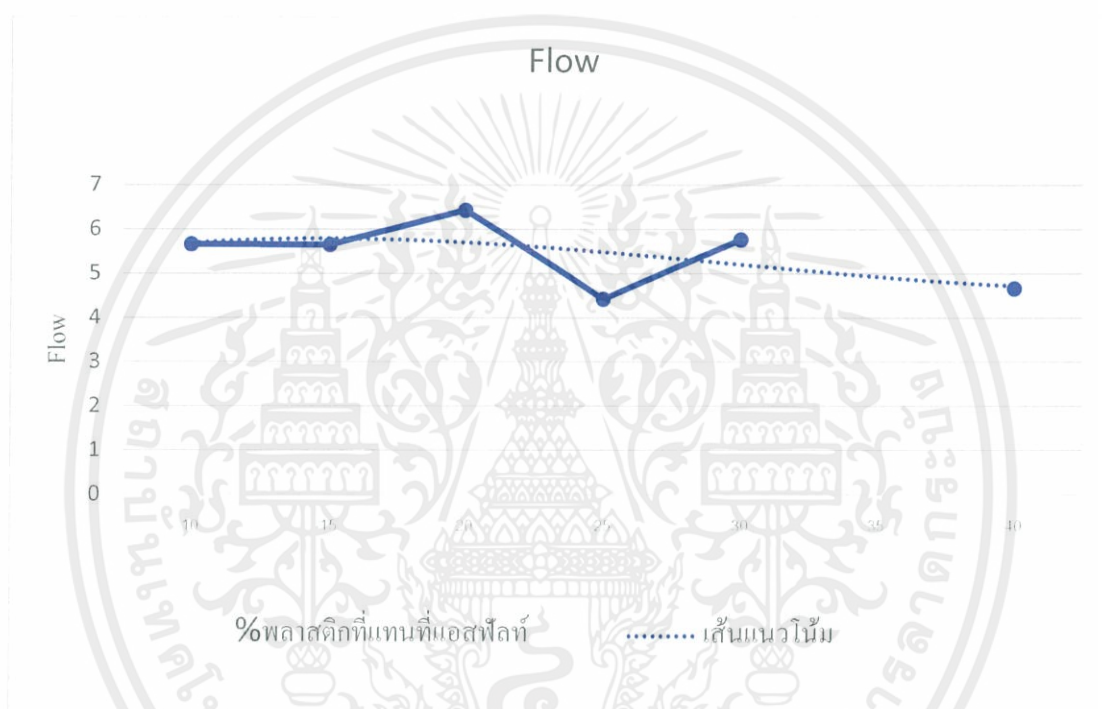


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์กับค่าstability

จากรูปจะเห็นว่าแนวโน้มของค่าเสถียรภาพจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่  
เพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ แล้วจะค่อยๆลดลงเมื่อปริมาณพลาสติกมากขึ้น ดังนั้น  
ปริมาณพลาสติกที่เข้าไปแทนที่แอสฟัลท์แล้วได้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุดคือ 17 เปอร์เซ็นต์ จึงได้ค่า  
เสถียรภาพเท่ากับ 1,971.43 Lbs.

## ค่าการยุบตัว (Flow)

จากการทดลองหาค่าการยุบตัวของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก มีค่าการยุบตัวดังแสดงในรูปที่ 4.9

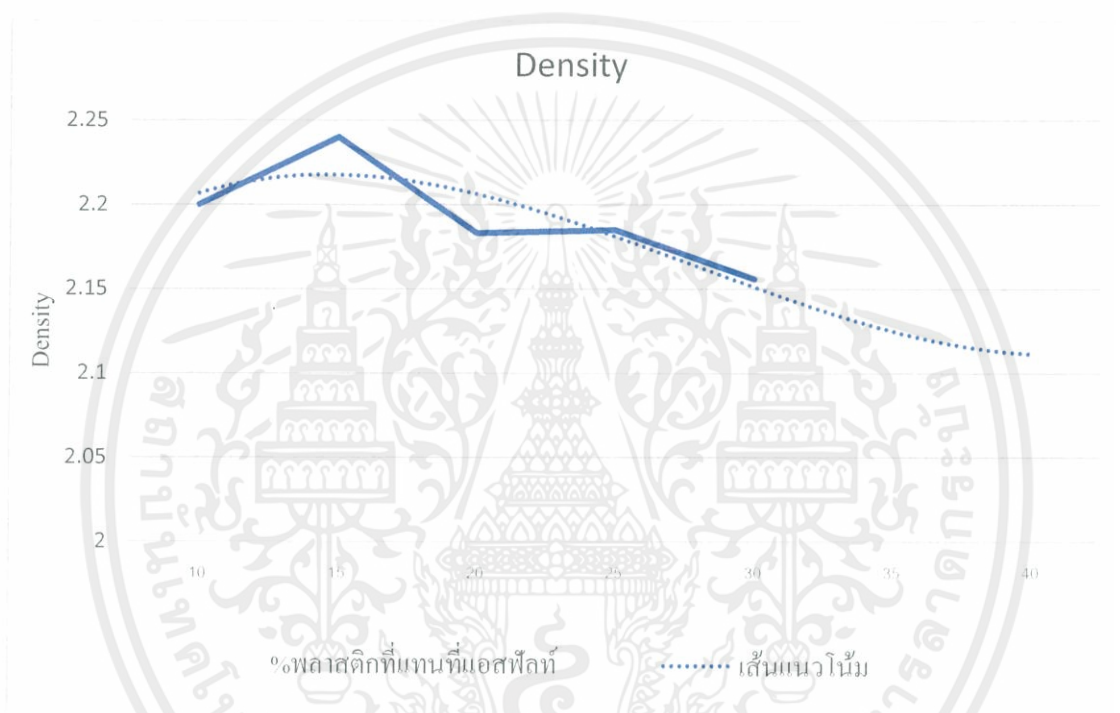


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%พลาสติกที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลท์กับค่า flow

จากรูปจะเห็นว่าแนวโน้มของค่าการยุบตัว(flow) ค่อยๆลดลงตามเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเปอร์เซ็นต์พลาสติกเพิ่มมากขึ้นทำให้แอสฟัลท์แข็งขึ้น ดังนั้น ค่าการยุบตัวของแอสฟัลท์คอนกรีตจึงลดลง

### ความหนาแน่น (Density)

จากการทดลองหาปริมาณช่องว่างอากาศของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก มีปริมาณช่องว่างอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.10

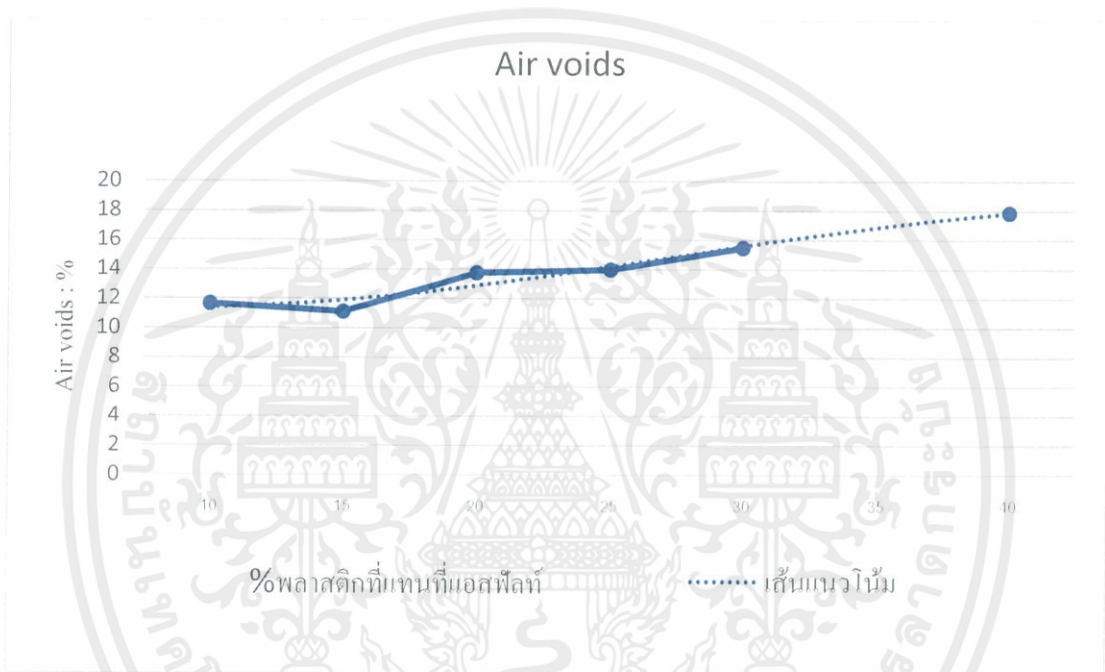


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง%พลาสติกที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลท์กับความหนาแน่น

จากรูปจะเห็นว่าแนวโน้มของความหนาแน่น ค่อยๆลดลงตามเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพลาสติกทำให้แอสฟัลท์แข็งขึ้นจึงทำให้การบดอัดเป็นไปได้อย่างยากเป็นผลให้ความหนาแน่นเนื่องจากการบดอัดลดลง ดังนั้นค่าความหนาแน่นของตัวอย่างจึงลดลง

### ปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Voids)

จากการทดลองหาปริมาณช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก มีปริมาณช่องว่างอากาศดังแสดงในรูปที่ 4.11

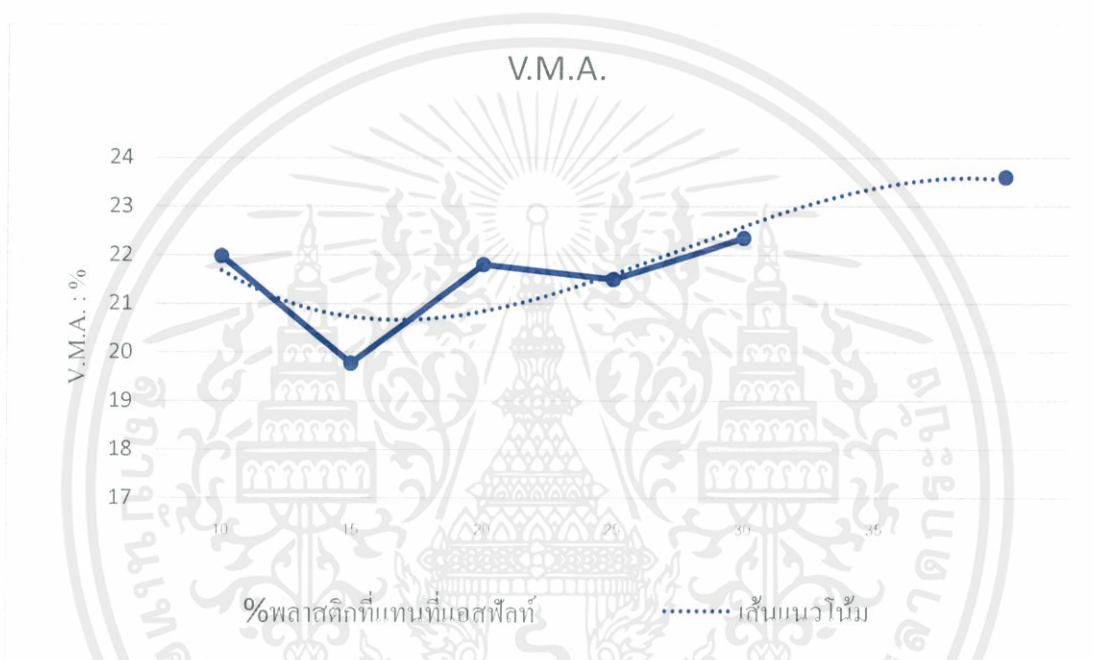


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์กับปริมาณช่องว่างอากาศ

จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณช่องว่างของอากาศในแอสฟัลต์คอนกรีตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณของพลาสติกที่มากขึ้น เนื่องจาก เมื่อปริมาณของถุงพลาสติก ปริมาณแอสฟัลท์น้อยลงทำให้ปริมาณช่องว่างของอากาศเพิ่มขึ้นด้วย

### ค่าช่องว่างในมวลรวม(V.M.A)

จากการทดลองหาค่าช่องว่างในมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก มีค่าช่องว่างในมวลรวมดังแสดงในรูปที่ 4.12

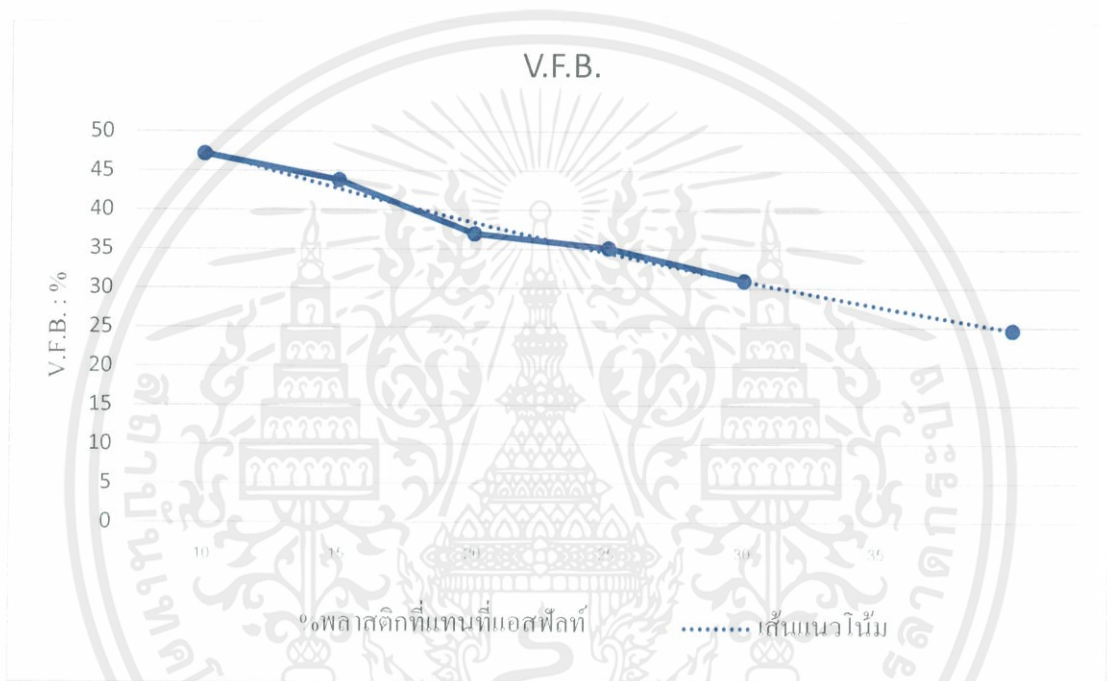


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลต์กับปริมาณช่องว่างในมวลรวม

จากรูปจะเห็นว่าค่าช่องว่างในมวลรวมมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆตามเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่เข้าไปแทนที่แอสฟัลต์ เนื่องจาก เมื่อปริมาณแอสฟัลต์น้อยลงทำให้เหลือช่องว่างสำหรับให้แอสฟัลต์เข้าไปแทนที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณช่องว่างอากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย

### ค่าช่องว่างอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่(V.F.B)

จากการทดลองหาค่าช่องว่างอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่ของแอสฟัลท์คอนกรีตผสมขยะ  
 ถุงพลาสติก มีค่าช่องว่างอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์พลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์กับปริมาณช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลท์

จากรูปจะเห็นว่า ปริมาณของช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลท์ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่แทนที่แอสฟัลท์เพิ่มขึ้น เนื่องจาก ปริมาณแอสฟัลท์ที่ลดลงทำให้มีจำนวนช่องว่างที่ถูกแอสฟัลท์แทนลดลงตามไปด้วย

## 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์

### การทดสอบหาค่าการทะลวง(Penetration Test)

เพื่อหาค่าความชื้นเหลวของแอสฟัลท์ผสมขยะพลาสติกที่อยู่ในสภาพของแข็งหรือกึ่งของแข็ง มีค่าความชื้นเหลวดังตารางที่ 4.4

SAMPLE NO.	Penetration (mm)			Average penetration (mm)	Most Different Penetration (mm)	Penetration Grade
	1 <sup>st</sup> pen	2 <sup>nd</sup> pen	3 <sup>rd</sup> pen			
1	5.34	4.07	3.51	4.31	1.83	45
2	3.38	4.28	4.94	4.2	1.56	39
3	4.44	5.62	3.41	4.49	2.21	56.87

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง

### การทดสอบหาค่าการยืดตัว(Ductility Test)

เพื่อหาค่าการยืดตัว ซึ่งเป็นระยะทางที่วัสดุแอสฟัลท์ผสมขยะพลาสติกถูกดึงเป็นเส้นก่อนที่จะขาดโดยที่ปลายทั้ง 2 ของแอสฟัลท์ยึดอยู่กับแบบมาตรฐาน มีค่าการยืดตัวดังตารางที่ 4.5

SAMPLE NO.	Ducticity(cm.)			Average ducticity(cm.)
	1	2	3	
1	4.35	5.10	4.15	4.53

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาค่าการยืดตัว

### การทดสอบหาจุดอ่อนตัว(Softening Point Test)

หาจุดอ่อนตัวของแอสฟัลท์ผสมขยะพลาสติก มีค่าดังตารางที่ 4.6

TEST NO.	1	2
Softening point (°C)	100+	100+
Average softening point (°C)	เกินความสามารถในการรับของ เครื่องมือ (ยางปกติอยู่ที่ประมาณ 50-60 °C)	

ตารางที่ 4.6 ผลการหาค่าจุดอ่อนตัว



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

งานวิจัยเล่มนี้เป็นการศึกษาและทดสอบหาคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีตโดยวิธี Marshall Test ซึ่งจะได้ค่าเสถียรภาพ ค่าการยุบตัว ค่าช่องว่างอากาศ ค่าความหนาแน่น ค่าช่องว่างในวัสดุมวลรวม ค่าช่องว่างอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่ โดยนำขยะถุงพลาสติกไปแทนที่ยางมะตอย 10% ,15% ,20% , 25% , 30% และ 40% โดยปริมาตร เนื่องจากที่ 40% ผิวของก้อนตัวอย่างเริ่มมีมวลรวมหลุดออกมาและเมื่อนำตัวอย่างไปต้มในน้ำมีบางตัวอย่างไม่จับตัวกันเป็นก้อนอีกทั้งจากงานวิจัยอื่นๆที่ศึกษามากล่าว่า เมื่อแทนที่แอสฟัลท์ด้วยถุงพลาสติก 30% จะขึ้นรูปไม่ได้ ดังนั้นจึงหยุดการผสมพลาสติกไว้ที่ 40% และนำแอสฟัลท์ที่ผสมพลาสติกของตัวอย่างที่ให้ค่า stability สูงที่สุดไปทดสอบคุณสมบัติของน้ำยางที่ผสมพลาสติก คือ ทดสอบหาค่าการทะลวง ทดสอบหาค่าการยึดตัวและทดสอบหาจุดอ่อนตัว

การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ผสมพลาสติก 17% พบว่า มีค่าการทะลวงน้อยกว่าแอสฟัลท์ที่ไม่มีผสมพลาสติก ค่าการยึดตัวน้อยกว่าแอสฟัลท์ที่ไม่มีพลาสติกผสมและอุณหภูมิของจุดอ่อนตัวมากกว่าแอสฟัลท์ที่ไม่มีผสมพลาสติก เนื่องจาก แอสฟัลท์ที่ผสมพลาสติกมีความเหนียวและความแข็งมากขึ้น

จากการทดสอบจะเห็นว่าค่าการยุบตัวลดลงน้อยกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจาก พลาสติกทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตมีความแข็งมากขึ้น จำนวนช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้นน้อยกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจากปริมาณแอสฟัลท์น้อยลง ทำให้น้ำและอากาศเข้าไปทำลายแอสฟัลท์และการยึดเกาะระหว่างมวลรวมได้ง่าย จำนวนช่องว่างระหว่างมวลรวมที่เพิ่มขึ้นมากกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจากปริมาณแอสฟัลท์ลดลง ทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตมีความคงท่ามากขึ้น จำนวนช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลท์ลดลงน้อยกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจากปริมาณแอสฟัลท์ลดลง ทำให้ค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมและค่าช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้น แอสฟัลท์คอนกรีตที่มีการนำถุงพลาสติกไปแทนที่แอสฟัลท์จะมีความแข็งแรงมากขึ้น มีความคงทนมากขึ้นแต่จะมีช่องว่างให้น้ำและอากาศเข้าไปในแอสฟัลท์คอนกรีตมากขึ้น

## 5.2 ปัญหาที่พบ

1. ในขั้นตอนการผสมแอสฟัลท์กับหินและถุงพลาสติกไม่มีเครื่องผสม ผู้ทดสอบจึงต้องผสมด้วยตัวเองอาจทำให้การผสมกันของแอสฟัลท์กับหินและถุงพลาสติกไม่ดีเท่าที่ควรทำให้ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบคลาดเคลื่อน
2. ในขั้นตอนการใส่แอสฟัลท์คอนกรีตลงในโมล ถ้ามวลรวมขนาดใหญ่อยู่บริเวณผิวของตัวอย่าง จะทำให้ผิวของตัวอย่างไม่เกาะกันดีเท่าที่ควรและค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบจะแตกต่างกัน
3. ในขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ที่ผสมกับถุงพลาสติกนั้นทำได้ยากเนื่องจากเมื่อผสมถุงพลาสติกลงไปทำให้แอสฟัลท์มีความแข็งมากขึ้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการใส่แอสฟัลท์คอนกรีตที่ผ่านการผสมแล้วลงในโมล ควรใส่ให้มวลรวมขนาดใหญ่อยู่บริเวณกลางตัวอย่างให้มวลรวมขนาดเล็กอยู่รอบๆ จะทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น
2. จากการทดสอบจะเห็นว่าทุกๆตัวอย่างมีค่าเสถียรภาพผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวงฯ และแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีการนำถุงพลาสติกไปแทนที่แอสฟัลท์จะมีความแข็งแรงมากขึ้น มีความคงทนมากขึ้น แต่จะมีช่องว่างให้น้ำและอากาศเข้าไปในแอสฟัลท์คอนกรีตมากขึ้น ดังนั้น ถนนยุบตัวหรือเป็นร่องล่อได้ง่ายถ้าต้องรับน้ำหนักมากๆ ดังนั้นจึงควรนำไปใช้ทำถนนที่รับน้ำหนักและมีการจราจรหนาแน่นน้อยกว่าถนนทางหลวง เช่น ถนนในซอย ทางสำหรับจักรยาน หรือใช้ในการทำพื้นที่อยู่ในร่ม
3. สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้โดยนำพลาสติกไปแทนที่แอสฟัลท์ในปริมาณที่มากขึ้นหรือใส่สารผสมอื่นๆเพื่อให้ค่าต่างๆที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวงฯ เป็นไปตามมาตรฐานหรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากขึ้น

## บรรณานุกรม

จรีพัตร บุญชุ่ม & วชิรินทร์ วิทยกุล. (2545). การศึกษาคุณสมบัติของโม่ดีฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยรีไซเคิลโพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Yash Menaria & Rupal Sankhla. (2559). *Use of Waste Plastic in Flexible Pavements-Green Roads*. India: Poornima Institute of Engineering and Technology

เวชสวรรค์ หล้าภาส & วรจิตต์ เศรษฐพรรค & ไกรสร ลักขณศิริ. (2545). กระบวนการสร้างถนนแอสฟัลติกคอนกรีตเพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกในชุมชน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Nurul Asyiqin Binti Ahmad & Ramadhansyah Putra jaya. (2558). *The Use of Plastic Waste in Bituminous Mixture for the Road Pavement*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia

Mohammad T.Awwad & Lina Shbeeb. (2552). *The Use of Polyethylene in Hot Asphalt Mixtures*. *American Journal of Applied Sciences*

M.B. Dalen & S.D. Mador & J.S. Oyewola. (2540). *Utilization of Plastic Wastes in Asphalt Design for Road Construction*. Nigeria: Department of Pure and Industrial Chemistry

# ภาคผนวก



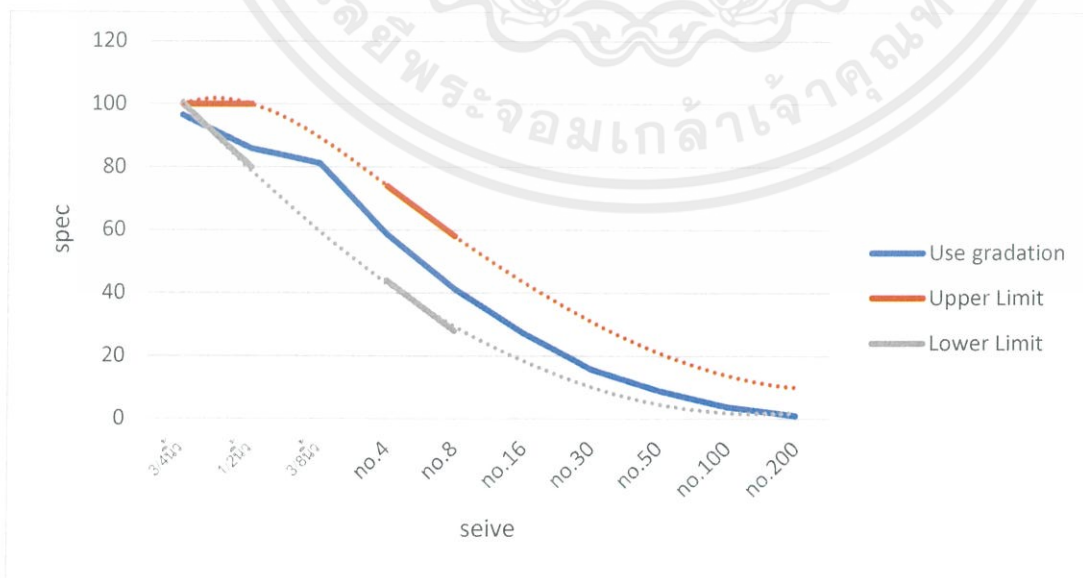
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Percent Passing

sieve	หินA	หินB	หินC
3/4นิ้ว	84.46	100	100
1/2นิ้ว	36.08	100	100
3/8นิ้ว	14.38	99.69	100
No.4	1.26	24.21	94.82
No.8	1.26	6.86	64.91
No.16	1.26	3.41	42.18
No.30	1.245	2.52	26.55
No.50	1.191	1.82	14.79
No.100	1.066	0.86	6.04
No.200	0.689	0.07	1.52

A = 0.22 B = 0.215 C = 0.565

seive	3/4นิ้ว	1/2นิ้ว	3/8นิ้ว	no.4	no.8	no.16	no.30	no.50	no.100	no.200
0.22A	18.58	7.94	3.16	316	3.16	3.16	0.274	0.26	0.23	0.15
0.215B	21.5	21.5	21.43	5.205	1.475	0.73	0.542	0.39	0.185	0.015
0.565C	56.5	56.5	56.5	53.57	36.67	2383	15	8.36	3.41	0.88
total	96.58	85.94	81.09	374.78	41.305	2386.9	15.816	9.01	3.825	1.045
spec	100	80-100		44-74	28-58			21-05		10-02



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

Pen.Grade AC 60-70

Compaction, number of blows each end = 50

Sp.Gr.Ac(Gac) = 1.02

Avg.Sp.Gr.Agg and filler (Gag) = 2.679

Bitumen Absorption = 0.25%

No. of Sample		1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Wgt.of Agg		4.5			5			5.5		
%AC by Wgt.of Mix		4.31			4.76			5.21		
%Eff.AC by Wgt. Of mix		4.07			4.52			4.97		
Spec.Hgt. (MOLD)	In	4'	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY										
Wt. in air	gm	1231.8	1229.6	1223.8	1230.2	1240.1	1242.6	1249.4	1243.4	1241.8
Wt. sat. surface dry	Gm	1252.2	1255	1247.4	1239.4	1244.4	1247.2	1255.4	1249.2	1247.6
Wt. in water	gm	709	703	697	719	725	725	729	727	726
Bulk Volume	ml	543.2	552	550.4	520.4	519.4	522.2	526.4	522.2	521.6
Bulk Density	gm/ml	2.2677	2.2275	2.2235	2.364	2.3876	2.3795	2.3735	2.3811	2.3808
AVERAGE DENSITY		2.240			2.377			2.378		
VOIDS ANALYSIS										
Volume AC % Total		8.938			10.538			11.596		
Volume Agg % Total		79.994			84.504			84.155		
VMA %		20.006			15.496			15.845		
Air Voids %		11.068			4.958			4.249		
VFB %		44.676			68.006			73.186		
STABILITY										
Meas.	Lbs	2154.3	1832.5	2489.7	2744.4	3037.8	3204.4	2591.1	2899.7	2666.7
Adjust	Lbs	1745	1484.3	2016.7	2223	2460.6	2595.6	2098.8	2348.8	2160
AVERAGE STABILITY		1748.66			2426.38			2202.53		
FLOWS										
MEAS.	1/100"	6.805	7.477	7.649	7.965	7.505	8.645	8.764	8.875	7.39
AVERAGE FLOWS		7.31			8.04			8.34		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

Pen.Grade AC 60-70

Compaction, number of blows each end = 50

Sp.Gr.Ac(Gac) = 1.02

Avg.Sp.Gr.Agg and filler (Gag) = 2.679

Bitumen Absorption = 0.25%

No. of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Wgt.of Agg	6			6.5					
%AC by Wgt.of Mix	5.66			6.1					
%Eff.AC by Wgt. Of mix	5.42			5.87					
Spec.Hgt. (MOLD) In	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY									
Wt. in air gm	1252.4	1251.8	1249.2	1258.4	1254	1257.4			
Wt. sat. surface dry Gm	1256.1	1255	1253.9	1261.6	1258.6	1259.2			
Wt. in water gm	734	733	733	736	732	735			
Bulk Volume ml	522.1	522	520.9	525.6	526.6	524.2			
Bulk Density gm/ml	2.3988	2.3981	2.3982	2.3942	2.3813	2.3987			
AVERAGE DENSITY	2.398			2.391					
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC % Total	12.754			13.751					
Volume Agg % Total	84.457			83.820					
VMA %	15.543			16.180					
Air Voids %	2.790			2.429					
VFB %	82.053			84.988					
STABILITY									
Meas. Lbs	2665.2	2464.4	2305.6	2245.3	2960.6	2612.5			
Adjust Lbs	2158.8	1996.2	1867.6	1818.7	2398.1	2116.1			
AVERAGE STABILITY	2007.51			2110.97					
FLOWS									
MEAS. 1/100"	8.851	9.312	9.228	9.318	10.077	9.264			
AVERAGE FLOWS	9.13			9.55					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

Compaction, number of blows each end = 50

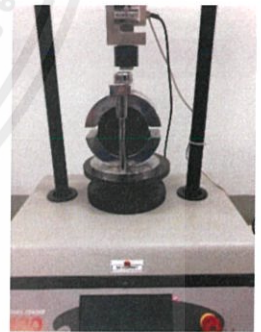
Avg.Sp.Gr.Agg and filler (Gag) = 2.679 Bitumen Absorption = 0.25%

Pen.Grade AC 60-70

Sp.Gr.Ac(Gac) = 1.02

%Plastic bag = 10

No. of Sample	1	2	3	4	5
% AC by Wgt.of Agg	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
% AC by Wgt.of Mix	5.04	5.03	5.01	5.01	5.05
%Eff. AC by Wgt. Of Mix	4.80	4.79	4.77	4.78	4.81
Spec.Hgt. (MOLD) In	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY					
Wt. in air gm	1239	1241.6	1246.6	1244.6	1236.6
Wt. sat. surface dry Gm	1253	1256	1255.8	1251	1243
Wt. in water gm	686	677	689	694	691
Bulk Volume ml	567	579	566.8	557	552
Bulk Density gm/ml	2.19	2.14	2.20	2.23	2.24
AVERAGE DENSITY		2.2007			
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	10.28	10.07	10.28	10.46	10.56
Volume Agg % Total	77.46	76.02	77.99	79.23	79.40
VMA %	22.54	23.98	22.01	20.77	20.60
AVERAGE VMA		21.98			
Air Voids %	12.26	13.91	11.73	10.31	10.04
AVERAGE Air Voids		11.65			
VFB %	45.61	41.98	46.71	50.36	51.27
AVERAGE VFB		47.19			
STABILITY					
Meas. Lbs	1782.4	1817.8	2111.9	2024.5	2287
Adjust Lbs	1443.7	1472.4	1710.6	1639.9	1852.5
AVERAGE STABILITY		1623.8345			
FLOWS					
MEAS. 1/100"	5.987	6.347	5.54	5.955	4.489
AVERAGE FLOWS		5.6636			



เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่าง สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

Pen.Grade AC 60-70

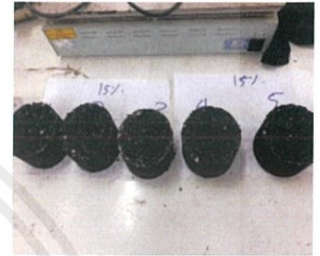
Compaction, number of blows each end = 50

Sp.Gr.Ac(Gac) = 1.02

Avg.Sp.Gr.Agg and filler (Gag) = 2.679 Bitumen Absorption = 0.25%

%Plastic bag = 15

No. of Sample	1	2	3	4	5
% AC by Wgt.of Agg	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34
% AC by Wgt.of Mix	4.18	4.17	4.17	4.18	4.18
%Eff. AC by Wgt. Of Mix	3.94	3.93	3.93	3.94	3.94
Spec.Hgt. (MOLD) In	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY					
Wt. in air gm	1246	1249.2	1249.2	1244.8	1247.4
Wt. sat. surface dry Gm	1252.2	1252	1253	1251	1254.2
Wt. in water gm	698	699	698	692	695
Bulk Volume ml	554.2	553	555	559	559.2
Bulk Density gm/ml	2.25	2.26	2.25	2.23	2.23
AVERAGE DENSITY		2.2431			
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	8.69	8.70	8.67	8.61	8.61
Volume Agg % Total	80.41	80.81	80.51	79.64	79.79
VMA %	19.59	19.19	19.49	20.36	20.21
AVERAGE VMA		19.77			
Air Voids %	10.90	10.49	10.81	11.74	11.60
AVERAGE Air Voids		11.11			
VFB %	44.34	45.34	44.50	42.30	42.59
AVERAGE VFB		43.81			
STABILITY					
Meas. Lbs	1971.3	2703.9	2384.8	2345.1	2475.9
Adjust Lbs	1596.8	2190.2	1931.6	1899.5	2005.5
AVERAGE STABILITY		1924.7220			
FLOWS					
MEAS. 1/100"	3.585	5.243	3.881	4.447	5.431
AVERAGE FLOWS		5.6468			



### ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

Pen.Grade AC 60-70

Compaction, number of blows each end = 50

Sp.Gr.Ac(Gac) = 1.02

Avg.Sp.Gr.Agg and filler (Gag) = 2.679 Bitumen Absorption = 0.25%

%Plastic bag = 20

No. of Sample	1	2	3	4	5
% AC by Wgt.of Agg	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16
% AC by Wgt.of Mix	4.01	4.02	3.99	3.99	4.01
%Eff. AC by Wgt. Of Mix	3.77	3.78	3.75	3.75	3.77
Spec.Hgt. (MOLD) In	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY					
Wt. in air gm	1244.8	1242.4	1251.2	1252.2	1246.2
Wt. sat. surface dry Gm	1248	1254	1264.4	1265	1257.6
Wt. in water gm	685	680	690	689	687
Bulk Volume ml	563	574	574.4	576	570.6
Bulk Density gm/ml	2.21	2.16	2.18	2.17	2.18
AVERAGE DENSITY	2.1823				
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	8.17	8.02	8.01	7.99	8.06
Volume Agg % Total	79.22	77.55	78.07	77.91	78.26
VMA %	20.78	22.45	21.93	22.09	21.74
AVERAGE VMA	21.80				
Air Voids %	12.61	14.44	13.93	14.10	13.68
AVERAGE Air Voids	13.75				
VFB %	39.33	35.71	36.51	36.15	37.09
AVERAGE VFB	36.96				
STABILITY					
Meas. Lbs	2776.1	2362.9	1982.2	2265.7	1846.6
Adjust Lbs	2248.6	1913.9	1605.6	1835.2	1495.7
AVERAGE STABILITY	1819.8254				
FLOWS					
MEAS. 1/100"	6.488	6.302	6.078	6.606	6.687
AVERAGE FLOWS	6.4322				



### ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

Pen.Grade AC 60-70

Compaction, number of blows each end = 50

Sp.Gr.Ac(Gac) = 1.02

Avg.Sp.Gr.Agg and filler (Gag) = 2.679 Bitumen Absorption = 0.25%

%Plastic bag = 25

No. of Sample	1	2	3	4	5
% AC by Wgt.of Agg	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
% AC by Wgt.of Mix	3.75	3.75	3.74	3.76	3.76
%Eff. AC by Wgt. Of Mix	3.51	3.51	3.50	3.52	3.52
Spec.Hgt. (MOLD) In	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY					
Wt. in air gm	1248.8	1248.4	1252.2	1245.4	1245.6
Wt. sat. surface dry Gm	1253.2	1256.4	1258.8	1258.2	1254
Wt. in water gm	683	684	693	672	692
Bulk Volume ml	570.2	572.4	565.8	586.2	562
Bulk Density gm/ml	2.19	2.18	2.21	2.12	2.22
AVERAGE DENSITY			2.1850		
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	7.53	7.50	7.59	7.33	7.64
Volume Agg % Total	78.69	78.36	79.52	76.32	79.62
VMA %	21.31	21.64	20.48	23.68	20.38
AVERAGE VMA			21.50		
Air Voids %	13.78	14.14	12.89	16.35	12.74
AVERAGE Air Voids			13.98		
VFB %	35.33	34.66	37.05	30.94	37.50
AVERAGE VFB			35.10		
STABILITY					
Meas. Lbs	2489.1	2085.2	2690.4	1351.9	2719.1
Adjust Lbs	2016.1	1689.0	2179.2	1095.1	2202.5
AVERAGE STABILITY			1836.3737		
FLOWS					
MEAS. 1/100"	4.115	4.659	3.966	4.892	4.431
AVERAGE FLOWS			4.4126		



### ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

Compaction, number of blows each end = 50

Avg.Sp.Gr.Agg and filler (G<sub>ag</sub>) = 2.679 Bitumen Absorption = 0.25%

Pen.Grade AC 60-70

Sp.Gr.Ac(G<sub>ac</sub>) = 1.02

%Plastic bag = 30

No. of Sample	1	2	3	4	5
% AC by Wgt.of Agg	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64
% AC by Wgt.of Mix	3.51	3.53	3.50	3.51	3.48
%Eff. AC by Wgt. Of Mix	3.27	3.29	3.26	3.27	3.24
Spec.Hgt. (MOLD) In	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY					
Wt. in air gm	1245.2	1238.2	1248.6	1244.8	1253.6
Wt. sat. surface dry Gm	1259.8	1254.4	1265.5	1248.4	1263.2
Wt. in water gm	682	675	684	684	676
Bulk Volume ml	577.8	579.4	581.5	564.4	587.2
Bulk Density gm/ml	2.16	2.14	2.15	2.21	2.13
AVERAGE DENSITY		2.1559			
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	6.90	6.89	6.86	7.07	6.79
Volume Agg % Total	77.62	76.96	77.35	79.44	76.91
VMA %	22.38	23.04	22.65	20.56	23.09
AVERAGE VMA		22.35			
Air Voids %	15.48	16.16	15.80	13.50	16.30
AVERAGE Air Voids		15.45			
VFB %	30.84	29.88	30.27	34.36	29.40
AVERAGE VFB		30.95			
STABILITY					
Meas. Lbs	2243	1749.2	1855.3	2993	1633
Adjust Lbs	1816.8	1416.9	1502.8	2424.3	1322.7
AVERAGE STABILITY		1696.6989			
FLOWS					
MEAS. 1/100"	6.882	6.101	6.468	4.264	5.067
AVERAGE FLOWS		5.7564			



### ASPHALT CONCRETE DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

Mix Proportion HOT BIN I:II:III = 22 : 21.5 : 56.5 (By Weight)

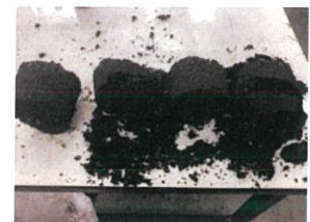
Compaction, number of blows each end = 50

Avg.Sp.Gr.Agg and filler (Gag) = 2.679 Bitumen Absorption = 0.25%

Pen.Grade AC 60-70

Sp.Gr.Ac(Gac) = 1.02

%Plastic bag = 40



No. of Sample	1	2	3	4	5
% AC by Wgt.of Agg	3.12	3.12	3.12	3.12	3.12
% AC by Wgt.of Mix	3.05	3.01	3.00	3.00	3.00
%Eff. AC by Wgt. Of Mix	2.80	2.77	2.75	2.76	2.76
Spec.Hgt. (MOLD) In	4"	4"	4"	4"	4"
DENSITY					
Wt. in air gm	1228.8	1244.8	1249.4	1246.6	1246.6
Wt. sat. surface dry Gm	1249.4	1250.1	1255.4	1249.4	1253.4
Wt. in water gm	627	678	661	666	677
Bulk Volume ml	622.4	572.1	594.4	583.4	576.4
Bulk Density gm/ml	1.97	2.18	2.10	2.14	2.16
AVERAGE DENSITY		2.1103			
VOIDS ANALYSIS					
Volume AC % Total	5.43	5.90	5.68	5.78	5.85
Volume Agg % Total	71.45	78.78	76.11	77.37	78.30
VMA %	28.55	21.22	23.89	22.63	21.70
AVERAGE VMA		23.60			
Air Voids %	23.12	15.33	18.22	16.85	15.84
AVERAGE Air Voids		17.87			
VFB %	19.01	27.79	23.76	25.55	26.98
AVERAGE VFB		24.62			
STABILITY					
Meas. Lbs	0	1554	3410.4	2209.3	3204
Adjust Lbs	0.0	1258.7	2762.4	1789.5	2595.2
AVERAGE STABILITY		1681.1825			
FLOWS					
MEAS. 1/100"	0	4.985	5.025	4.607	4.02
AVERAGE FLOWS		4.6593			

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PENETRATION TEST

SAMPLE NO.	Penetration (mm)			Average penetration (mm)	Most Different Penetration (mm)	Penetration Grade
	1 <sup>st</sup> pen	2 <sup>nd</sup> pen	3 <sup>rd</sup> pen			
1	5.34	4.07	3.51	4.31	1.83	45
2	3.38	4.28	4.94	4.2	1.56	39
3	4.44	5.62	3.41	4.49	2.21	56.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

DUCTICITY TEST

SAMPLE NO.	Ducticity(cm.)			Average ducticity(cm.)
	1	2	3	
1	4.35	5.10	4.15	4.53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASPHALT CONCRETE TESTING LABORATORY  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

SOFTENING POINT TEST

TEST NO.	1	2
Softening point (°C)	100+	100+
Average softening point (°C)	เกินความสามารถในการรับของ เครื่องมือ (ยางปกติอยู่ที่ประมาณ 50-60 °C)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้