



การปรับปรุงคุณภาพพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต  
ที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ด้วยสารผสมเพิ่ม

โดย

กิตติชัย ศรีโยธา  
สุรชัย จันทร์ขาว

ส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์  
สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

บทความนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด



## บทคัดย่อ

การออกแบบสายทางโดยมากมักจะพิจารณาถึงความแข็งแรงของชั้นทางแต่ละชั้นทางเพื่อให้สายทางสามารถรองรับน้ำหนักการจราจรและทนทานต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ อย่างไรก็ตาม เริ่มมีการเล็งเห็นถึงความสำคัญของความปลอดภัยในการใช้ทางมากขึ้นโดยเฉพาะอันตรายจากสภาพอากาศแปรปรวนซึ่งลดความสามารถในการควบคุมยาน และความสามารถในการมองเห็นเช่นเดียวกับความพยายามในการลดมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีระหว่างยางรถยนต์กับผิวทาง วิศวกรผู้ออกแบบจึงมีความพยายามเพื่อเพิ่มระดับความปลอดภัยจากการใช้ทาง และลดเสียงดังโดยการทดลองออกแบบผิวทางด้วยอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน ใช้วัสดุที่มีขนาดและชนิดต่างๆกันท่ามกลางการทดลองส่วนผสมต่างๆ พอร์สแอสฟัลต์ (Porous Asphalt, PA) ได้รับความสนใจมากที่สุดอันเนื่องมาจากความสามารถในการเพิ่มสมรรถนะในการขับขี่ รถไม่ลื่นไถลขณะวิ่งด้วยความเร็วหรือมีการเบรกกะทันหัน (Skid Resistance) และสามารถลดมลภาวะทางเสียง (Noise Pollution) ซึ่งปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยสำคัญที่จะมองข้ามไม่ได้ในปัจจุบัน โดยที่วิธีการแก้ไขปัญหาวีธีอื่นยังเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูง เช่น การติดตั้งแผ่นกั้นเสียง (Noise Barriers) เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติที่กล่าวไว้ข้างต้นทำให้ผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์ (Porous Asphalt Pavement) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการติดตั้งแผ่นกั้นเสียง เป็นที่สนใจจากนานาประเทศ

กรมทางหลวง โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบจึงได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ โดยร่วมมือกับบริษัท โซล่าแอสฟัลต์ จำกัด และ TAIYU KENSETSU CO., LTD. ในฐานะที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการทำผิวทางแอสฟัลต์ชนิด Porous Asphalt ของประเทศญี่ปุ่น เพื่อศึกษาและพัฒนาการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์ชนิด Porous Asphalt โดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุมวลรวมที่มีใช้ในประเทศไทย มาปรับใช้ในการออกแบบผิวทางชนิด Porous Asphalt และพัฒนากระบวนการขั้นตอนการออกแบบผิวทางชนิด Porous Asphalt ดังกล่าว

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า วัสดุมวลรวมที่ใช้ได้แก่ หินปูน (Limestone) จากโรงโม่หินมิตรเจริญ จังหวัดกาญจนบุรี และใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงจากแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC60-70 โดยการเติม TPS 12% สามารถนำมาใช้ในการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติของส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์ลดลงไปจากมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด

## 1. ที่มาของโครงการ

ตามที่ กรมฯ ได้เห็นชอบให้บริษัท โซล่าแอสฟัลต์ จำกัด โดยร่วมมือกับ TAIYU KENSETSU CO., LTD. ในฐานะที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในการทำผิวทางแอสฟัลต์ชนิด Porous Asphalt ของประเทศญี่ปุ่น เพื่อศึกษาและพัฒนา ร่วมกับสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์ชนิด Porous Asphalt โดยใช้วัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุมวลรวมที่มีอยู่ในประเทศไทย มาปรับใช้ในการออกแบบผิวทางชนิด Porous Asphalt และพัฒนากระบวนการขั้นตอนการออกแบบผิวทางชนิด Porous Asphalt ดังกล่าว

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ได้ดำเนินโครงการศึกษาและพัฒนาการออกแบบผิวทาง Porous Asphalt โดยใช้วัสดุมวลรวมที่ใช้ในประเทศไทยและใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์มอดิไฟด์ที่มีส่วนผสมของ TPS (TAPACK-Super) ออกแบบโดยวิธี Marshall ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวงในห้วงปฏิบัติการทั้งในสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และห้วงปฏิบัติการในประเทศญี่ปุ่น

ความหมายของผิวทางพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต ตาม ทล.-ม.414/2542 คือ วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร่อนระหว่าง มวลรวม(Aggregate) กับโพลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Polymer Modified Asphalt Cement) ผิวทางมีลักษณะผิวหน้าหยาบ มีความพรุนสูง น้ำซึมผ่านได้ดี ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวจะส่งผลต่อการจราจรและผู้ใช้ถนน ดังนี้ มีความพรุนสูง น้ำสามารถซึมผ่านได้ดี ช่วยลดปัญหาน้ำขัง (Hydroplaning) ลดการสาดกระเด็นและละอองน้ำในระหว่างขับขี่ (Reduce water splash & spray) ทำให้ขับขี่ปลอดภัย ลดการสะท้อนของแสงไฟ ทำให้ทัศนวิสัยในการขับขี่ดีขึ้น ลดระดับเสียงขณะรถวิ่งผ่าน (Noise Reduction) ผิวหน้ามีความหยาบมากช่วยเพิ่มความฝืดของผิวทางให้สูงขึ้น (High skid resistance)

ผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์ (Porous Asphalt) เป็นผิวทางชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติเฉพาะกล่าวคือเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงจึงทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว น้ำไม่ขังขณะและหลังเกิดฝนตก โดยที่น้ำสามารถซึมผ่านลงไปใต้พื้นถนนได้อย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เป็นการเพิ่มสมรรถนะในการขับขี่ยานยนต์ คือ รถไม่ลื่นไถลขณะวิ่งด้วยความเร็วหรือเบรกกะทันหัน อีกทั้งยังเป็นการลดละอองน้ำที่กระเซ็นรบกวนยานพาหนะคันหลังที่วิ่งตามมา เป็นการเพิ่มความสามารถในการมองเห็นของผู้ขับขี่ซึ่งส่งผลให้ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้ทาง จุดเด่นของพอร์สแอสฟัลต์อีกประการ คือ การที่เนื้อวัสดุมีลักษณะพรุนนั้น จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างยางรถยนต์และผิวทาง ซึ่งสามารถลดมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นต่อผู้อยู่อาศัยสองข้างทางอีกด้วย

วัสดุมวลรวมที่ใช้อยู่ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้วัสดุมวลรวมจากหินปูน (Limestone) หินแกรนิต (Granite) และหินบะซอลท์ (Basalt) ซึ่งลักษณะของหินในประเทศไทยดังกล่าว มีข้อจำกัดด้านคุณสมบัติคือ จะมีความอ่อนและเปราะแตกง่าย (soft and brittle)โครงการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่าคุณสมบัติของหินในประเทศไทยดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อนำไปใช้งานผิวทางพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต รวมถึงการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60-70 ที่ผสม TPS เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในงานผิวทางพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต

## 2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการศึกษาและพัฒนาการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ (Porous Asphalt) โดยใช้วัสดุในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์ของโครงการ ดังต่อไปนี้

- 2.1 เพื่อทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมที่มีในประเทศไทยในการนำมาออกแบบและปรับปรุงใช้กับผิวทางพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต
- 2.2 เพื่อประเมินคุณสมบัติด้านเทคนิค และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อถนนแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต
- 2.3 ศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการนำผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์มาใช้กับโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง

## 3. ขอบเขตของการศึกษาโครงการ

### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทำตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต

3.1.1 วัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ในการศึกษา คือ หินปูน (Limestone) จากโรงโม่หินมิตรเจริญ จังหวัดกาญจนบุรี ที่มีคุณสมบัติและขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน ทล.-ม.414/2542 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานของกรมทางหลวงในการออกแบบพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง สำหรับมวลรวมขนาด 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)

3.1.2 วัสดุเชื่อมประสาน ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60-70 ที่ปรับปรุงโดยการเติม TPS (TAFPACK-Super) และจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสมรวมไปถึงการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.414/2542 และมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น (Modified version from Japanese Standard for PA)

### 3.3 การเตรียมและทดสอบก่อนตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต

3.3.1 การเตรียมก่อนตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับทดสอบ เป็นแท่งทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว เตรียมจากการบดอัดโดยวิธี Marshall ทำการอัดด้านละ 50 ครั้ง ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.604/2517 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ Marshall” อุณหภูมิที่บดอัดใช้  $150 \pm 5$  องศาเซลเซียส

3.3.2 การหาปริมาตรของก้อนตัวอย่างให้วัดโดย Calipers หรือวิธีอื่นใดที่กรมทางหลวงเห็นชอบ

3.3.3 การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) โดยวิธี Flow down Test

3.3.4 การทดสอบเสถียรภาพและการไหล (Stability and flow) ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.604/2517 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธี Marshall” เทียบเท่า ASTM D-1559

3.3.5 การทดลองหาค่า Cantabro Abrasion ให้เป็นไปตามวิธีการทดลองที่ NLT.352/86 (The National Laboratory of Transportation Madrid, Spain)

3.3.6 การทดสอบ Dynamic Stability โดยการทดสอบ Wheel tracking test ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 21 รอบต่อนาที (ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการประเทศญี่ปุ่น)

#### 4. ประโยชน์ของโครงการ

โครงการศึกษาและพัฒนาการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ (Porous Asphalt) โดยใช้วัสดุในประเทศไทย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและก่อสร้างผิวทางพอร์สแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุที่มีในประเทศไทย คาดว่าจะได้รับประโยชน์ ดังนี้

1. ทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในประเทศไทยโดยเฉพาะหินปูน (Limestone) ในด้านการออกแบบและนำไปประยุกต์ใช้กับผิวทางพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต
2. ได้ทราบถึงวิธีการ และเทคนิคการออกแบบส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์ตามมาตรฐานประเทศญี่ปุ่น
3. ได้ผิวทางที่มีคุณสมบัติด้านการระบายน้ำ และลดมลภาวะทางเสียง ช่วยให้ผู้ใช้งานมีความปลอดภัยมากขึ้น
4. ได้มาซึ่งข้อมูลต่างๆ เป็นประกอบการตัดสินใจในการประยุกต์ใช้พอร์สแอสฟัลต์คอนกรีตในชั้นผิวทางของกรมทางหลวง

#### 5. ข้อดีและข้อเสียของโครงสร้างถนนแบบพอร์สแอสฟัลต์

เมื่อ 25 ปีก่อน กลุ่มประเทศในทวีปยุโรปได้มีการเริ่มศึกษาและนำวัสดุผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์ (Porous Asphalt, PA) หรือ Open Graded Friction Course (OGFC) มาใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะถนนที่ก่อสร้างแบบพอร์สแอสฟัลต์นั้นสามารถระบายน้ำได้ดี และสามารถลดมลภาวะทางเสียงได้ด้วย วัสดุประเภทนี้ นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างถนนเนื่องจากมีข้อดีอยู่หลายประการเมื่อเทียบกับการใช้วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแบบเดิม (Dense Gradation) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ถนนที่ใช้วัสดุผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์นั้นสามารถระบายน้ำที่เกิดขึ้นบนถนนได้อย่างดี
- 2) ลดการสาดกระเด็น (Splash) และละอองน้ำ (Spray) กล่าวคือถนนที่ใช้วัสดุผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์นั้นสามารถระบายน้ำออกได้ดี ดังนั้นจึงมีน้ำค้างอยู่ในชั้นผิวของชั้นทางน้อย เป็นผลทำให้ถนนที่ก่อสร้างด้วยวัสดุประเภทนี้สามารถลดการสาดกระเด็นและละอองของน้ำ
- 3) การเชื่อมแน่น (Adherence)
- 4) ลดการสะท้อนของแสงไฟ (Reflection of light)
- 5) เพิ่มความรู้สึกสะดวกสบายในการขับขี่ (Comfort of driving)
- 6) เพิ่มความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ (Increase in mean speeds)
- 7) ลดการเกิดร่องล้อ (Reduce the rutting)
- 8) ลดเสียงรบกวน (Noise reduction)

อย่างไรก็ตามการก่อสร้างถนนด้วยวัสดุพอร์สแอสฟัลต์นั้นก็ได้มีแต่ข้อดีเท่านั้น แต่ยังคงมีข้อเสียหรือข้อจำกัดด้วย คือ

- 1) ราคาก่อสร้างและการดูแลรักษาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการก่อสร้างด้วยวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแบบดั้งเดิม (Dense Gradation)
- 2) เกิดความเสียหายแบบอุดตัน (Clogging)
- 3) ต้องการส่วนผสมประเภทเกล็ดสำหรับการก่อสร้างในพื้นที่ที่มีอากาศหนาว
- 4) เกิดความเสียหายแบบหลุดร่อน (Raveling)
- 5) สำหรับผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์ที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ จะมีแรงการต้านทานการลื่นไถลน้อย

## 6. คุณสมบัติด้านการนำไปใช้ประโยชน์

### 6.1 ด้านการระบายน้ำ

การซึมผ่านของน้ำ (Permeability) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างมากสำหรับผิวทางแบบพอร์รัสแอสฟัลต์ โดยแรกเริ่มได้มีการนำคุณสมบัติดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการระบายน้ำฝนให้ไหลออกไปนอกโครงสร้างทางอย่างไรก็ตามการที่จะทำให้ผิวทางแบบพอร์รัสแอสฟัลต์รักษาคุณสมบัติการไหลซึมของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งานถนนนั้นทำได้ยากมาก เนื่องจากเมื่อเปิดการใช้งานถนนไประยะหนึ่งจะมีเศษผงหรือฝุ่นเข้าไปอุดตันในช่องว่าง (Clogging) ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำลดลง

ขนาดคละของมวลรวมที่นำมาใช้ในการทำผิวทางแบบพอร์รัสแอสฟัลต์นั้นมีบทบาทอย่างมากในการควบคุมการไหลของน้ำ ยกตัวอย่างเช่น การเลือกใช้มวลรวมขนาดโตสุด (Maximum size) ช่องว่างขนาดคละกว้าง และปริมาณทรายน้อย เป็นผลทำให้สามารถระบายน้ำได้ดีช่วงแรก และด้านทานการเกิดการอุดตันได้ดี อย่างไรก็ตามยังมีวิธีอื่นๆ ที่สามารถนำมาช่วยเพื่อให้ผิวทางนี้สามารถระบายน้ำได้ดี ดังแสดงต่อไปนี้

1) ก่อสร้างผิวทางแบบพอร์รัสแอสฟัลต์ให้มีความหนาอย่างน้อย 4-5 เซนติเมตร

2) ทำให้แน่ใจว่าความเร็วในการไหลของน้ำนั้นมีค่ามากพอ เพื่อจำกัดการอุดตันของฝุ่นละออง ซึ่งเงื่อนไขข้างต้นสามารถทำได้โดย

- ออกแบบผิวทางแบบพอร์รัสแอสฟัลต์ให้มีช่องว่างเริ่มต้นอย่างน้อย 20%

- ก่อสร้างให้ผิวถนนมีความลาดเอียงอย่างเพียงพอ (ทั่วไปจะมีค่าประมาณ 2-2.5%) อย่างไรก็ตามถ้าไม่สามารถก่อสร้างผิวถนนให้มีความลาดเอียงได้ตามข้างต้น ก็สามารถก่อสร้างทางระบายน้ำย่อย (Sub drain) เสริมได้

3) ปริมาณจราจรสูง ความเร็วของยานพาหนะสูง และน้ำหนักของยานพาหนะมาก นั้นจะสามารถช่วยลดการอุดตันของฝุ่นละอองได้ เนื่องจากแรงดันของล้อรถสามารถดันเอาฝุ่นละอองออกมาจากช่องว่างได้ ดังนั้นการก่อสร้างผิวทางแบบพอร์รัสแอสฟัลต์นั้นไม่ควรก่อสร้างในถนนที่มีการจราจรน้อยๆ

สำหรับการป้องกันการเกิดการอุดตันของฝุ่นละอองจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้เครื่องมือทำความสะอาดที่ค่อนข้างดี ซึ่งทั่วไปจะใช้รถยนต์ทำความสะอาด โดยหลักการทำความสะอาดจะทำการฉีดน้ำลงไปบนผิวถนนเพื่อให้ น้ำเข้าไปทำความสะอาดในช่องว่าง สำหรับเวลาของการทำความสะอาดนั้นจะทำความสะอาดอย่างน้อยประมาณปีละหนึ่งครั้ง

### 6.2 ด้านความทนทาน

พอร์รัสแอสฟัลต์มีความทนทานต่อการเกิดร่องล้อ (rutting) ได้ดี ถึงแม้ว่าจะเป็นการจราจรที่สูงมาก โดยค่าเฉลี่ยการเกิดร่องล้อจะเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตรต่อปี ทำให้อายุการใช้งานได้ประมาณ 10 ปี ซึ่งความเสียหายส่วนมากของผิวทางชนิดนี้มาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของส่วนผสม ถ้าหากเราพิจารณาจากโครงสร้างของชั้นผิวทางแบบพอร์รัสแอสฟัลต์ ในแง่ของการสูญเสียกำลังเนื่องจากแรงเสียดทานจะมีค่าน้อยกว่าโครงสร้างทางที่มีส่วนผสมแบบคละขนาดดี ซึ่งในการออกแบบพอร์รัสแอสฟัลต์นั้นบางประเทศไม่คำนึงถึงการออกแบบด้านการสูญเสียกำลังเนื่องจากแรงเสียดทาน แต่อย่างไรก็ตามประเทศเนเธอร์แลนด์ยังพิจารณาถึงการสูญเสียกำลังเนื่องจากแรงชนิดนี้อยู่โดยที่อัตราส่วนของความหนาของวัสดุมวลรวมหยาบประเภทแอสฟัลต์แบบแน่นกับแอสฟัลต์แบบพรุนซึ่งโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.75

### 6.3 ด้านการต้านทานการสั่นไถล

ความปลอดภัยของการใช้งานในท้องถนนปัจจัยหลักคือการต้านทานการสั่นไถล ซึ่งผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์นี้ มีการพัฒนามาเพื่อการระบายน้ำที่ดี พฤติกรรมของพื้นผิวพอร์สแอสฟัลต์นี้ เป็นส่วนสำคัญของความปลอดภัยในการใช้งานท้องถนนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในท้องถิ่นนั้นๆ ด้วยผิวทางของพอร์สแอสฟัลต์นี้ถูกพัฒนาให้สัมพันธ์กับความปลอดภัยเป็นอันดับแรก ซึ่งมุ่งเน้นการระบายน้ำพร้อมทั้งลดความเสี่ยงการสั่นไถลของผู้ขับขี่

สำหรับชนิดการต้านทานการสั่นไถลแบบแห้งจำเป็นที่จะต้องให้มีแรงเสียดทานมากๆ สำหรับในการขับขี่ที่ใช้ความเร็วสูงจะต้องมีค่าที่ดีกว่าผิวทางแบบทั่วไป

1) ปริมาณมวลของหินที่สะอาดเป็นส่วนที่สำคัญด้านหนึ่งของผิวทางชนิดนี้ จะขึ้นอยู่กับการศึกษาที่ละเอียดๆ สำหรับการพิจารณานั้นจะใช้ค่า PSV (Aggregate Stone Polished Value) เป็นตัวชี้วัด

2) ขนาดของหินที่ใหญ่ที่สุดของการวัดการต้านทานการสั่นไถลจะเพิ่มขึ้นทุกๆ ความเร็วในการขับขี่แต่ยังเล็กกว่าขนาดที่ใหญ่ที่สุดของมวลรวม ปัญหาหนึ่งของการสั่นไถลในผิวทางชนิดนี้ คือ การต้านทานชนิดต่ำที่สุดของทุกๆ ความเร็วซึ่งเป็นผลจากความหนาของ Binder ซึ่งเป็นอนุภาคของส่วนผสมบนผิว ซึ่งในการใช้งานจริงปัญหานี้จะลดลงเมื่อเปิดใช้งานไป 3 - 18 เดือน เนื่องจากความปลอดภัยนั้นลดลง แท้จริงแล้ว ช่วงของระยะเวลาขึ้นอยู่กับลักษณะการจราจรและชนิดของ Binder

### 6.4 คุณสมบัติด้านเสียง

พอร์สแอสฟัลต์สามารถลดปัญหาของมลภาวะทางเสียงได้ดี ซึ่งมาจากคุณสมบัติต่างๆ ที่มีปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ในระหว่างการบดอัดทำให้อนุภาคของวัสดุชนิดพรุนจะถูกกดจนแบนราบเป็นผลทำให้เสียงรบกวนที่ความถี่ต่ำที่เกิดขึ้นระหว่างผิวทางกับยางรถยนต์มีค่าน้อยลง

2) เนื่องจากวัสดุเป็นแบบพรุนทำให้เสียงรบกวนที่ความถี่สูงๆ ซึ่งเกิดจากการแรงกระทำจากล้อรถกับผิวทางที่เป็นแบบพลศาสตร์ (Dynamic load) มีค่าน้อยลง

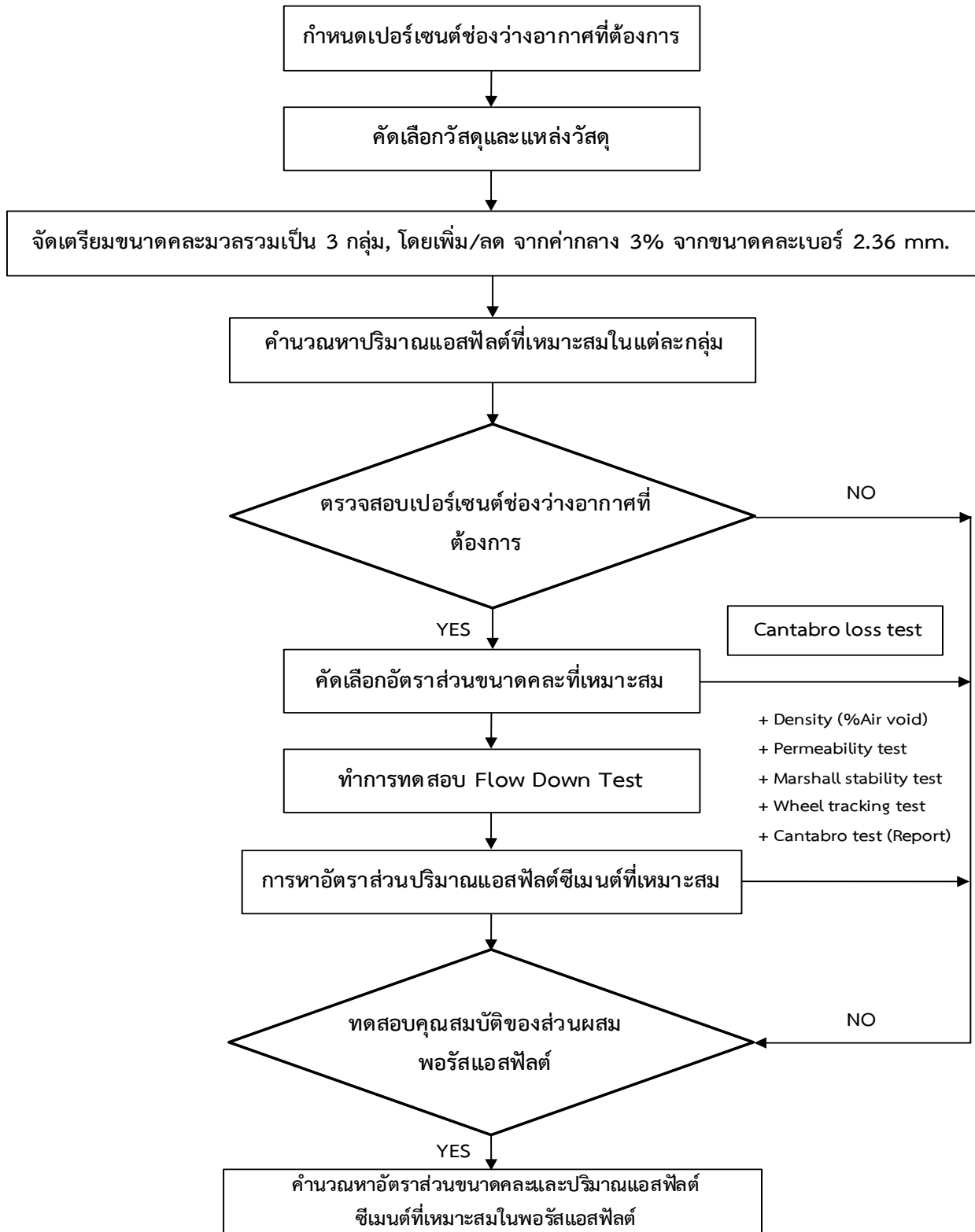
3) ความพรุนของผิวทางช่วยลดผลกระทบจากเสียงแตร ในการเปรียบเทียบแรงเสียดทานในชั้นโครงสร้างถนน ระหว่างแอสฟัลต์แบบแน่น (dense graded) และพอร์สแอสฟัลต์ พบว่าการกระจายตัวของเสียงลดลงไปประมาณ 2-3 dB แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญคือ

- ขนาดโตสุดของมวลรวม
- ช่องว่างของวัสดุซึ่งเมื่อช่องว่างมีมากการดูดซับเสียงจะดี เป็นต้น

## 7. ขั้นตอนการดำเนินการออกแบบส่วนผสมออสฟัลต์

กระบวนการออกแบบส่วนผสมออสฟัลต์มีลักษณะและวิธีการที่แตกต่างจากการออกแบบโดยวิธีทั่วไป (Marshall) ซึ่งสามารถรวบรวมกระบวนการออกแบบและขั้นตอนการปฏิบัติงานได้ ดังนี้

1. ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ เช่น คุณสมบัติวัสดุรวมรวม และออสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้
  2. หาสัดส่วนวัสดุรวมรวมหรือขนาดผลของวัสดุรวมรวมเพื่อให้ได้ร้อยละของอัตราส่วนช่องว่างอากาศตามที่กำหนดในตารางที่ 1
  3. หาปริมาณออสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt content)
  4. ตรวจสอบคุณสมบัติของส่วนผสมออสฟัลต์
- กระบวนการทั้งหมดดังกล่าว แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงผังการทำงานการออกแบบส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์

## 8. การออกแบบส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์

### 8.1 วัสดุมวลรวม

#### 8.1.1 วัสดุมวลรวมและวัสดุผสมแทรก (Aggregates and Filler)

วัสดุมวลรวมที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์ ได้แก่ มวลรวมหยาบและทราย เป็นวัสดุมวลรวมที่ได้มาจากโรงโม่หินมิตรเจริญ ประเทศไทย เป็นวัสดุมวลรวมชนิดหินปูน (Limestone) และวัสดุผสมแทรก ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ที่มีคุณสมบัติตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้

| Source                        |         | โรงโม่หินมิตรเจริญ        |                    |                      |
|-------------------------------|---------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| Sieve size                    |         | 12.5 - 9.5<br>Crush stone | Sand<br>Screenings | Filler               |
| Quality                       |         | Limestone                 | Limestone          | Calcium<br>Carbonate |
| Passing weight Percentage (%) | 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     |         | 2.75                      | 2.541              | 2.707                |
| Water ration (%)              |         | -                         | -                  | 0.1                  |
| Water absorption (%)          |         | 0.8                       | 2.47               | -                    |
| Abrasion loss (%)             |         | 18.0                      | -                  | -                    |

### 8.1.2 วัสดุมวลรวมหยาบ

วัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้เป็นหินปูนที่ได้มาจากโรงโม่หินมิตรเจริญ มีค่า Abrasion loss 18% (มาตรฐานกำหนดไว้ต้องไม่เกิน 30%) เนื่องจากช่องว่างอากาศของผิวทางพอร์สแอสฟัลต์เกิดจากการจัดเรียงตัวของหินเม็ดใหญ่ต่อกัน ซึ่งถ้าหากจุดสัมผัสระหว่างวัสดุมวลรวมหยาบมีค่าน้อยจะส่งผลโดยตรงทำให้ช่องว่างอากาศมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นค่าความแข็งแรงของวัสดุมวลรวมหยาบจึงมีความจำเป็นมากในการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ เพื่อให้ได้ค่าช่องว่างอากาศตามที่กำหนดตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง และเนื่องจากขนาดคละของวัสดุมวลรวมหยาบเป็นลักษณะ single size คือ มีขนาด 9.5 – 12.5 มม. ดังนั้นจึงเป็นการง่ายที่จะออกแบบช่องว่างอากาศให้ เป็นไปตามที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 20%) โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่องว่างอากาศแบบต่อเนื่อง (Connected Air void)

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวมตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ที่ระบุใน ทล.-ม.408/2532 นำมาผสมเป็นผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ วัสดุมวลรวมหยาบทำการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุ ดังนี้

- ขนาดคละ (Gradation) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.204/2516 หรือ AASHTO T27 – 78 หรือ ASTM C136 – 84 A
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.207/2517 หรือ AASHTO T85 – 77 หรือ ASTM C127 – 84
- ความคงทน (Soundness) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.213/2531 หรือ AASHTO T104 – 77 หรือ ASTM C88 – 83
- ดัชนีความแบน (Flakiness Index) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.210/2518
- ดัชนีความยาว (Elongation Index) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.211/2518
- ค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.202/2518 หรือ AASHTO T96 – 77 หรือ ASTM C131 – 81

### 8.1.3 วัสดุมวลรวมละเอียด

วัสดุมวลรวมละเอียดทำการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียดดังนี้

- ขนาดคละ (Gradation) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.205/2517 หรือ AASHTO T37 – 77 หรือ ASTM C136 – 84A
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.-ท.209/2517 หรือ AASHTO T84 – 77 หรือ ASTM C128 -84
- ความคงทน (Soundness) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.213/2531
- ค่าทรายสมมูล (Sand Equivalent) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.203/2515 หรือ AASHTO T176 – 73 หรือ ASTM D2419 – 74

### 8.1.4 วัสดุผสมแตรก

การออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์จะใช้วัสดุผสมแตรกคือ แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) หรือฝุ่นหินปูน หรือผงปูนซีเมนต์

## 8.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์

แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์อ้างอิงตาม “Technical Guideline for Porous Asphalt Pavement” เป็นการปรับปรุงสภาพจากแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ใช้ในประเทศไทย ปรับปรุงคุณภาพโดยการเติม TPS “TAFPACK-Super” คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ภายหลังการปรับปรุงเป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt binder modified by TPS)

| Base asphalt                        | Thailand 60/70<br>(Tested Feb.13, 2014) |         | Thailand 60/70 (Tested<br>July,2013) |         |         | Standard in<br>Japan |
|-------------------------------------|---|---------|--------------------------------------|---------|---------|----------------------|
|                                     |   |         |                                      |         |         |                      |
| TPS content to total<br>asphalt (%) | 0                                       | 12      | 0                                    | 12      | 14      | Type H               |
| Penetration (25C:1/10<br>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<br>(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      | -                    |

การทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ในแต่ละครั้งให้ผลที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งค่าที่ได้ดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า Viscosity at 60 C ในกรณีที่เติม TPS เท่ากับ 12% แสดงให้เห็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ที่ผลิตในประเทศไทย เมื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพโดยการเติม TPS แล้วมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด สามารถนำไปใช้งานได้

## 8.3 การหาสัดส่วนขนาดคละที่เหมาะสม

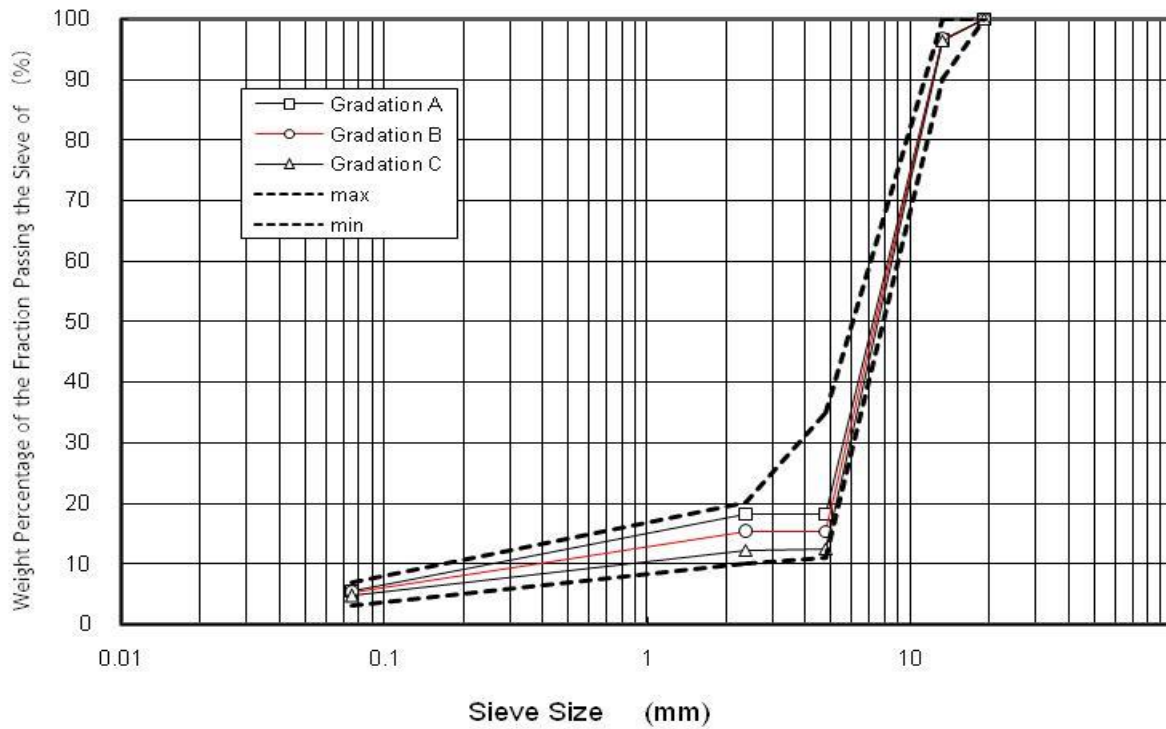
การหาสัดส่วนขนาดคละที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าช่องว่างอากาศตามที่กำหนดไว้ (ไม่ต่ำกว่า 20%) แบ่งขั้นตอนการคัดเลือกและจัดขนาดออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

### 1. เลือกสัดส่วนขนาดคละที่เหมาะสม

เพื่อที่จะหาสัดส่วนขนาดคละที่จะทำให้ได้ร้อยละของช่องว่างอากาศเท่ากับ 20 จะทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม และจัดสัดส่วนในแต่ละกลุ่ม ตามตารางที่ 3 โดยจะกำหนดปริมาณวัสดุผสมแทรกให้คงที่ที่ 3%

ตารางที่ 3 การจัดสัดส่วนขนาดคละ

|                               |                                   | Gradation<br>A | Gradation<br>B | Gradation<br>C | Lower<br>range | Upper<br>range |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Mix proportion<br>(%)         | Coarse aggregate<br>(12.5-9.5 mm) | 82             | 85             | 88             | -              | -              |
|                               | Sand (Screening)<br>(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              |



รูปที่ 2 แสดงการจัดขนาดคละ



รูปที่ 3 แสดงการเตรียมและการแบ่งวัสดุมวลรวม A : B : C

**การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ในแต่ละ Group ของ Gradation A:B:C**

ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่จะนำมาใช้ในแต่ละ Gradation (แสดงไว้ในตารางที่ 6) 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

หมายเหตุ : passing weight percentage at 1.18 mm sieve หาได้จากกราฟ รูปที่ 2

2. เตรียมก้อนตัวอย่างจากขนาดคละที่เตรียมไว้โดยวิธี Marshall

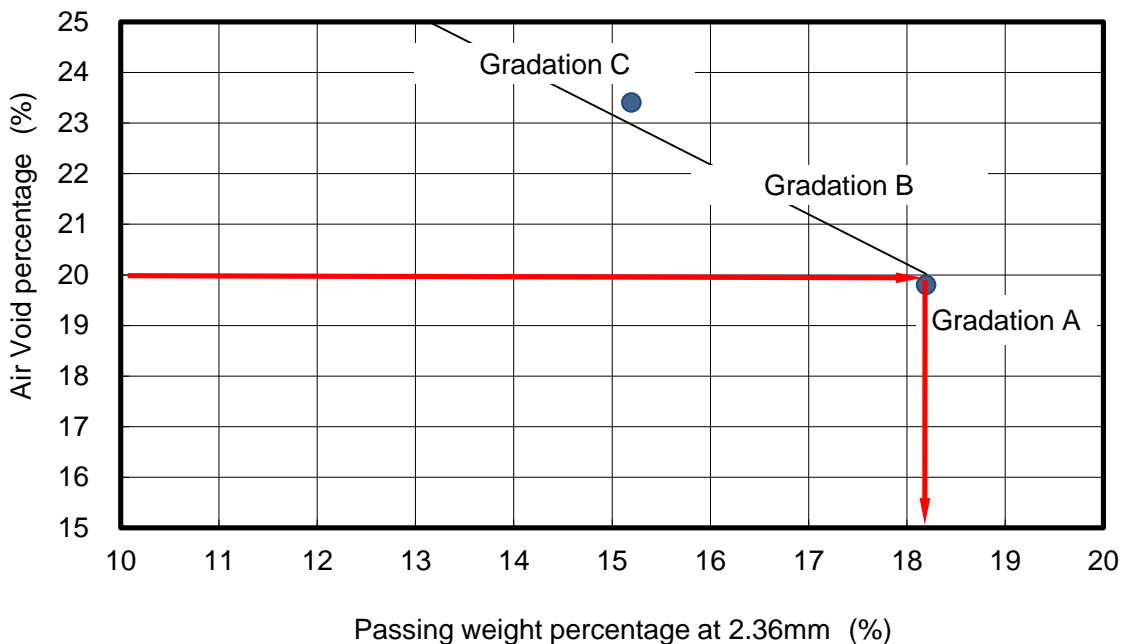
เมื่อจัดสัดส่วนขนาดคละได้ตามตารางที่ 3 แล้ว นำมาเตรียมก้อนตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชลล์ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามตารางที่ 6 โดยให้พลังงานในบดอัดจำนวน 50 ครั้งต่อด้าน จำนวนก้อนตัวอย่างกลุ่มละ 3 ก้อนรวมทั้งหมด 9 ก้อนตัวอย่าง นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

1. นำก้อนตัวอย่างที่ได้มาวัดความสูง และชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่า Density
2. นำข้อมูลจากข้อ 1. มาคำนวณหาค่า Maximum Theoretical Density, Capacity of Asphalt, Air void และ Connected Air void รายละเอียดผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 6

นำข้อมูล Air void (%) และ Weight Percentage of the Fraction Passing of the Sieve of 2.36 mm (%) จากตารางที่ 4 มา plot กราฟเพื่อหาค่าสัดส่วนขนาดคละที่เหมาะสม จากนั้นลากเส้น Air void (%) ที่ต้องการ ( 20%) ตัดกราฟ ดังกล่าว จะได้ค่าสัดส่วนขนาดคละที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่า % Air void และ Weight Percentage of the Fraction Passing of the Sieve of 2.36mm

| Gradation Group | Air Void (%) | Weight Percentage of the Fraction Passing of the Sieve of 2.36mm (%) |
|-----------------|--------------|--|
| Gradation A     | 19.8         | 18.2   |
| Gradation B     | 23.4         | 15.2   |
| Gradation C     | 25.7         | 12.2   |



รูปที่ 4 แสดงการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจาก % Air void ที่ต้องการ (20%)

ข้อมูลที่ได้จากรูป 4 เมื่อต้องการ % Air void ที่ 20% ลากเส้นตัดกราฟ จะพบว่า Gradation A เป็น Gradation ที่เหมาะสมที่สุด (แสดงในตารางที่ 5) จากนั้นเลือก Gradation A เป็นตัวแทนในการออกแบบและนำไปหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content)

ตารางที่ 5 แสดงรายละเอียด Gradation A

| Air Void (%) | Weight Percentage of the Fraction<br>Passing of the Sieve of 2.36mm<br>(%) | Mix Ratio (%) |      |        |
|--------------|--|---------------|------|--------|
|              |  | Lime Stone    | Sand | Filler |
| 20%          | 18.2%  | 82.0          | 15.0 | 3.0    |

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณ

**Adjustment Air Void of Porous Asphalt Mixture**

| Kind of Mixture                    |     | Porous Asphalt Mixture  |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    | 3/7/2014                           |
|------------------------------------|-----|-------------------------|--------|---------------|-----------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------|--------------------|------------------------------------|
| kind of Asphalt                    |     | Modified Asphalt Type H |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    | Gravity of Asphalt (m) 1.03        |
| Gradation Type                     | No. | Mix Rate of Asphalt     | Height | Weight in Air | Weight in Water | Bottom Area of Specimen | Volume of Specimen | Density           | Maximum Theoretical Density | Volime of Asphalt | Air Void    | Connected Air Void | Aggregate Void Filled with Asphalt |
|                                    |     | %                       | cm     | g             | g               | cm <sup>2</sup>         | cm <sup>3</sup>    | g/cm <sup>3</sup> | g/cm <sup>3</sup>           | %                 | %           | %                  | %                                  |
|                                    |     | a                       | b      | c             | d               | e                       | f                  | g                 | h                           | i                 | j           | k                  | l                                  |
|                                    |     |                         |        |               |                 |                         | b*e                | c/f               |                             | a*g/m             | (1-g/h)*100 | (f-c+d)/f*100      | i/(i+j)*100                        |
| Gradation A<br>2.36mmpass<br>18.2% | 1   |                         | 6.45   | 1067.5        | 623.4           | 81.073                  | 522.9              | 2.041             |                             | 9.5               | 19.6        | 15.1               | 32.6                               |
|                                    | 2   |                         | 7.54   | 1234.0        | 721.4           | 81.073                  | 611.3              | 2.019             |                             | 9.4               | 20.5        | 16.1               | 31.4                               |
|                                    | 3   |                         | 6.45   | 1070.7        | 624.1           | 81.073                  | 522.9              | 2.048             |                             | 9.5               | 19.4        | 14.6               | 32.9                               |
|                                    | 4   |                         |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    |                                    |
|                                    | 5   |                         |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    |                                    |
|                                    | %AC | 4.8                     |        |               |                 |                         |                    |                   | 2.036                       | 2.540             | 9.5         | 19.8               | 15.3                               |
| Gradation B<br>2.36mmpass<br>15.2% | 1   |                         | 6.37   | 1035.7        | 605.7           | 81.073                  | 516.4              | 2.006             |                             | 8.8               | 21.4        | 16.7               | 29.1                               |
|                                    | 2   |                         | 6.54   | 1005.7        | 592.0           | 81.073                  | 530.2              | 1.897             |                             | 8.3               | 25.7        | 22.0               | 24.4                               |
|                                    | 3   |                         | 6.53   | 1038.2        | 610.6           | 81.073                  | 529.4              | 1.961             |                             | 8.6               | 23.1        | 19.2               | 27.1                               |
|                                    | 4   |                         |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    |                                    |
|                                    | 5   |                         |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    |                                    |
|                                    | %AC | 4.5                     |        |               |                 |                         |                    |                   | 1.955                       | 2.552             | 8.6         | 23.4               | 19.3                               |
| Gradation C<br>2.36mmpass<br>12.2% | 1   |                         | 6.50   | 1007.7        | 593.5           | 81.073                  | 527.0              | 1.912             |                             | 7.8               | 25.4        | 21.4               | 23.5                               |
|                                    | 2   |                         | 6.50   | 1007.3        | 594.3           | 81.073                  | 527.0              | 1.911             |                             | 7.8               | 25.4        | 21.6               | 23.5                               |
|                                    | 3   |                         | 6.55   | 1004.6        | 594.1           | 81.073                  | 531.0              | 1.892             |                             | 7.7               | 26.2        | 22.7               | 22.7                               |
|                                    | 4   |                         |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    |                                    |
|                                    | 5   |                         |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                   |             |                    |                                    |
|                                    | %AC | 4.2                     |        |               |                 |                         |                    |                   | 1.905                       | 2.564             | 7.8         | 25.7               | 21.9                               |

#### 8.4 การคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt content)

การคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมหรือปริมาณแอสฟัลต์ที่มากที่สุดโดยไม่ทำให้คุณสมบัติของพอร์สแอสฟัลต์ต่ำกว่าข้อกำหนด โดยใช้วิธี Flow Down ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของแนวความคิดที่ว่า การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มากที่สุด โดยไม่ทำให้ Asphalt Mortar เกิดการไหลเกินกว่าข้อกำหนด จะได้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม การทดสอบ Flow Down จะทดสอบภายใต้เงื่อนไข ดังนี้

1. อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเซตตัว (Curing temperature and time): ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ขนาดของแผ่นบรรจุและน้ำหนักของตัวอย่างส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์: ขนาดแผ่นบรรจุมีความยาว 42 เซนติเมตร และกว้าง 27 เซนติเมตร โดยใช้บรรจุส่วนผสมพอร์สแอสฟัลต์น้ำหนัก 2 กิโลกรัม
3. การชั่งน้ำหนักของ Asphalt Mortar ที่ไหลลงมา: จะทำการชั่งน้ำหนักของ Asphalt Mortar ที่ไหลลงมาติดกับภาชนะ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมโดยวิธี Flow Down

## ขั้นตอนการหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมโดยวิธี Flow Down

1. เลือกใช้ Gradation A เตรียมตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง โดยใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ดังนี้ 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0% และ 5.5% ตามลำดับ
2. เตรียมภาชนะขนาด 42 x 27 เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักภาชนะที่ใช้บรรจุส่วนผสมแอสฟัลต์ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูล
3. ทำการผสม ส่วนผสมแอสฟัลต์ให้ได้น้ำหนักรวม 2 กิโลกรัม โดยใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามข้อที่ 1.
4. เทส่วนผสมแอสฟัลต์ลงในภาชนะที่เตรียมไว้ เกลี่ยให้กระจายทั่วภาชนะแล้วนำไปชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกข้อมูล
5. นำภาชนะที่บรรจุส่วนผสมแอสฟัลต์เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. นำภาชนะที่บรรจุส่วนผสมแอสฟัลต์ออกจากตู้อบ แล้วนำมาเทส่วนผสมแอสฟัลต์ออกให้เหลือเฉพาะส่วน Asphalt Mortar ที่ติดบนภาชนะเท่านั้น
7. ชั่งน้ำหนักภาชนะที่มี Asphalt Mortar ที่ติดบนภาชนะ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูล
8. ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 ให้ครบทั้ง 5 ตัวอย่าง คำนวณข้อมูลและ plot กราฟ เพื่อหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 7

จากข้อมูลในตารางที่ 7 และจากการ plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และค่า Run-off loss (%) จากนั้นลากเส้นสัมผัสส่วนโค้งบนและล่างจะได้จุดตัด ที่จุดตัดนี้เลือกลากเส้นลงมาที่แกน x จะได้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt content) ในที่นี้ได้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 4.5%

ตารางที่ 7 แสดงการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมโดยวิธี Flow Down

**Run-off Test of Porous Asphalt Mixture**

Kind of Mixture Porous Asphalt Mixture

Kind of Asphalt Modified Asphalt Type H

Examiner H.Imai

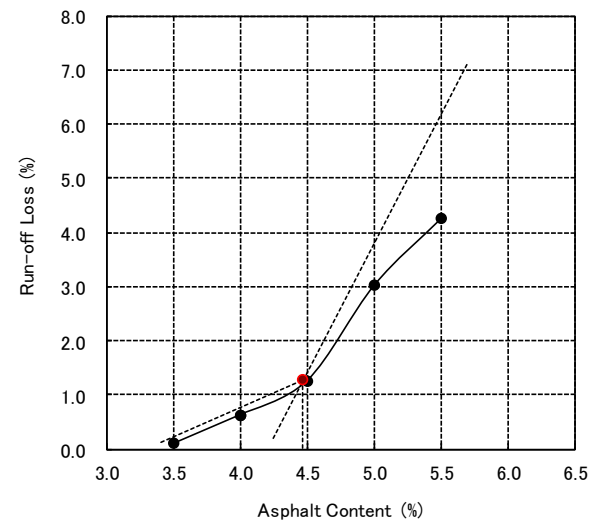
Temperature of Asphalt 170 °C

Temperature of Aggregate 175 °C

Mixing Temperatur 175 °C

Curing Time 1 hour Curing Temperature 170 °C

| No.     | Asphalt Content (%) | ① Bat (g) | ② Asphalt Mixture + Bat (g) | ③=②-① Asphalt Mixture Before Test (g) | ④ Asphalt Mortar + Bat (g) | ⑤=④-① Asphalt Mortar (g) | ⑥=⑤/③ Run-off Loss (%) |
|---------|---------------------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1       | 3.5                 | 1316.5    | 3296.9                      | 1980.4                                | 1318.3                     | 1.8                      | 0.09                   |
| 2       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| 3       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| Average |                     |           |                             |                                       |                            |                          | 0.09                   |
| 1       | 4.0                 | 1500.0    | 3473.2                      | 1973.2                                | 1512.3                     | 12.3                     | 0.62                   |
| 2       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| 3       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| Average |                     |           |                             |                                       |                            |                          | 0.62                   |
| 1       | 4.5                 | 1503.1    | 3485.2                      | 1982.1                                | 1528.1                     | 25.0                     | 1.26                   |
| 2       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| 3       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| Average |                     |           |                             |                                       |                            |                          | 1.26                   |
| 1       | 5.0                 | 1060.3    | 3033.9                      | 1973.6                                | 1120.0                     | 59.7                     | 3.02                   |
| 2       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| 3       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| Average |                     |           |                             |                                       |                            |                          | 3.02                   |
| 1       | 5.5                 | 995.9     | 2964.7                      | 1968.8                                | 1079.8                     | 83.9                     | 4.26                   |
| 2       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| 3       |                     |           |                             |                                       |                            |                          |                        |
| Average |                     |           |                             |                                       |                            |                          | 4.26                   |



Optimum Asphalt Content 4.5 %

## 8.5 การทดสอบคุณสมบัติของพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต

เมื่อได้สัดส่วนขนาดคละและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมแล้ว ใช้ในการเตรียมตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม โดยแบ่งการเตรียมตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 6 ดังนี้

1. การเตรียมก้อนตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับทดสอบ เป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว เตรียมจากการบดอัดโดยวิธี Marshall ทำการอัดด้านละ 50 ครั้ง ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.604/2517 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ Marshall” อุณหภูมิที่บดอัดใช้  $150 \pm 5$  องศาเซลเซียส จำนวน 8 ก้อน เพื่อใช้ทดสอบ Stability/Flow และทดสอบ Cantabro Abrasion

2. การเตรียมก้อนตัวอย่างพอร์สแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับทดสอบ Dynamic stability โดยเตรียมตัวอย่างเป็นแผ่นขนาด  $30.5 \times 40$  เซนติเมตร เตรียมโดยเครื่อง Roller Compactor เพื่อใช้ในการทดสอบ Wheel Tracking Test



รูปที่ 6 แสดงก้อนตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ว

เมื่อเตรียมตัวอย่างตามรายละเอียดข้างต้นแล้วจะนำการทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

8.5.1 ทดสอบ Stability และ Flow ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.604/2517 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” เทียบเท่า ASTM D-1559

8.5.2 ทดสอบหาค่า Cantabro Abrasion ตามวิธีการทดลองที่ NLT.352/86 (The National Laboratory of Transportation Madrid, Spain) โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

8.5.3 ทดสอบ Dynamic Stability โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Wheel tracking test ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบ 21 รอบต่อนาที (ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการประเทศญี่ปุ่น)

9. ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

9.1 ผลการทดสอบ Stability/Flow และ Cantabro Abrasion แสดงไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบ Stability/Flow และ Cantabro Abrasion

Data of Specimen for Marshall Test

| Kind of Mixture  |      | Porous Asphalt Mixture         |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                     |             |                    |                     |            |                      |      |
|--|------|--------------------------------|--------|---------------|-----------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|-------------|--------------------|---------------------|------------|----------------------|------|
| kind of Asphalt  |      | Modified Asphalt by TPS of 12% |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                     |             |                    |                     |            |                      |      |
|  |      | Gravity of Asphalt ①'          |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                     |             |                    |                     | 1.03       |                      |      |
| Gradation Type   | No.  | Mix Rate of Asphalt            | Height | Weight in Air | Weight in Water | Bottom Area of Specimen | Volume of Specimen | Density           | Maximum Theoretical Density | Capacity of Asphalt | Air Void    | Connected Air Void | Marashall Stability | Flow Value | Cantabro Loss (25°C) |      |
|  |      | %                              | cm     | g             | g               | cm <sup>2</sup>         | cm <sup>3</sup>    | g/cm <sup>3</sup> | g/cm <sup>3</sup>           | %                   | %           | %                  | kN                  | 1/100 "    | weight               | loss |
|  |      | ①                              | ②      | ③             | ④               | ⑤                       | ⑥                  | ⑦                 | ⑧                           | ⑦                   | ⑧           | ⑨                  |                     |            | g                    | %    |
|  |      |                                |        |               |                 |                         | ②×⑤                | ③/⑥               |                             | (①×⑦)/①'            | (①-⑦/⑧)×100 | (⑥-(③-④))/⑤×100    |                     |            |                      |      |
| Gradation A<br>4.50%<br>(July 4, 2014)                           | 1    |                                | 6.22   | 1037.5        | 605.4           | 81.073                  | 504.3              | 2.057             |                             | 9.0                 | 19.0        | 14.3               | -                   | -          | 981.08               | 5.44 |
|  | 2    |                                | 6.29   | 1033.6        | 609.9           | 81.073                  | 510.0              | 2.027             |                             | 8.9                 | 20.2        | 16.9               | 4.19                | 15         | -                    | -    |
|  | 3    |                                | 6.35   | 1036.5        | 606.4           | 81.073                  | 514.8              | 2.013             |                             | 8.8                 | 20.8        | 16.5               | -                   | -          | 958.56               | 7.52 |
|  | 4    |                                | 6.20   | 1032.4        | 605.8           | 81.073                  | 502.7              | 2.054             |                             | 9.0                 | 19.2        | 15.1               | 4.35                | 14         | -                    | -    |
|  | 5    |                                | 6.20   | 1029.8        | 607.2           | 81.073                  | 502.7              | 2.049             |                             | 8.9                 | 19.4        | 15.9               | 4.30                | 13         | -                    | -    |
|  | % AC | 4.5                            |        |               |                 |                         |                    | 2.040             | 2.541                       | 8.9                 | 19.7        | 15.8               | 4.28                | 14         | 969.8                | 6.5  |
| Gradation A<br>4.50%<br>(July 7, 2014)<br><b>(New Aggregate)</b> | 1    |                                | 6.31   | 1085.7        | 639.3           | 81.073                  | 511.6              | 2.122             |                             | 9.3                 | 16.5        | 12.7               | 4.94                | 13         | -                    | -    |
|  | 2    |                                | 6.34   | 1083.7        | 634.6           | 81.073                  | 514.0              | 2.108             |                             | 9.2                 | 17.0        | 12.6               | 5.44                | 14         | -                    | -    |
|  | 3    |                                | 6.34   | 1086.3        | 635.4           | 81.073                  | 514.0              | 2.113             |                             | 9.2                 | 16.8        | 12.3               | 5.96                | 12         | -                    | -    |
|  | 4    |                                |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                     |             |                    |                     |            |                      |      |
|  | 5    |                                |        |               |                 |                         |                    |                   |                             |                     |             |                    |                     |            |                      |      |
|  | % AC | 4.5                            |        |               |                 |                         |                    | 2.115             | 2.541                       | 9.2                 | 16.8        | 12.5               | 5.45                | 13         | -                    | -    |

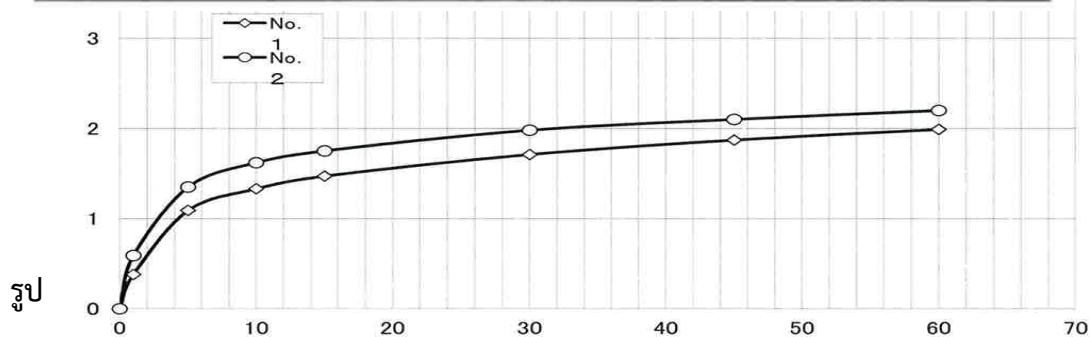
## 9.2 ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test

ผลการทดสอบ Wheel Tracking Test แสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (ทดสอบจากห้องปฏิบัติการประเทศไทยญี่ปุ่น)

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, Reineering 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.)  | Deformation (mm)                          | ⑥ d 1                           | 0.38  | 0.59 |         |  |
|                                       |  |   | ⑦ d 5                           | 1.09  | 1.35 |         |  |
|                                       |  |   | ⑧ d10                           | 1.33  | 1.62 |         |  |
|                                       |  |   | ⑨ d15                           | 1.47  | 1.75 |         |  |
|                                       |  |   | ⑩ d30                           | 1.71  | 1.98 |         |  |
|                                       |  |   | ⑪ d45                           | 1.87  | 2.10 |         |  |
|                                       |  |   | ⑫ d60                           | 1.99  | 2.20 |         |  |
|                                       | ⑬ d 0 (mm)   | ⑪×4 - ⑫×3                                 | 1.51                            | 1.80  |      | ⑭ 1.66  |  |
|                                       | ⑮ DS (E/mm)  | ((A)×15)/(⑬-⑪)                            | 5250                            | 6300  |      | ⑯ 5775  |  |
|                                       | ⑰ Square of difference from $\bar{x}$                            | $(⑩-X_i)^2$                               | X <sup>1</sup> 275625           | X <sup>2</sup> 275625                       |      |         |  |
|                                       | ⑱ Standard deviation   | $S = (\sum(⑰/n))^{0.5}$                   | 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 |   |                                 |   |      |         |  |



ที่ 7 แสดงผลการทดสอบ Wheel Tracking Test (จากห้องปฏิบัติการประเทศไทยญี่ปุ่น)

## 10. ผลการทดสอบในภาคสนาม

ผลจากการศึกษาการออกแบบผิวทาง Porous Asphalt โดยใช้วัสดุในประเทศไทย กรมทางหลวงสามารถดำเนินการจัดทำแปลงทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 10.1 การออกแบบ Job Mix Formula

ในการออกแบบผิวทาง Porous Asphalt สำหรับงานชั้น Wearing Course ที่จะดำเนินการจัดทำแปลงทดสอบ ออกแบบการทดลองตามอันดับการทดลอง ดังนี้

10.1.1 ออกแบบตามอันดับการทดลองที่ AC-8/2559 ลงวันที่ 25 พฤศจิกายน 2558 สำหรับงานชั้น Wearing Course วัสดุรวม หินฝุ่น, หิน 3/8” และหิน 3/4” เลือกใช้หินชนิด Andesite จากแหล่งโรงโม่หินทุ่งคาฮาเบอร์ ต.แก่งคอย อ.ท่าตูม จ.สระบุรี และเลือกใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) เป็นวัสดุผสมแทรก (Filler) โดยอัตราส่วนของ Proportion ระหว่าง Filler : Bin 1 : Bin 2 : Bin 3 : Bin 4 เป็น 5 : 8 : 28 : 59 : 0 ตามลำดับ เลือกใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด PMA ปริมาณยางที่ใช้ในการออกแบบเลือกใช้ที่ 4.50 % (Mass of by Agg.)

10.1.2 ออกแบบตามอันดับการทดลองที่ Job Mix for Porous Asphalt Section : 2 สำหรับงานชั้น Wearing Course วัสดุรวม หินฝุ่น เลือกใช้หินชนิด Lime Stone จากแหล่งโรงโม่หินศิลาเลิศจิต จ.สระบุรี และหิน 1/2” จากแหล่งโรงโม่หินศิลามิตรเจริญ จ.สุพรรณบุรี เลือกใช้แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) เป็นวัสดุผสมแทรก (Filler) โดยอัตราส่วนของ Proportion ระหว่าง Filler : Bin 1 : Bin 2 : Bin 3 : Bin 4 เป็น 3 : 9 : 0 : 88 : 0 ตามลำดับ เลือกใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC.60-70 ผสม TPS ปริมาณยางที่ใช้ในการออกแบบเลือกใช้ที่ 4.50% (Mass of by Agg.)

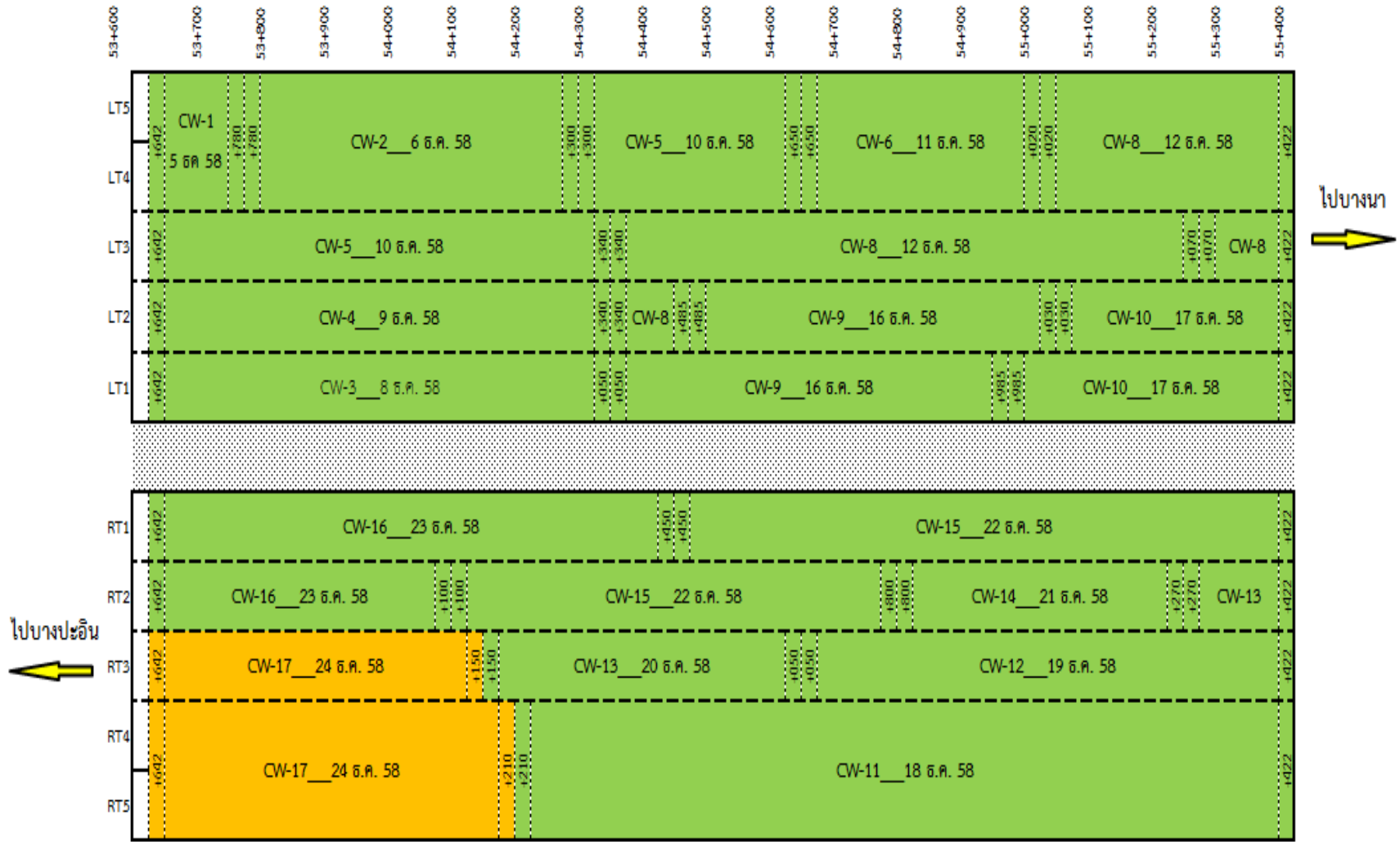
### ตารางที่ 10 การออกแบบผิวทาง Porous Asphalt

| อันดับการทดลอง | มวลรวม |       |       |       |       | แหล่งวัสดุ   | ชนิด AC.                      | สารผสมเพิ่ม |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|--|-------------------------------|-------------|
|                | Filler | Bin 1 | Bin 2 | Bin 3 | Bin 4 |  |                               |             |
| AC-8/2559      | 4      | 8     | 28    | 59    | 0     | Andesite จากแหล่งโรงโม่หินทุ่งคาฮาเบอร์                  | PMA 4.50% (Mass of Agg.)      | -           |
| Section : 2    | 3      | 12    | 0     | 85    | 0     | Lime Stone จากแหล่งโรงโม่หินศิลาเลิศจิต และศิลามิตรเจริญ | AC.60-70 4.50% (Mass of Agg.) | TPS         |

## 10.2 แปลงทดสอบ

ดำเนินการทำแปลงทดสอบในงานบำรุงทาง ตามสัญญาเลขที่ บทพ.1/57/2558 ลงวันที่ 28 กันยายน 2558 งานจ้างเหมาทำการเสริมผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ POROUS ASPHALT CONCRETE ตามแบบสำนักงานบำรุงทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองที่ 1 บนทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 ตอน คลองพระยาสุเรนทร์ – พระประแดง ระหว่าง กม.53+650 – กม.56+400 Lt., Rt. (เป็นช่วงๆ) เริ่มต้นสัญญาวันที่ 29 กันยายน 2558 สิ้นสุดสัญญาวันที่ 27 มกราคม 2559 โดยบริษัท สหสถาพรขนส่ง จำกัด เป็นผู้รับจ้าง

เริ่มดำเนินการก่อสร้างเสริมผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ POROUS ASPHALT CONCRETE ตั้งแต่วันที่ 5 ธันวาคม 2558 สิ้นสุดการก่อสร้างเสริมผิวทางวันที่ 24 ธันวาคม 2558 ก่อสร้างแล้วเสร็จทั้งหมดรวมระยะทาง 1.777 กิโลเมตร คิดเป็นพื้นที่รวม 66,104.400 ตารางเมตร



หมายเหตุ : แปลงที่ CW-17\_24 บ.ค. 58 คือ แปลงทดลองใช้เอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ผสม TPS

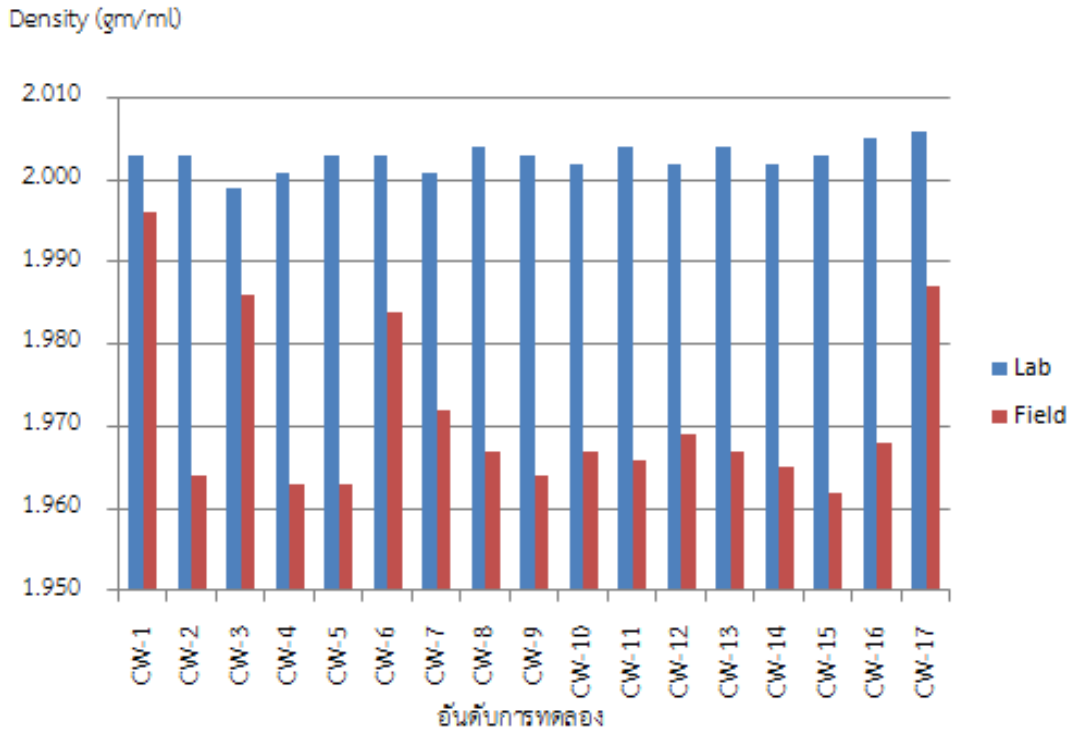
รูปที่ 8 ผังงาน เสริมผิวทางพอร์ัสแอสฟัลต์ POROUS ASPHALT CONCRETE ทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 ตอน คลองพระยาสุเรนทร์ - พระประแดง ที่ กม.53+650-กม.55+400 LT., RT. (เป็นช่วงๆ)

### 10.3 ผลการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการภาคสนาม

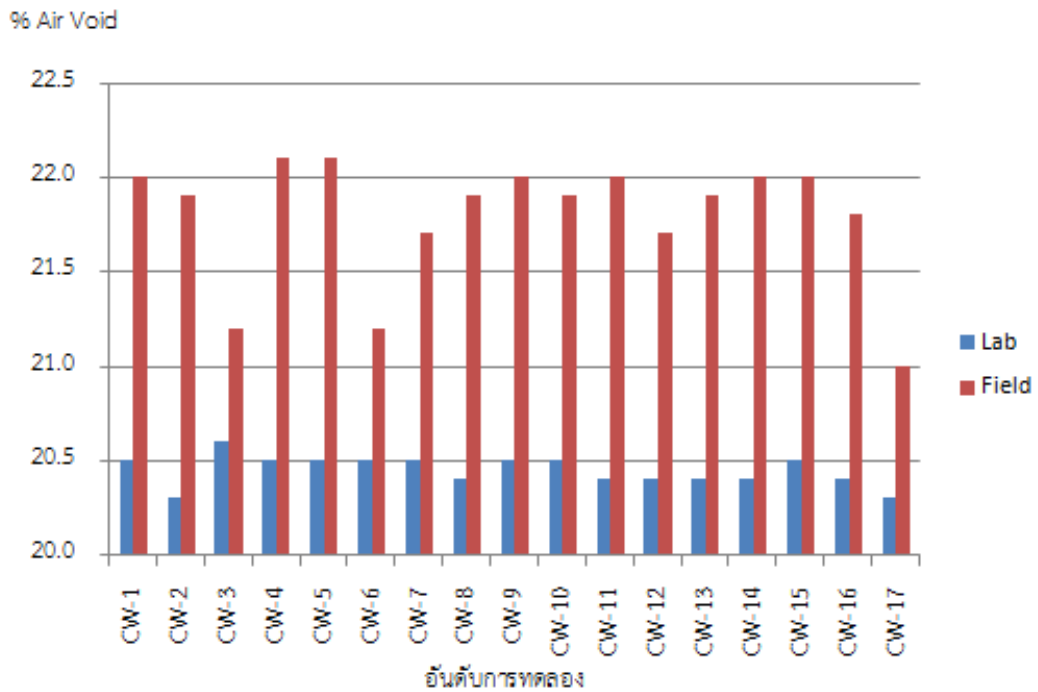
สำหรับการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการภาคสนาม ณ โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งตั้งอยู่ที่ กม. 63+800 ด้านขวาทาง บนทางหลวงหมายเลข 1 ทำการตรวจสอบตามลำดับการทดลองที่ CW-1 ถึง CW-17 โดยมีรายละเอียดผลการตรวจสอบตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการตรวจสอบค่า Density และค่า Air Void

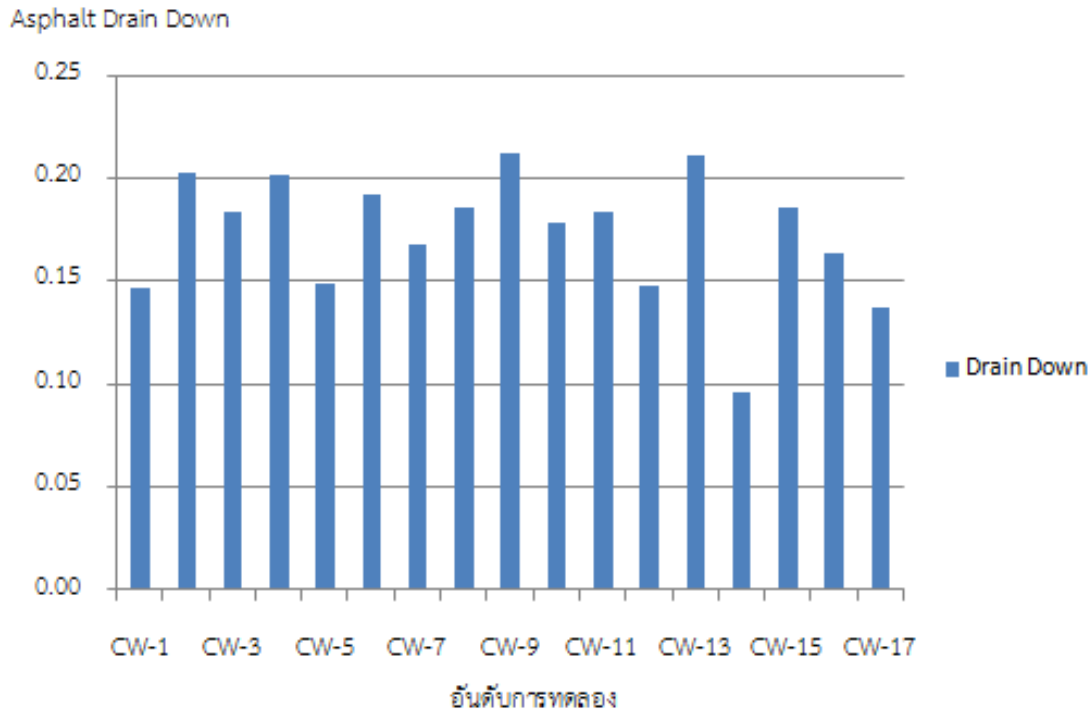
| ลำดับ<br>การ<br>ทดลอง | ค่า Density (gm/ml) |       | % Compaction | % Air Void |       | หมายเหตุ                           |
|-----------------------|---------------------|-------|--------------|------------|-------|------------------------------------|
|                       | Lab                 | Field |              | Lab        | Field |                                    |
| CW-1                  | 2.003               | 1.996 | 99.7 %       | 20.5       | 22.0  | ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ PMA.            |
| CW-2                  | 2.003               | 1.964 | 98.1 %       | 20.3       | 21.9  | "                                  |
| CW-3                  | 1.999               | 1.986 | 99.3 %       | 20.6       | 21.2  | "                                  |
| CW-4                  | 2.001               | 1.963 | 98.1 %       | 20.5       | 22.1  | "                                  |
| CW-5                  | 2.003               | 1.963 | 98.0 %       | 20.5       | 22.1  | "                                  |
| CW-6                  | 2.003               | 1.984 | 99.1 %       | 20.5       | 21.2  | "                                  |
| CW-7                  | 2.001               | 1.972 | 98.6 %       | 20.5       | 21.7  | "                                  |
| CW-8                  | 2.004               | 1.967 | 98.2 %       | 20.4       | 21.9  | "                                  |
| CW-9                  | 2.003               | 1.964 | 98.1 %       | 20.5       | 22.0  | "                                  |
| CW-10                 | 2.002               | 1.967 | 98.3 %       | 20.5       | 21.9  | "                                  |
| CW-11                 | 2.004               | 1.966 | 98.1 %       | 20.4       | 22.0  | "                                  |
| CW-12                 | 2.002               | 1.969 | 98.4 %       | 20.4       | 21.7  | "                                  |
| CW-13                 | 2.004               | 1.967 | 98.2 %       | 20.4       | 21.9  | "                                  |
| CW-14                 | 2.002               | 1.965 | 98.2 %       | 20.4       | 22.0  | "                                  |
| CW-15                 | 2.003               | 1.962 | 98.0 %       | 20.5       | 22.0  | "                                  |
| CW-16                 | 2.005               | 1.968 | 98.2 %       | 20.4       | 21.8  | "                                  |
| CW-17                 | 2.006               | 1.987 | 99.1 %       | 20.3       | 21.0  | ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 ผสม TPS |



รูปที่ 10 กราฟค่า Density



รูปที่ 11 กราฟค่า Air Void



รูปที่ 12 กราฟค่า Asphalt Drain Down

#### 10.4 ผลการประเมินความฝืดของผิวจราจร

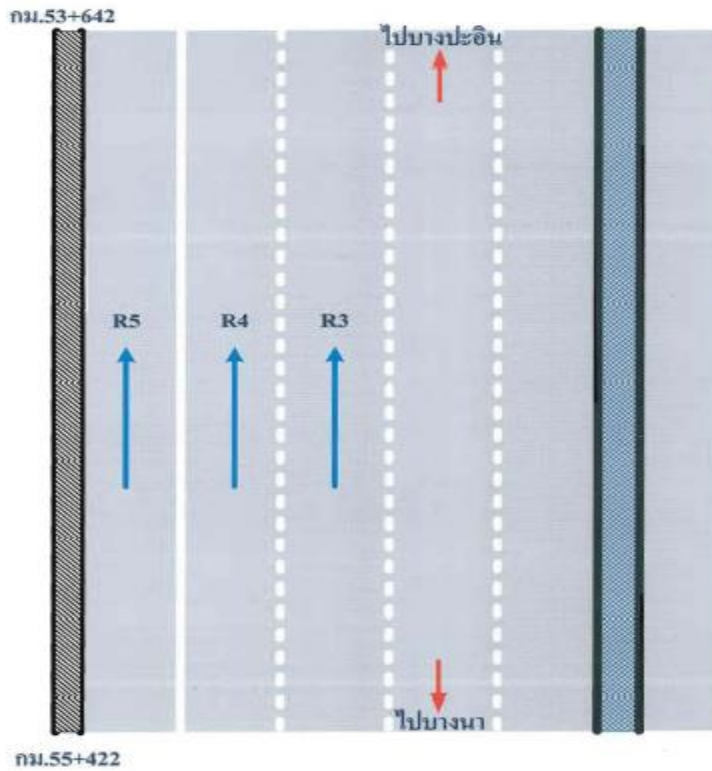
การประเมินค่าความฝืดของผิวทาง Porous Asphalt ที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จไปแล้วนั้น เพื่อเป็นการตรวจสอบและประเมินสภาพความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง เป็นการสำรวจสภาพความปลอดภัยของผู้ใช้ทางโดยตรง จัดเป็นข้อมูลที่สำคัญมากและควรพิจารณาในการบำรุงรักษาสภาพทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียจากอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้ทาง ในปัจจุบันส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ซึ่งเป็นผู้ทดสอบวัดค่าความฝืดของทาง (Friction) โดยเครื่องมือ Fix Slip Friction Test (T-10) ตามหนังสือที่ สว. 5/14 ลงวันที่ 18 มกราคม 2559 ได้ทำการออกปฏิบัติงานระหว่างวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2559 ถึง 2 มีนาคม 2559 ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ดัชนีชี้วัดค่า Friction

| ลำดับที่ | ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด | คำอธิบาย  |
|----------|------------------------|---|
| 1        | $F > 0.45$             | พื้นผิวมีการยึดเกาะดี (Good Grip)                 |
| 2        | 0.35 – 0.45            | พื้นผิวมีการยึดเกาะค่อนข้างดี (Fairly Good Grip)  |
| 3        | 0.25 – 0.35            | พื้นผิวมีการยึดเกาะค่อนข้างลื่น (Fairly Slippery) |
| 4        | $F < 0.25$             | พื้นผิวมีการยึดเกาะลื่น (Slippery)                |

ตารางที่ 13 ผลการตรวจสอบค่าความฝืดของผิวทางโดยเครื่องมือ Fix Slip Friction Test (T-10)

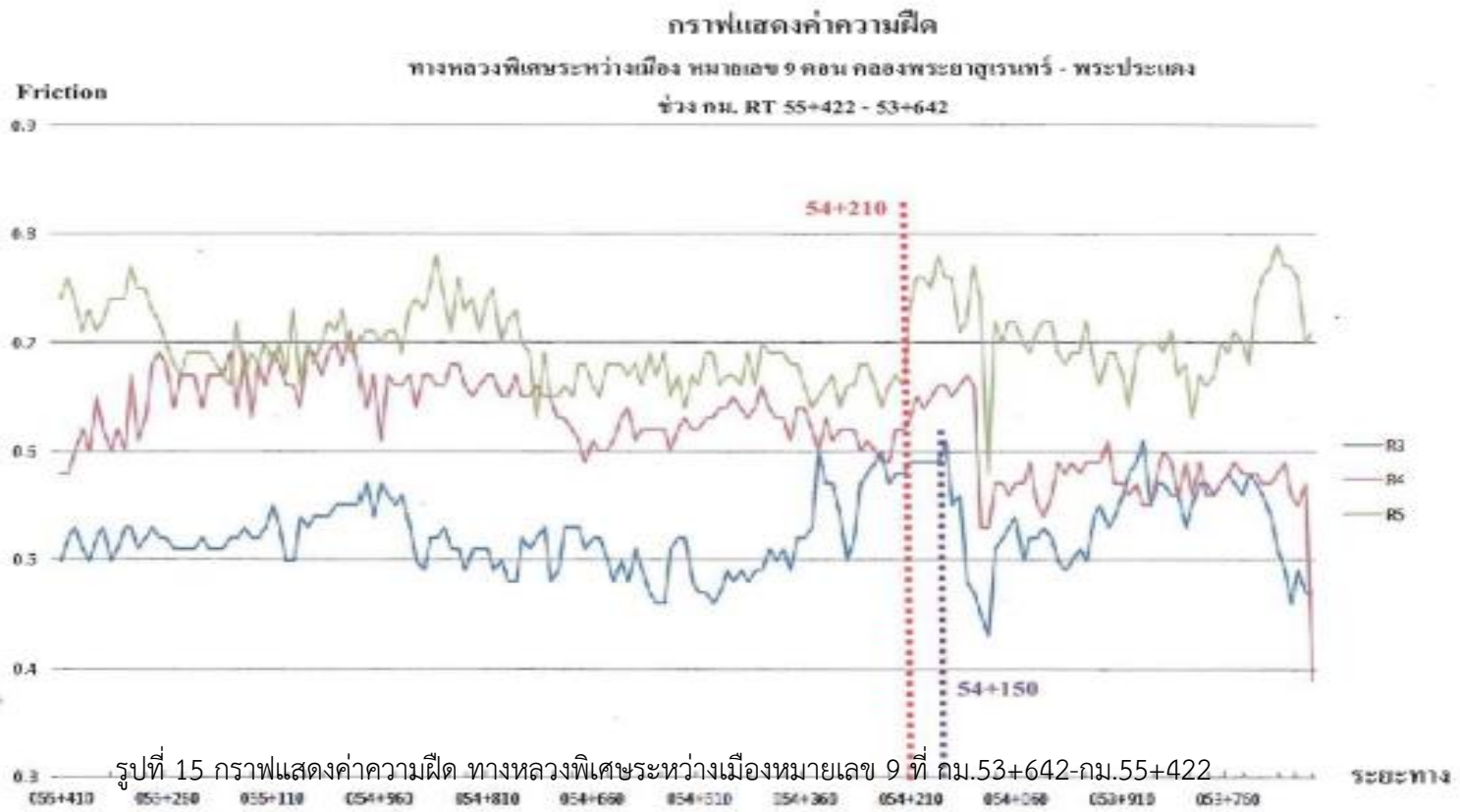
| ระยะทาง<br>กม. - กม. | กม. รวม | ค่าเฉลี่ย<br>Friction | ลักษณะผิวทาง   | หมายเหตุ  |
|----------------------|---------|-----------------------|----------------|-----------|
| 055+422 - 054+150    | 1.272   | 0.52                  | Porous Asphalt | ด้าน Rt.3 |
| 054+150 - 053+642    | 0.508   | 0.54                  | Porous Asphalt | ด้าน Rt.3 |
| 055+422 - 054+210    | 1.212   | 0.64                  | Porous Asphalt | ด้าน Rt.4 |
| 054+210 - 053+642    | 0.568   | 0.58                  | Porous Asphalt | ด้าน Rt.4 |
| 055+422 - 054+210    | 1.212   | 0.69                  | Porous Asphalt | ด้าน Rt.5 |
| 054+210 - 053+642    | 0.568   | 0.71                  | Porous Asphalt | ด้าน Rt.5 |



รูปที่ 13 ผังทดสอบ ค่าความฝืดโดยเครื่องมือ Fix Slip Friction Test (T-10) ทางหลวงพิเศษ  
ระหว่างเมืองหมายเลข 9 ที่ กม.53+642-กม.55+422



รูปที่ 14 เครื่องมือ Fix Slip Friction Test (T-10)



## 11. สรุปผลการศึกษาและแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้

### 11.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการทั้งในสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบและห้องปฏิบัติการประเทศญี่ปุ่น (Dynamic Stability) พบว่าค่า Marshall Stability, Air void, Connected Air Void, Flow, Cantabro และ Dynamic Stability มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.414/2542 และมาตรฐานพอร์สแอสฟัลต์ประเทศญี่ปุ่น (Modified version from Japanese Standard for PA) กำหนด รายละเอียดแสดงในตารางที่ 14 จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในประเทศไทย ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ หินปูน (Limestone) และแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60-70 ปรับปรุงโดยการเติม TPS (TAFPACK-Super) 12 % ของน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์ ออกแบบโดยวิธี Marshall และหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Flow Down Test สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ให้มีคุณภาพและคุณสมบัติตามมาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 14 สรุปผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

| Test Item                   |                      | Result | Standard   |
|-----------------------------|----------------------|--------|------------|
| Asphalt Content             | (%)                  | 4.5    | -          |
| Maximum Theoretical Density | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.541  | -          |
| Density                     | (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.049  | -          |
| Air Void                    | (%)                  | 19.7   | Around 20  |
| Connected Air Void          | (%)                  | 15.9   | Min. 13.0  |
| Marshall Stability          | (kN)                 | 4.28   | Min. 3.43  |
| Flow Value                  | (1/100cm)            | 20.51  | Min. 20    |
| Cantabro Loss At 20°C       | (%)                  | 6.5    | Max. 20    |
| Dynamic Stability           | (pass/mm)            | 5,775  | Min. 3,000 |

### 11.2 แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้

ผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์ (Porous Asphalt) เป็นผิวทางชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติเฉพาะ คือเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงจึงทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้สามารถเพิ่มสมรรถนะในการขับขี่รถยนต์ สามารถลดละอองน้ำที่กระเซ็นรบกวนพาหนะคันหลังที่วิ่งตามมาทำให้เพิ่มทัศนวิสัยในการขับขี่ขณะถนนเปียก นอกจากนี้ยังช่วยลดปรากฏการณ์ Hydroplaning คือ ทำให้รถไม่ลื่นไถลขณะวิ่งด้วยความเร็วหรือเบรกกะทันหันบนผิวถนนที่มีน้ำขังอยู่ ข้อเด่นของการใช้ผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์ จึงอยู่ที่การลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุกับผู้ใช้ทาง และข้อเด่นของพอร์สแอสฟัลต์อีกประการ คือ ความสามารถในการดูดซับเสียงที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างยางรถยนต์และผิวทาง ซึ่งสามารถลดมลภาวะทางเสียงที่เกิดขึ้นต่อผู้อยู่อาศัยสองข้างทางอีกด้วย ลักษณะพิเศษที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้นนี้ ไม่สามารถพบได้ในผิวทางแบบทั่วไป ถึงแม้แต่เป็นผิวทางที่มีลักษณะคล้ายกันก็ตาม เช่น ผิวทางแบบ Stone Mastic Asphalt (SMA) ซึ่งผิวทาง SMA นั้นไม่ได้มีจุดประสงค์เพื่อการระบายน้ำโดยตรง เนื่องจาก Mix Design ของ SMA ถูก

กำหนดปริมาณช่องว่าง (air voids) อยู่ที่ 4% โดยส่วนใหญ่แล้ว SMA จะถูกเลือกใช้สำหรับผิวทางที่ต้องการความแข็งแรงสูง และสามารถรับน้ำหนักกดจราจรได้มาก นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับผิวทางที่ต้องการให้มีค่าความเสียดทานที่ค่อนข้างสูงด้วย ส่วนความสามารถในการระบายน้ำและการลดมลภาวะทางเสียง ผิวทางแบบพอร์สแอสฟัลต์จะทำหน้าที่ได้ดีกว่า

### 11.3 การบำรุงดูแลรักษาผิวทางพอร์สแอสฟัลต์

การบำรุงดูแลรักษาผิวทางพอร์สแอสฟัลต์เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากความสามารถในการระบายน้ำของผิวทางชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับการบำรุงดูแลรักษาไม่ให้เกิดการอุดตันของผิวทางเป็นสำคัญ ข้อเสนอแนะในการบำรุงดูแลรักษาผิวทางพอร์สแอสฟัลต์มีดังนี้

1) ในการดูแลรักษาผิวทางพอร์สแอสฟัลต์นั้น ควรเน้นที่การป้องกันการอุดตันของผิวทางเป็นพิเศษ ซึ่งสามารถทำได้โดยทำความสะอาดและดูดฝุ่นผิวทางอย่างน้อยปีละ 2 - 4 ครั้ง และควรดูแลรักษาบริเวณที่มีการปลูกต้นไม้ติดกับผิวทาง โดยทำความสะอาดทันทีเมื่อมีน้ำที่ชะล้างจากหน้าดินไหลลงสู่ผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ นอกจากนี้ควรมีการป้องกันไม่ให้มีกิจกรรมก่อสร้างเกิดขึ้นบนผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ที่ไม่มีการป้องกันไว้ และควรป้องกันไม่ให้มีรถบรรทุกที่มีล้อสกปรกหรือไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดใช้ผิวทางพอร์สแอสฟัลต์

2) ควรมีการตรวจสอบความเสียหายใต้อร่องล้อ (Rutting) และความเสียหายที่เกิดจากการหลุดร่อน (Raveling) อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง ถ้ามีความเสียหายของผิวทางเกิดขึ้นที่มีพื้นที่ขนาดเล็กกว่า 5 ตารางเมตร สามารถปะซ่อมได้ด้วยวัสดุแอสฟัลต์ธรรมดาหรือวัสดุพอร์สแอสฟัลต์ แต่ถ้าความเสียหายมีพื้นที่ขนาดใหญ่กว่า 5 ตารางเมตร ควรปะซ่อมด้วยวัสดุพอร์สแอสฟัลต์เท่านั้น

3) ในการดูแลรักษาผิวทางพอร์สแอสฟัลต์แบบทั่วไปนั้น ควรมีการตั้งป้ายหรือทำสัญลักษณ์บริเวณที่เป็นผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ เพื่อเป็นการบ่งชี้ถึงตำแหน่งของช่วงถนนที่เป็นผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ และเป็น การเตือนให้กับผู้บำรุงดูแลรักษาทางว่าต้องมีการดูแลเป็นพิเศษ

4) ถ้ามีการดูแลรักษาผิวทางพอร์สแอสฟัลต์เป็นอย่างดีแล้ว ผิวทางพอร์สแอสฟัลต์สามารถคงอยู่ได้ถึง 20 ปี แต่เมื่อใดหากขาดการดูแลรักษาแล้วผิวทางพอร์สแอสฟัลต์เกิดอุดตัน ผู้ดูแลผิวทางจะต้องทำการดูดฝุ่นขึ้นมาจนกว่าความสามารถในการระบายน้ำกลับมาเท่าเดิม หรือถ้าทำไม่ได้ควรมีการรื้อผิวเก่าออกแล้วเทผิวทางพอร์สแอสฟัลต์ใหม่ลงไป

\* \* \* \* \*

