

## การออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย Porous Asphalt Pavement Design Using Material Available in Thailand

วรุต รัศมีกอบกุล<sup>1</sup>, ทนงศักดิ์ อิ่มใจ<sup>1</sup>, ถาวร ตะไก่แก้ว<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

<sup>2</sup>สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

E-mail : zeed\_beer018@hotmail.com, imjaijever@hotmail.com, thaworn7789@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอความเป็นไปได้ในการนำวัสดุมวลรวมในการศึกษานี้ใช้หินปูนและแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารผสมเพิ่ม Tafpack-Super (TPS) นำมาออกแบบส่วนผสมผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ตามมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์กรมทางหลวงที่ ทล.-ท .414/2542 [4] และมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น [1] ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ แบ่งกลุ่มวัสดุมวลรวมเพื่อหาขนาดคละและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมแล้วนำวัสดุมวลรวมมาผสมกับยางแอสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อเตรียมตัวอย่าง โดยให้พลังงานในการบดอัดก้อนตัวอย่างด้านละ 50 ครั้ง ตามวิธีมาร์แชล มาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท 604/2517 ของกรมทางหลวง [5] จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม เพื่อหาค่าความหนาแน่น, ค่าช่องว่างอากาศ, ค่าความต่อเนื่องช่องว่างอากาศ, ค่าเสถียรภาพก้อนตัวอย่าง, ค่าการไหล, ค่าความคงทนต่อการขัดสีของก้อนตัวอย่าง และค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อในห้องปฏิบัติการประเทศญี่ปุ่น

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าวัสดุมวลรวมหินปูนและแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารผสมเพิ่ม Tafpack-Super (TPS) 12% สามารถนำมาใช้ออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ได้ ตามที่มาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์กรมทางหลวงและมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่นกำหนดไว้

**คำสำคัญ:** พอร์สแอสฟัลต์, ค่าช่องว่างอากาศ, ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม, ค่าความคงทนต่อการขัดสีของก้อนตัวอย่าง, ค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อ

### Abstract

This research presented the feasibility study of bringing limestone aggregate and asphalt concrete AC 60/70 improved by Tafpack-Super (TPS) in order to generate porous asphalt mixture with the standard experimental porous asphalt methods of the Department of highways 414/2542 [4] and standard experimental methods porous asphalt, Japan [1]. The first experimental step was the finding of aggregate and Optimum asphalt cement proportion. Then, aggregate and asphalt cement were mixed for preparing samples by using power in a compact samples 50 times on each side using the standard experimental methods Mashall 604/2517 of the Department of Highways [5]. After that, the specimen properties were tested to determine density, air void, connected air void, stability, flow, Cantabro abrasion and Dynamic stability in the laboratory, Japan.

The experiments were operated in laboratory. The aggregates were limestone and asphalt cement AC 60/70 to improve quality by Tafpack-Super (TPS) of 12% can be used to design porous asphalt pavement with the standard methods of Department of highways and the porous asphalt standard of Japan.

**Keywords:** Porous asphalt, Air Void, Optimum Asphalt Content ,Cantabro Abrasion, Dynamic stability

## 1. บทนำ

จากสภาพอากาศปัจจุบันของประเทศไทย พบว่าในหลายพื้นที่เกิดสภาวะฝนตกหนักมีปริมาณน้ำท่วมขังบนผิวจราจรเป็นอย่างมาก น้ำระบายไม่ทันส่งผลกระทบต่อประชาชนผู้สัญจรไปมาบนท้องถนน จึงเป็นที่มาของการศึกษาการออกแบบส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์ชนิดต่างๆ ที่จะช่วยบรรเทาความเดือดร้อนให้กับประชาชน ท่ามกลางวรรณกรรมข้อมูลการออกแบบผิวทางชนิดต่างๆ ที่ได้ศึกษามา พบว่า ผิวทางพอร์สแอสฟัลต์มีความน่าสนใจมากที่สุด เนื่องจากผิวทางมีลักษณะผิวหน้าหยาบมีความพรุนสูง ในส่วนผสมมีปริมาณช่องว่างอากาศถึง 20 เปอร์เซ็นต์ทำให้สามารถระบายน้ำลงสู่ผิวถนนได้ทันทีเมื่อฝนตก [2] ช่วยลดปัญหาน้ำขัง (Hydroplaning) ลดการสาดกระเด็นของละอองน้ำในระหว่างขับขี่ (Reduce water splash & spray) ลดการสะท้อนของแสงไฟ ทำให้ทัศนวิสัยในการขับขี่ดีขึ้น [3] และยังช่วยต้านทานการเกิดร่องล้อได้อีกด้วย

### 1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อศึกษาคูณสมบัติวัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย และยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60/70 ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารผสมเพิ่ม Tafpack-Super (TPS) เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ก่อนนำมาออกแบบส่วนผสมผิวทางพอร์สแอสฟัลต์

1.1.2 เพื่อศึกษาคูณสมบัติวิศวกรรมทางด้านเทคนิค ของก้อนตัวอย่างส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์กรมทางหลวงและมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น

1.1.3 เพื่อศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการนำผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์ มาใช้กับโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงอย่างเป็นรูปธรรม

### 1.2 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตการศึกษางานวิจัยมีดังนี้

1.2.1 วัสดุมวลรวมและยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่จะนำมาทดสอบและผลิตเป็นก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ มีรายละเอียดดังนี้

- วัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ในการศึกษา คือ หินปูน (Limestone) จากโรงโม่หินมิตรเจริญ จังหวัดกาญจนบุรี ที่มีคุณสมบัติและขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ทล.-ม.414/2542 กรมทางหลวง โดยการศึกษาในครั้งนี้ใช้มวลรวมขนาด 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ในการออกแบบ

- วัสดุผสมแทรกที่นำมาใช้ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate)

- ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมสารผสมเพิ่ม Tafpack-Super (TPS)

1.2.2 ออกแบบและทดสอบคุณสมบัติต่างๆของส่วนผสมรวมพอร์สแอสฟัลต์ ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ม.414/2542 และมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น (Modified version from Japanese Standard for PA)

1.2.3 เตรียมก้อนตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับทดสอบโดยวิธีมาร์แชล ทำการบดอัดด้านละ 50 ครั้ง ตามมาตรฐานวิธีการทดลองกรมทางหลวง ที่ ทล.-ท.604/2517

1.2.4 การหาปริมาตรของก้อนตัวอย่างให้วัดโดย Calipers หรือวิธีอื่นใดที่กรมทางหลวงเห็นชอบ

1.2.5 หาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) โดยวิธี Flow down Test ตามมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น

1.2.6 การทดสอบเสถียรภาพก้อนตัวอย่าง (Stability) และค่าการไหล (flow) ตามมาตรฐานวิธีการทดลองกรมทางหลวงที่ ทล.-ท.604/2517 เทียบเท่า ASTM D-1559

1.2.7 การทดลองหาค่าความคงทนต่อการขัดสีของก้อนตัวอย่าง (Cantabro Abrasion) ตามวิธีการทดลองที่ NLT.352/86 (The National Laboratory of Transportation Madrid, Spain)

1.2.8 ทดสอบเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อ (Dynamic Stability) โดยวิธี Wheel tracking test ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 21 รอบต่อนาที (ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการประเทศญี่ปุ่น)

## 2. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมผิวทางพอร์สแอสฟัลต์มีขั้นตอนการปฏิบัติงานได้ ดังนี้

1. ทดสอบขนาดคละของวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลรวมละเอียด (Sand screening) รวมถึงวัสดุผสมแทรกที่นำมาใช้ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ตามมาตรฐานวิธีการทดลองกรมทางหลวงที่ ทล.-ท.204/2516 และ ทล.-ท.205/2517 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้

Source		โรงโม่หินมิตรเจริญ		
Sieve size		12.5 - 9.5 Crushstone	Sand Screenings	Filler
Quality		Limestone	Limestone	Calcium Carbonate
Passing weight	19.0 mm	100		
	13.2 mm	95.9		
	9.5	35.9	100	
	4.75	0.4	100	
	2.36	0.2	100	100
	0.6	0.0	48.0	100
	0.3	0.0	31.7	100
	0.15	0.0	21.7	100
	0.075	0.3	15.6	100
Apparent specific gravity		2.750	2.541	2.707
Water ration (%)		-	-	0.10
Water absorption (%)		0.80	2.47	-
Abrasion loss (%)		18.0	-	-

2. ทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม.408/2532

3. ทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารผสมเพิ่ม Taspac-Super (TPS) 12% โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ทั้งก่อนและภายหลังการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 2

4. นำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาจัดเตรียมขนาดคละวัสดุมวลรวม โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 แบบ โดยกำหนดให้วัสดุผสมมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) และวัสดุผสมมวลรวมละเอียด (Sand screening) มีสัดส่วนที่ต่างกัน ส่วนวัสดุผสมแทรก (Filler) กำหนดให้มีค่าคงที่ที่อัตราส่วน 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนผสมแต่ละแบบมีโครงสร้างของหินมวลรวมแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 1

## ตารางที่ 2 คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt binder modified improved by TPS)

Base asphalt	Thailand 60/70 (Tested Feb.13, 2014)		Thailand 60/70 (Tested July, 2014)			Standard in Japan
TPS content to total asphalt (%)	0	12	0	12	14	Type H
Penetration (25C:1/10 mm)	54	40	71	50	48	Min. 40
Softening point (C)	48.0	86.5	44.5	82.0	84.0	Min. 80
Ductility at 15 C (cm)	-	49	130+	93	94	Min. 50
Viscosity at 180 C (mPa-s)	-	374	58	308	410	-
Viscosity at 60 C (Pa-s)	-	259,792	155	251,644	413,267	Min. 20,000
Toughness (N-m)	-	22	4	28	32	Min. 20
Tenacity (N-m)	-	14	1	23	26	-

## ตารางที่ 3 การแบ่งส่วนผสมขนาดคละทั้ง 3 แบบ

		Gradation A	Gradation B	Gradation C	Lower range	Upper range
Mix proportion (%)	Coarse aggregate (12.5-9.5 mm)	82	85	88	-	-
	Sand (Screening) (2.36-0 mm)	15	12	9	-	-
	Mineral Filler	3	3	3	-	-
Passing weight percentage (%)	19.0 mm	100	100	100	100	100
	13.2	96.6	96.5	96.4	90	100
	9.5	47.4	45.5	43.6	-	-
	4.75	18.3	15.3	12.4	11	35
	2.36	18.2	15.2	12.2	10	20
	0.6	10.2	8.8	7.3	-	-
	0.3	7.8	6.8	5.9	-	-
	0.15	6.3	5.6	5.0	-	-
	0.075	5.6	5.2	4.7	3	7

4. คำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมขั้นต่ำ (Optimum asphalt content) จากสมการที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศไทย (Modified version from Japanese Standard for PA)

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่จะนำมาใช้ในแต่ละ Gradation หาได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ดังนี้

Provision asphalt content to the aggregate (not mixture)

$$= 14 \mu\text{m (asphalt film thickness)} \times \text{Surface area of aggregate} \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 1})$$

Surface area of aggregate

$$= (2 + 0.02a + 0.04b + 0.08c + 0.14d + 0.3e + 0.6f + 1.6g) / 48.74 \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 2})$$

เมื่อ :

- a = passing weight percentage at 4.75 mm sieve
- b = passing weight percentage at 2.36 mm sieve
- c = passing weight percentage at 1.18 mm sieve
- d = passing weight percentage at 0.6 mm sieve
- e = passing weight percentage at 0.3 mm sieve
- f = passing weight percentage at 0.15 mm sieve
- g = passing weight percentage at 0.075 mm sieve

จากการคำนวณตามสมการ (ที่ 1 และ 2) ปริมาณยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่จะนำมาใส่ในส่วนผสม (Gradation A, B, C) มีค่าเท่ากับ 4.8, 4.5 และ 4.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 1 แสดงการแบ่งวัสดุรวมรวมทั้ง 3 แบบ

5. ผสมวัสดุรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้าด้วยกัน เตรียมก่อนตัวอย่างในห้องปฏิบัติการโดยวิธีมาร์แชล ที่ ทล.-ท.604/2517 ของกรมทางหลวง

6. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ (Air void) ของส่วนผสมก่อนตัวอย่าง ทั้ง 3 แบบ ตามมาตรฐานפורรัส แอสฟัลต์กรมทางหลวงที่ ทล.-ท.414/2542 ดังแสดงในตารางที่ 4

7. จากข้อมูลตารางที่ 4 นำผลค่าช่องว่างอากาศ (Air Void) มาเทียบกับสัดส่วนขนาดคละที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.36 mm ในตารางที่ 3 พบว่าส่วนผสม Gradation A มีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะมีค่าช่องว่างอากาศอยู่ที่ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำส่วนผสม Gradation A เป็นตัวแทนในการออกแบบและนำไปทดสอบหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมโดยวิธี Flow Down Test ตามมาตรฐานפורรัสแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น

\* การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมโดยวิธี Flow Down Test เป็นการตรวจสอบ Recheck ดูปริมาณยางในส่วนผสมอีกครั้ง ผลทดสอบที่ได้จะมีความแม่นยำมากขึ้นกว่าการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่คำนวณได้จากสมการตามข้อ 4

8. ขั้นตอนการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมโดยวิธี Flow Down Test มีดังนี้

- นำส่วนผสม Gradation A นำมาใช้เตรียมตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง กำหนดปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ผสม ดังนี้ 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และ 5.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

- เตรียมภาชนะแผ่นทดสอบขนาด 42 x 27 เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักของภาชนะและบันทึกข้อมูล

- ทำการผสมส่วนผสมפורรัสแอสฟัลต์ให้มันน้ำหนัก 2 กิโลกรัม โดยใช้ปริมาณยางแอสฟัลต์ตามที่ได้

กล่าวมา

- ทำการผสมส่วนผสมพอร์ซอสฟัลต์ Gradation A ให้มีน้ำหนัก 2 กิโลกรัม เกลี่ยไว้บนภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 2

#### ตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจสอบส่วนผสมทั้ง 3 แบบ

Gradation Type	Percentage Passing of 2.36 mm	Asphalt cement	Average Density	Average volume of Asphalt	Average Air Void
	(%)	(%)	g/cm <sup>3</sup>	(%)	(%)
Gradation A	18.2	4.8	2.036	9.5	19.8
Gradation B	15.2	4.5	1.955	8.6	23.4
Gradation C	12.2	4.2	1.905	7.7	25.7

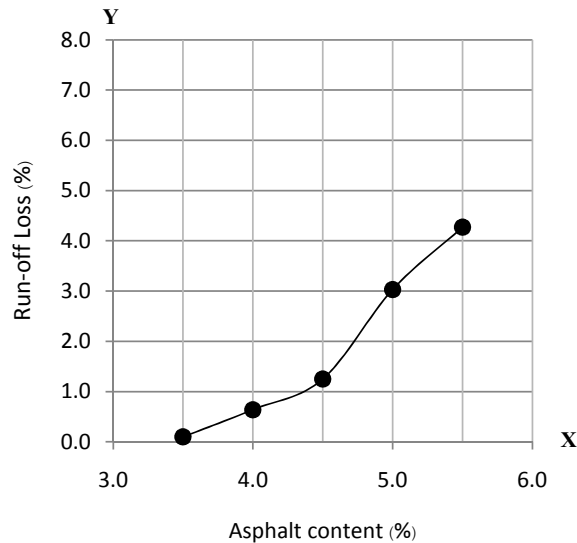


ภาพที่ 2 แสดงการทดสอบ Flow Down Test

- นำภาชนะและส่วนผสมพอร์ซอสฟัลต์ที่เกลี่ยไว้แล้ว นำเข้าตู้อบโดยให้อุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 1 ชั่วโมง
- นำภาชนะออกจากตู้อบ เทส่วนผสมพอร์ซอสฟัลต์ออกให้เหลือเฉพาะบางส่วนที่ติดกับภาชนะ (Asphalt Mortar) ที่ติดบนภาชนะเท่านั้น
- ทำการชั่งน้ำหนักภาชนะและบันทึกข้อมูล
- ดำเนินการทดสอบตามขั้นตอนที่กล่าวมาซ้ำทั้ง 5 ตัวอย่าง คำนวณผลและพล็อตกราฟเพื่อหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 3

#### ตารางที่ 5 แสดงผลการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

Asphalt content	Asphalt Mixture Before test	Asphalt Mortar	Run-off Loss
(%)	(g)	(g)	(%)
3.5	1980.4	1.8	0.09
4.0	1973.2	12.3	0.62
4.5	1982.1	25.0	1.26
5.0	1973.6	59.7	3.02
5.5	1968.8	83.9	4.26



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมจากความสัมพันธ์ % Run-off Loss

จากกราฟในรูปที่ 3 จะเห็นได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และค่า Run-off loss (%) จากนั้นลากเส้นสัมผัสส่วนโค้งบนและล่างจะได้จุดตัด (หรือช่วงที่เส้นกราฟเริ่มเปลี่ยนแนว) ที่จุดนี้เลือกลากเส้นลงมาที่แกน x จะได้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt content)

ในที่นี้ได้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 4.5 เปอร์เซ็นต์ นำผลปริมาณยางแอสฟัลต์นี้ไปเตรียมตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่อไป

9. เตรียมตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ดังนี้

9.1 ก้อนตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์สำหรับทดสอบ ให้บดอัดโดยวิธีมาร์แชลทำการอัดด้านละ 50 ครั้ง ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.604/2517 ดังแสดงในรูปที่ 1

9.2 แผ่นตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับทดสอบค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อ ขนาด 30.5 x 40 เซนติเมตร เตรียมโดยเครื่อง Roller Compactor ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงก้อนตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ว

10. ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม โดยก้อนตัวอย่างตามข้อ 9.1 จะนำไปทดสอบค่าความหนาแน่น, ค่าช่องว่างอากาศ, ค่าความต่อเนื่องช่องว่างอากาศ, ค่าเสถียรภาพก้อนตัวอย่าง, ค่าการไหล และค่าความคงทนต่อการขัดสีของก้อนตัวอย่าง ส่วนแผ่นตัวอย่างตามข้อ 9.2 จะทดสอบค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อในห้องปฏิบัติการประเทศญี่ปุ่น

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างและแผ่นทดสอบพอร์สแอสฟัลต์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6, 7 และรูปที่ 5 ดังนี้

#### ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างทดสอบ

		Density	Air Void	Mashall Stability	Flow	Cantabro Loss
		(g/cm <sup>3</sup> )	%	KN	1/100"	%
Gradation A	1	2.057	19.0	-	-	5.44
	2	2.027	20.2	4.19	15	-
	3	2.013	20.8	-	-	7.52
	4	2.054	19.2	4.35	14	-
	5	2.049	19.4	4.30	13	-
	AVG	2.040	19.7	4.28	14	6.50

จากผลการทดสอบก้อนตัวอย่างส่วนพอร์สแอสฟัลต์ แสดงให้เห็นว่าวัสดุรวมหินปูนสามารถนำมาออกแบบส่วนผสมผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ให้มีค่าช่องว่างอากาศ (Air Void) ตามมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนดได้ อีกทั้งเมื่อนำวัสดุรวมมาผสมกับยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารผสมเพิ่ม Taftack-Super (TPS) 12% พบว่าค่าความคงทนต่อการขัดสีของก้อนตัวอย่าง (Cantabro Abrasion) มีค่าไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง

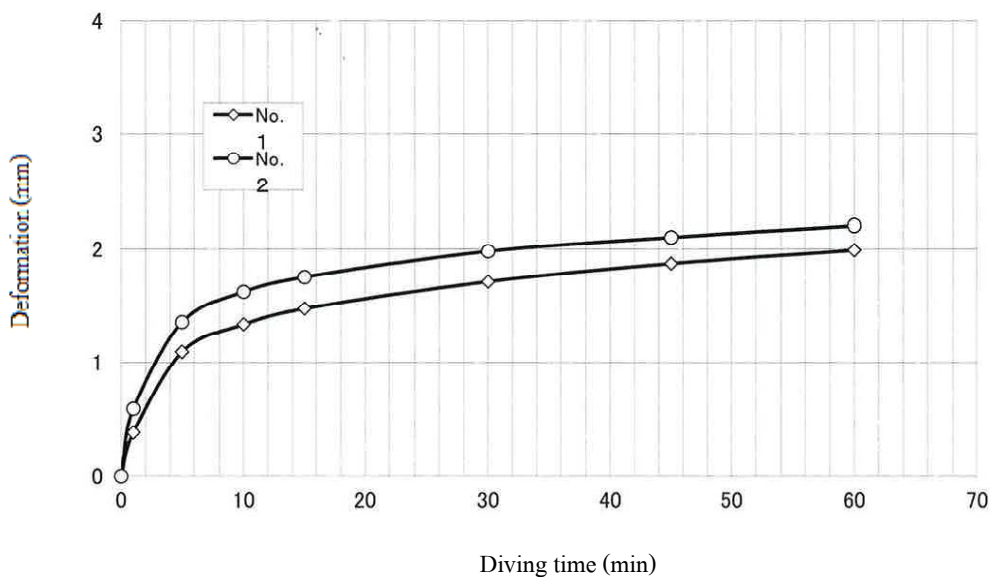
จากผลการทดสอบแผ่นตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์ทั้ง 2 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ย เสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อมีค่าเกินกว่า 3,000 ซึ่งผ่านมาตรฐานที่พอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่นกำหนดไว้ แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของส่วนผสมชนิดนี้ว่าสามารถต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดี ดังทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทนำข้างต้น ผล้อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 5



ตารางที่ 7 คุณสมบัติค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อของแผ่นอย่างทดสอบ

試験様式-243

JHS-230		Wheel Tracking Test					
Test Name	PA using Thai materials (DOH)	Test date	Aug. 26, 2014				
Kind of mixture	Porous asphalt mixture in Thailand	Laboratory	Taiyu, Reengineering Research Lab.				
Kind of asphalt	Thai 60/70+12%TPS	Engineer	Ando Tomohiro				
Drive: by Crank method		Hardness of tire: 83@20C, 78@60C					
Loading weight: 70kg		Loading method: Vertical					
Specimen:							
Size of specimen: 30*30*5cm		Driving: 42 passes/min., distance: 22.8cm					
Temperature: 60 C During time: 5 hrs.		Test time: 60 min.		Standard densit 2.040 g/cm <sup>3</sup> (B)			
Specimen No.							
No.1 No.2 No.3 No.4 Average							
Specimen	① Weight (g)	11746.8	11720.9				
	② Average thivkness (cm)	4.86	4.84				
	③ Area (cm <sup>2</sup> )	1213.0	1213.0				
	④ Vokume (cm <sup>3</sup> )	②*③	5895.0	5870.7			
	⑤ Density (g/cm <sup>3</sup> )	①/④	1.993	1.996		1.995	
	⑥ Compaction degree(%)	⑤/(B)*100	97.7	97.8		97.8	
Test result	Driving time (min.)	1	⑥ d 1	0.38	0.59		
		5	⑦ d 5	1.09	1.35		
		10	⑧ d10	1.33	1.62		
		15	⑨ d15	1.47	1.75		
		30	⑩ d30	1.71	1.98		
		45	⑪ d45	1.87	2.10		
		60	⑫ d60	1.99	2.20		
		⑬ d 0 (mm)	⑪×4 - ⑫×3	1.51	1.80		⑭ 1.66
		⑮ DS (I/I/mm)	((A)×15)/(⑬-⑪)	5250	6300		⑯ 5775
		⑰ Square of difference from a	(⑯-Xi) <sup>2</sup>	X <sup>1</sup> 275625	X <sup>2</sup> 275625		
		⑱ Standard deviation	S = (Σ(⑰)/n) <sup>0.5</sup>	525.0	Variation coeff. (%) CV=⑱/⑯×100	9.1	
	The shape of curve between tie & deform: 1.上凸型 2.Linear 3.変曲型						



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อของแผ่นตัวอย่างทดสอบ

#### 4. สรุป

จากผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการทั้งในสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบและห้องปฏิบัติการประเทศญี่ปุ่น พบว่า ค่าความหนาแน่น (Density), ค่าช่องว่างอากาศ (Air Void), ค่าความต่อเนื่องช่องว่างอากาศ (Connected Air Void), ค่าเสถียรภาพก้อนตัวอย่าง (Marshall Stability), ค่าการไหล (Flow), ค่าความคงทนต่อการขัดสีของก้อนตัวอย่าง (Cantabro Abrasion) และค่าเสถียรภาพความต้านทานการเกิดร่องล้อ (Dynamic Stability) มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.414/2542 และมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น (Modified version from Japanese Standard for PA) กำหนดไว้

จึงสามารถสรุปได้ว่า การออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย ในการศึกษา นี้ใช้ หินปูน (Limestone) และแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงโดยการเติมสารผสมเพิ่ม Tafpack Super (TPS) 12% สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดและสามารถนำไปก่อสร้างในงานกรมทางหลวงให้มีคุณภาพได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกรมทางหลวงในด้านเครื่องมือและสถานที่ทดสอบ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ดร.มนตรี เดชาสกุลสม ผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ นายพรหมมา เทพศรีหา ผู้อำนวยการส่วนวิเคราะห์ และตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์ ดร.ถาวร ตะไ่แก้ว วิศวกรโยธาปฏิบัติการ ดร.ไชยวัฒน์ ณ เชียงใหม่ สำหรับข้อมูล คำปรึกษาและผลวิจัยในครั้งนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

1. Taiyu Kensetsu co.ltd. 2014. Technical Guideline for Porous asphalt Pavement. Japanese, 5-20.
2. Bradley, J.P. 2012. Comparison of Mix Design Methods for Porous Asphalt Mixture, ASCE 1-2.
3. Department of Rural Roads. 2002. Standard of Rural Roads 237-2545, Thailand, 148-160.
4. Tantivanich, W. 1978. Standard Highways. Department of Highways, Thailand, 401-417.
5. Sukawan, C. 1972. Standard Test Method. Department of Highways, Thailand, 365-375.