

ผลกระทบของน้ำต่อผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้ตะกรันเตา หลอมเป็นวัสดุมวลรวม

The Effect of Water on Stone Mastic Asphalt using Steel Furnace Slag Aggregate

คำนำ

ผิวทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภท เช่น บนสะพานพระราม 9 ซึ่งเป็นแบบแอสฟัลต์คอนกรีต โดยสะพานพระราม 9 เป็นสะพานซึ่งข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาเปิดใช้งานครั้งแรกปี พ.ศ. 2530 เป็นส่วนหนึ่งของทางพิเศษเฉลิมมหานคร (ระบบทางด่วนขั้นที่ 1) ที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นมาโดยตลอดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันตลอดระยะเวลา 17 ปี ที่ผ่านมา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ในฐานะหน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลบำรุงรักษาทั้งในส่วนโครงสร้างสะพานและผิวทางมาโดยตลอด แต่เนื่องด้วยสภาพการจราจรที่หนาแน่นและความลาดชันของสะพานพระราม 9 ทำให้ผิวทางต้องรับน้ำหนักบรรทุกมากจนเกิดการเปลี่ยนรูปในหลายลักษณะ

จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาความเหมาะสมโดยมีการพิจารณาปรับปรุงส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตในส่วนของวัสดุเชื่อมประสานแต่ยังคงใช้วัสดุมวลรวมซึ่งได้แก่ หินแกรนิตตามขนาดละเอียดเดิม โดยการนำเอาแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมสารโพลิเมอร์กับแอสฟัลต์ซีเมนต์เรียกว่า โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (Polymer Modified Asphalt เรียกย่อว่า PMA) เพื่อนำมาเป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในการปูผิวทางบนสะพานพระราม 9 ภายหลังจากการใช้งานและการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องทำให้ทราบว่าผิวทางยังไม่มีประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณจราจรในสภาพปัจจุบันได้

การออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตคือการหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ กับวัสดุมวลรวมเพื่อให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทำผิวทางของถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพและคงทนถาวรตลอดอายุการใช้งานที่ยาวนาน ในต่างประเทศทั้งในยุโรปและอเมริกาได้มีการศึกษาปรับปรุงขนาดละเอียดของวัสดุมวลรวมตามคุณสมบัติสโตนแมสติกแอสฟัลต์ (Stone Mastic Asphalt เรียกย่อว่า SMA) และนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ได้ผล

สรุปออกมาค่อนข้างดีโดยเฉพาะการด้านทานการเกิดร่องล้อและการเปลี่ยนรูปร่างการ จึงเป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เหมาะสมกับผิวทางบนสะพานพระราม 9

ในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้วัสดุมวลรวม 2 ชนิด คือ หินแกรนิตและตะกรันเตาหลอมมาเป็นวัสดุมวลรวมเพื่อนำไปใช้ปูผิวทางบนสะพานพระราม 9 ซึ่งเป็นพื้นที่ในประเทศไทย ที่ตั้งอยู่ในเขตมรสุมมีฝนตกชุกทำให้มีปริมาณน้ำฝนมาก โดยที่น้ำเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตต้องสูญเสียสภาพการเกาะยึดภายในไป จนเกิดความเสียหายตามมา

ด้วยเหตุผลดังกล่าวเบื้องต้น จึงควรศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงขนาดกะของวัสดุมวลรวมตามคุณสมบัติสโตนแมสติกแอสฟัลต์ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตบนสะพานพระราม 9 ในสภาพที่เปียกชื้น และเพื่อเป็นการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำต่อผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยการปรับปรุงขนาดกะของวัสดุมวลรวมตามคุณสมบัติสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยแบ่งการศึกษาเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินแกรนิต และตะกรันเตาหลอม เพื่อนำมาเป็นวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีต
2. ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิต และ ตะกรันเตาหลอมเป็นวัสดุมวลรวมตามคุณสมบัติ SMA ที่บดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ กับบดอัดด้วยเครื่องมือไจราโทรี (Superpave Gyratory Compactor) โดยใช้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน
3. ศึกษาผลกระทบของน้ำต่อคุณสมบัติผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์

ขอบเขตการวิจัย

1. ในการศึกษาจะใช้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (Polymer Modified Asphalt เรียกย่อว่า PMA) ที่ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงเป็นวัสดุเชื่อมประสาน
2. วัสดุมวลรวมที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ หินแกรนิต และ ตะกรันเตาหลอม โดยใช้ขนาดคละที่ใช้ในการออกแบบตามคุณสมบัติสโตนแมสติกแอสฟัลต์
3. หาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิต และ ตะกรันเตาหลอมเป็นวัสดุมวลรวมตามคุณสมบัติสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่บดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ โดยใช้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์
4. หาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิต และ ตะกรันเตาหลอมเป็นวัสดุมวลรวมที่บดอัดด้วยเครื่องมือ Superpave Gyratory Compactor ตามวิธีซูเปอร์เพฟ โดยใช้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์
5. หาผลกระทบของน้ำที่มีต่อแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต และ ตะกรันเตาหลอมผสมกับโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์

การตรวจเอกสาร

เป็นการนำเสนอความเป็นมาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ พร้อมกับจะนำเสนอผลการศึกษา และงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยปรับปรุงขนาด คละของวัสดุมวลรวมตามคุณสมบัติสโตนแมสติกแอสฟัลต์ และการทดสอบผลกระทบจากน้ำต่อ แอสฟัลต์คอนกรีต

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สโตนแมสติกแอสฟัลต์ (Stone Mastic Asphalt : SMA)

Brown (1994) ได้ทำการศึกษาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคุณสมบัติของ สโตนแมสติกแอสฟัลต์ และแอสฟัลต์คอนกรีตเกรดหนาแน่น (Dense Grade Asphalt) เพื่อนำค่ามา ประเมินค่าความแปรปรวนของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) และ ศึกษาการไหลซึม (Draindown) ของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ประเมินปัจจัยที่มีผลกระทบ ต่อการไหลในสโตนแมสติกแอสฟัลต์ เช่น ชนิดของวัสดุมวลรวม ชนิดของวัสดุอัดแทรก (Filler) เปอรเซ็นต์ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เป็นต้น รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบความ หนาแน่นของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ได้จากการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์และเครื่องไจราโตรรี

จากการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความแปรปรวนของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) ของ ผิวทาง สโตนแมสติกแอสฟัลต์มีค่ามากกว่าส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตแบบหนาแน่น และค่า ความแปรปรวนของความถ่วงจำเพาะสูงสุด (Max. Specific Gravity) และช่องว่างระหว่างวัสดุมวล รวม (VMA) ของทั้ง สโตนแมสติกแอสฟัลต์ และส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบหนาแน่นมีค่า ใกล้เคียงกัน

2. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการไหลเยิ้มของแอสฟัลต์ซีเมนต์ในผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ คือ

- ชนิดของวัสดุอัดแทรก (Filler) โดยที่วัสดุอัดแทรกซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กจะเกิดการไหลเยิ้มได้น้อยกว่าอนุภาคใหญ่
- ส่วนผสมของขนาดคละที่มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 สูงจะทำให้เกิดการไหลเยิ้มน้อยกว่า
- ส่วนผสมที่มีปริมาณของสารผสมเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer) สูงจะเกิดการไหลเยิ้มที่มีปริมาณปริมาณของสารผสมเพิ่มน้อย
- ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์มากจะทำให้เกิดการไหลสูงกว่า

3. จำนวนรอบการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor เพื่อให้ได้ช่องว่างอากาศเท่ากับการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์สำหรับส่วนผสมที่ใช้หินแกรนิตเท่ากับ 73 รอบ และสำหรับส่วนผสมที่ใช้หินปูนเท่ากับ 103 รอบ โดยเทียบกับการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ที่ 50 ครั้ง

4. สำหรับสโตนแมสติกแอสฟัลต์ทั้งที่ใช้หินแกรนิตและหินปูน พบว่าค่าความเครียด (Strain) มีค่าสูงกว่าและโมดูลัสความคืบ (Creep Modulus) มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบหนาแน่น และจากข้อมูลการทดลองเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ที่เหมาะสมสำหรับขนาดคละของ สโตนแมสติกแอสฟัลต์ มีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

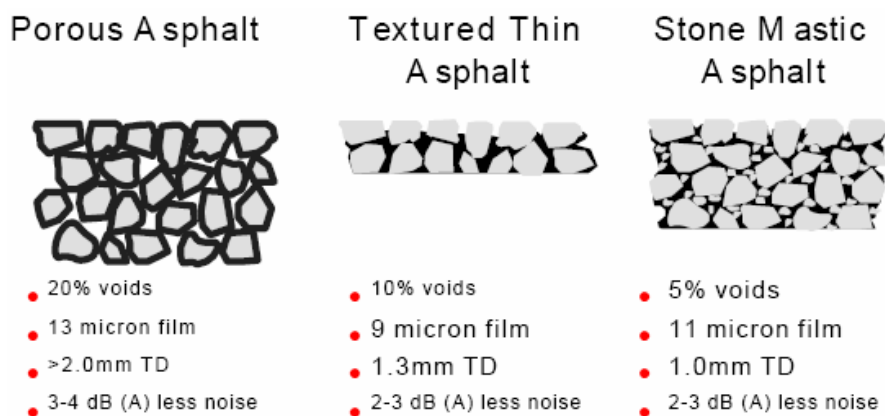
Ray Brown et al. (1997) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการออกแบบ ส่วนผสมและคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์จาก 86 โครงการที่ได้ทดลองใช้ที่รัฐต่างๆในอเมริกาดังแต่ปี 1994 ถึงปี 1996 ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

- ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ของการศึกษาวัสดุมวลรวมใช้ค่า Los Angeles Abrasion ไม่น้อยกว่า 30 และไม่มีปัญหาเกิดขึ้นจากการใช้ค่า Los Angeles Abrasion นี้
- ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ใช้วัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตรเท่ากับ 20-35 เปอร์เซ็นต์และประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ใช้วัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตรเท่ากับ 7-11 เปอร์เซ็นต์

- ประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์มีช่องว่างอากาศที่ได้จากการก่อสร้างน้อยกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ และเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการก่อสร้างควรใช้ปริมาณช่องว่างอากาศในการทดสอบในห้องทดลองประมาณ 3 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์
- ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์มากกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ และแนะนำว่าควรใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์
- มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์วัดร่องล้อได้น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร นั่นคือสโตนแมสติกแอสฟัลต์มีความสามารถในการความต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดี
- สโตนแมสติกแอสฟัลต์มีความสามารถในการต้านทานการเกิดรอยร้าวที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต
- จากการเก็บข้อมูลไม่พบการหลุดร่อน (Raveling) ของสโตนแมสติกแอสฟัลต์
- ปัญหาหลักของสโตนแมสติกแอสฟัลต์คือ การไหลเยิ้มของแอสฟัลต์เนื่องจากปริมาณแอสฟัลต์ที่สูงและใช้ปริมาณวัสดุผสมเพิ่ม (Stabilizer) ไม่เหมาะสม
- จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสโตนแมสติกแอสฟัลต์มีคุณสมบัติที่ดีสำหรับบริเวณที่มีปริมาณจราจรสูง

Richardson (1999) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในสหราชอาณาจักร จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

สโตนแมสติกแอสฟัลต์เป็นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมขนาดละเอียดเรียงข้ามขนาด (Gap Grade) มีมวลรวมหยาบ วัสดุอัดแทรกและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป อาจใส่สารผสมเพิ่ม (Stabilizing Additive) เพื่อปรับปรุงให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดสูงขึ้น เพื่อป้องกันการไหลเยิ้มของแอสฟัลต์ เนื่องจากผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์มีสัดส่วนของมวลรวมหยาบที่สูงทำให้มีผิวสัมผัสระหว่างเม็ดหินใหญ่ (Stone on Stone Contact) มาก การถ่ายแรงระหว่างอนุภาคหินจึงเกิดได้ดี ทำให้สามารถต้านทานการเกิดร่องล้อและการเสียรูปได้ดี ลักษณะโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของสโตนแมสติกแอสฟัลต์กับผิวทางประเภทต่างๆ

ที่มา : Richardson (1999)

ประโยชน์ของสโตนแมสติกแอสฟัลต์จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

- มีความต้านทานการเกิดร่องล้อสูง
- มีความต้านทานการเกิดรอยร้าวสูง
- มีความคงทนสูง
- ความต้านทานในการหลุดลอก
- ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับน้ำ
- มีค่าความต้านทานการลื่นไถลที่ดี
- ลดมลภาวะทางเสียง

National Center for Asphalt Technology (1999) ได้พัฒนาการออกแบบส่วนผสมสำหรับผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ในโครงการ NCHRP Project 9-8, “Designing Stone Mastic Asphalt Mixture for Ru-Resistance Pavement” ขนาดผลของมวลรวมและคุณสมบัติของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่แนะนำสำหรับการออกแบบแสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ขนาดคละของมวลรวมจากโครงการ NCHRP Project 9-8

Sieve (mm)	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm
37.5	100	-	-	-	-
25.0	90-100	100	-	-	-
19.0	30-86	90-100	100	-	-
12.5	26-63	50-74	90-100	100	-
9.5	24-52	25-60	26-78	90-100	100
4.75	20-28	20-28	20-28	26-60	90-100
2.36	16-24	16-24	16-24	20-28	28-65
1.18	13-21	13-21	13-21	13-21	22-36
0.60	12-18	12-18	12-18	12-18	18-28
0.30	12-15	12-15	12-15	12-15	15-22
0.075	8-10	8-10	8-10	8-10	12-15

ที่มา : National Center for Asphalt Technology (1999)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์

Property	Requirement
Air Void (%)	4.0
Voids in Mineral Aggregate (%)	17 min.
Tensile Strength Ratio (%)	70 min.
Draindown at Production Temperature (%)	0.30 max.

ที่มา : National Center for Asphalt Technology (1999)

Obert (2000) ได้ใช้ wheel-tracking test วัดค่าความเครียด (Strain) ระหว่างผิวแอสฟัลต์คอนกรีตกับพื้นทางเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้กันทั่วไป โดยใช้ยาง 50 pen เป็นส่วนผสมของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ มีช่องว่างอากาศ (Air Void) ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ และสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้ Cellulose Fiber ปรับปรุงคุณภาพเพื่อป้องกันการไหลเยิ้มของแอสฟัลต์

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ค่าความเครียดสูงสุด (Peak Strain) ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการเกิดร่องล้อ โดยที่ค่าความเครียดที่เกิดกับแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีค่ามากกว่าสโตนแมสติกแอสฟัลต์ แสดงว่าสโตนแมสติกแอสฟัลต์จะมีความสามารถในการต้านการเกิดร่องล้อได้ดีกว่า

Wood (2002) ได้ทำการทดลองและประเมินคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์เปรียบเทียบกับผิวทางระบายน้ำและแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้กันทั่วไป โดยพิจารณาค่าความต้านทานแรงเสียดทาน (Skid Resistance) ลักษณะของผิวทางภายนอกและความเสียหายที่เกิดส่วนผสมของสโตนแมสติกแอสฟัลต์

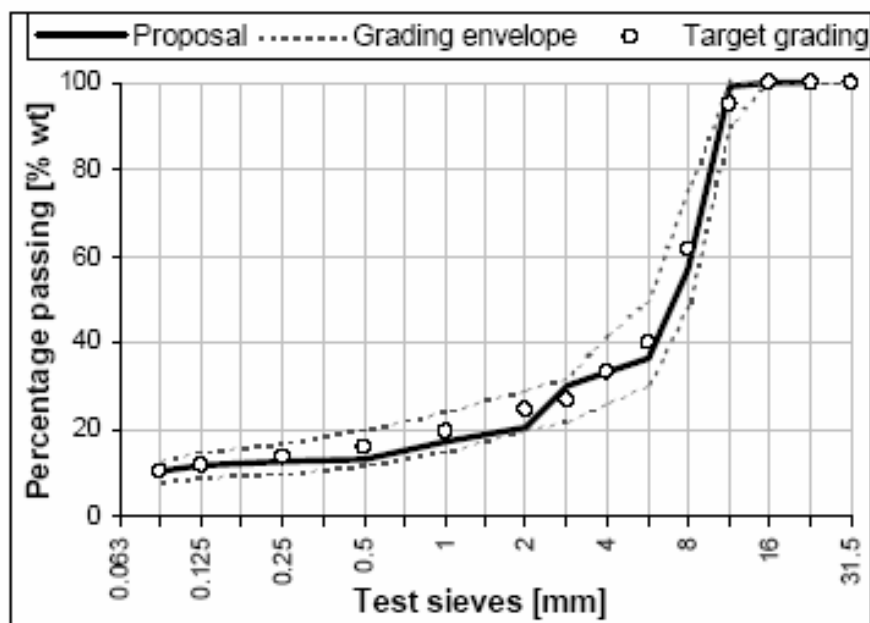
ภายหลังจากที่ทำการก่อสร้าง 3 ปี จนผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ไม่ปรากฏความเสียหายในรูปแบบใดๆเลย และให้ค่าความต้านทานแรงเสียดทานที่ดีกว่าผิวทางประเภทอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบที่สถานที่และอายุการใช้งานเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ในบริเวณที่มีปริมาณจราจรสูงจะทำให้เกิดประโยชน์ทางด้านความปลอดภัยมากกว่าผิวทางประเภทอื่น

Schmiedlin et al. (2002) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์กับแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป โดยการใส่ Cellulose fiber ,mineral fiber, thermoplastic polymer และ Elastomeric polymer เป็นสารปรับปรุงคุณภาพเพื่อประเมินประสิทธิภาพของ SMA แต่ละประเภท โดยพิจารณาค่าคุณสมบัติของ การเกิดร่องล้อ ความเสียดทาน การเกิดร่องล้อ ผลกระทบของเสียง และการขบขี้

จากการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

- ผิวทางประเภทสโตนแมสติกแอสฟัลต์ จะเกิดรอยร้าวน้อยกว่าผิวทางประเภทแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป ประมาณ 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์
- ผิวทางประเภทสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่มีขนาดละเอียดกว่าจะมีความต้านทานการเกิดรอยร้าวมากกว่าผิวทางที่มีขนาดละเอียดกว่า
- ผิวทางประเภทสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ปูบนแอสฟัลต์คอนกรีตมีอัตราการเกิดรอยร้าวเท่าๆกันกับที่ปูบนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และผิวทางประเภทสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ปูบนทั้งสองกรณีจะมีความต้านทานการเกิดรอยร้าวมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาตรฐานประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์
- เสียงที่วัดได้จากสโตนแมสติกแอสฟัลต์ เมื่อมีรถขับผ่านจะน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาตรฐานประมาณ 5 เดซิเบล
- ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ผิวทางทั้งสโตนแมสติกแอสฟัลต์ และแอสฟัลต์คอนกรีตมาตรฐาน มีความสามารถในการต้านทานการเกิดร่องล้อที่ไม่ต่างกันนัก โดยให้ผลที่ดีทั้งสองประเภท
- ผิวทางประเภทสโตนแมสติกแอสฟัลต์จะมีความปลอดภัยที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาตรฐาน เนื่องจากสโตนแมสติกแอสฟัลต์จะเกิดละอองน้ำเมื่อขับในขณะที่มีผิวเปียกและมีแสงสะท้อนเมื่อขับในเวลากลางคืนน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาตรฐาน

Neubauer and Partl (2004) ได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้ปูนขาว และ phonolite เป็นวัสดุอัดแทรก ใช้ยาง AC 50/70 และโพลีเมอร์โมดิฟายแอสฟัลต์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน แล้วทำการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์และเครื่อง Gyratory Compactor เพื่อหาปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม (optimum binder content) ที่ได้จากทั้งสองวิธี และทดสอบการต้านทานการเกิดร่องล้อด้วยวิธี wheel tracking test ขนาดละเอียดของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 2 จากผลการทดสอบปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสมของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ได้จากการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์จะมีค่ามากกว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor ปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void) และช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม (Void in Mineral Aggregate: VMA) จากทุกการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ เนื่องจากการนวดด้วย Gyratory Compactor จำทำให้หินสามารถเคลื่อนตัวและอุดช่องว่างได้ดีกว่า



ภาพที่ 2 แสดงขนาดกะของวัสดุรวมตามข้อกำหนดของ Swiss standard

ที่มา : Partl (2004)

2. วัสดุรวมโดยใช้ตะกรันเหล็ก

ตะกรันเหล็กเป็นสารประกอบที่ถูกขจัดออกมาในรูปของตะกอนโลหะ จากอุตสาหกรรม การผลิตเหล็ก ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 ตะกรันเตาถลุง (Blast Furnace Slag)

ตะกรันเตาถลุงเป็นผลพลอยได้มาจากอุตสาหกรรมถลุงเหล็กซึ่งใช้แร่เหล็ก ถ่าน โค้ก หินปูน และโดโลไมท์ เป็นวัสดุดิบในการถลุง ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,650 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่มีมากในก๊าซที่เกิดการสันดาป จะทำหน้าที่รีดิวซ์แร่เหล็ก เมื่อเหล็กถูกรีดิวซ์จะเคลื่อนลงมาส่วนล่างของเตา ส่วน Fluxing Stone ซึ่งประกอบด้วย หินปูน และ โดโลไมท์ จะสลายกลายเป็นแคลเซียมและแมกนีเซียมออกไซด์ ร่วมกับซิลิกาและอลูมินาของแร่ เหล็ก เกิดเป็นตะกรันรวมกันอยู่ในรูปหลอมละลายอยู่เหนือเหล็ก

ชนิดของตะกรันเตาถลุง การเย็นตัวมีผลกับคุณสมบัติของตะกรันเตาถลุง ที่อุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส ตะกรันเตาถลุงจะถูกส่งออกจากเตาหลอมและแยกประเภทต่าง ๆ ตามการเย็นตัวดังนี้

2.1.1 Bank Slag เกิดจากการขนตะกรันเตาถลุงไปเก็บไว้ในถัง แล้วจึงเทตะกรันเตาถลุงบนพื้นที่ที่มีขอบกั้น จนเกิดการเย็นตัวและแข็งตัว

2.1.2 Ladle-to-pit Slag เกิดจากการเทตะกรันเตาถลุงที่หลอมเหลว ออกจากถังขนาดใหญ่ ไปในเบ้าหรือหลุมที่เตรียมไว้ โดยถังขนาดใหญ่มีความจุประมาณ 5 – 10 ตัน ถูกขนส่งโดยทางรถไฟเพื่อนำไปเทในหลุมที่มีขนาดกว้าง 50 – 90 ฟุต ยาว 350 – 1300 ฟุต ลึก 8- 20 ฟุต

2.1.3 Ball Slag เกิดจากการเย็นตัวของตะกรันเตาถลุง ในถังขนาดใหญ่ในช่วงเวลา 14 – 24 ชั่วโมง จนกระทั่งมีรูปร่างค่อนข้างกลม และ Ball Slag ยังต้องใช้เวลาเย็นตัวอีกเป็นอาทิตย์ เพื่อให้แกนกลางแข็งก่อนที่จะนำไปใช้งาน

2.1.4 Direct – to – pit Slag เกิดจากการเทตะกรันเตาถลุงหลอมเหลว ไปตามราง เพื่อไปยังเบ้าหลุมที่อยู่ใกล้กับเตาหลอม และเร่งการเย็นตัวโดยฉีดน้ำไปยังผิวของตะกรันเตาถลุงที่ร้อน

2.2 ตะกรันเตาหลอม (Steel Furnace Slag)

ตะกรันเตาหลอมเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้า โดยการนำเหล็กดิบ เศษเหล็ก หินปูน (CaO) และ โดโลไมท์ ซึ่งเป็นวัสดุดิบในการผลิตใส่เข้าไปในเตาซึ่งมี 2 แบบที่ใช้กัน

2.2.1 การผลิตด้วยเตาออกซิเจน (Oxygen Process) เมื่อใส่วัตถุดิบต่างๆ แล้วจะเป่าออกซิเจนความดันสูงเข้าไปในเตา โดยออกซิเจนจะเข้าไปรวมตัวกับสารมลทินต่างๆ เช่น คาร์บอน ซิลิกอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและเหล็ก บางส่วนในรูปของออกไซด์หลอมเหลว และไปรวมตัวกับหินปูนและโดโลไมท์ เกิดเป็นตะกรันเตาหลอมขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ 30 – 40 นาที

2.2.2 การผลิตด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Process) ไฟฟ้าจะทำให้เกิดความร้อนและการหลอมเหลว หินปูนจะหลอมปกคลุมน้ำเหล็กที่กำลังหลอมเหลวและควบคุมการกำจัดมลทินต่างๆ คาร์บอน ซิลิกอน แมงกานีส จะค่อยๆ ถูกกำจัดออกไป อยู่ในรูปของตะกรันเตาหลอม โดยใช้เวลาประมาณ 40 – 50 นาที

ปรีชา (2521) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ ตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอมเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง

จากการทดลอง ปรีชาสรุปว่าตะกรันเตาถลุงแบบพูนแน่นให้ค่า PSV* และค่า AAV** (ค่าความสึกหรอของวัสดุรวม มาตรฐานกรมทางไม่เกิน 40 %) หากอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทางทั่วไป ส่วนตะกรันเตาหลอมให้ค่า PSV และ AAV อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุผิวทางตามจุดที่เป็นอันตราย ซึ่งจากการทดลองได้ค่าดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงค่าคุณสมบัติความปลอดภัยจากการลื่นไถล

วัสดุ	อุณหภูมิ	ทดสอบครั้งที่ 1		ทดสอบครั้งที่ 2	
		ค่า PSV เฉลี่ย		ค่า PSV เฉลี่ย	
		ก่อนขัด	หลังขัด	ก่อนขัด	หลังขัด
ตะกรันเตาถลุง					
พูนมาก	27	74	56	78	55
พูนแน่น	28	68	42	73	45
แน่น	27	60	40	63	42
ตะกรันเตาหลอม					
พูนแน่น	27	68	48	75	51
พูนน้อย	27	71	47	72	50

ที่มา : ปรีชา (2521)

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม

วัสดุ	AAV (%)
ตะกรันเตาสูง	
พูนมาก	42.4
พูนแน่น	34.8
แน่น	42
ตะกรันเตาหลอม	
พูนแน่น	28
พูนน้อย	24.2

ที่มา : ปรีชา (2521)

* PSV คือ Polished Stone Value ค่าคุณสมบัติความปลอดภัยจากการลื่นไถลของมวลรวมที่หล่อเป็นแผ่นหลังจากการขัดด้วยเครื่องขัด

** AAV คือ Aggregate Abrasion Value ค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม

ประยูร (2527) ได้ศึกษาการใช้เม็ดดินเผาเป็นวัสดุมวลรวมในงานผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์โดยเปรียบเทียบกับการใช้หินปูนเป็นวัสดุมวลรวม พบว่า เม็ดดินเผามีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยต่ำกว่าหินปูน แต่มีความพูนมากกว่า และความพูนของเม็ดดินเผาจะช่วยทำให้ผิวทางมีความหยาบดีกว่าการใช้หินปูนเพราะ หินปูนเป็นวัสดุอ่อน เมื่อถูกขัดสีจากยานหลายครั้งผิวจะเป็นมันลื่นได้ง่ายกว่า

ส่วนการทดสอบในสนามพบว่า ผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์เม็ดดินเผา มีความต้านทานการลื่นไถลโดยเฉลี่ยสูงกว่าผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์หินปูนทั้งในสนามผิวแห้งและผิวเปียกและค่าความต้านทานการลื่นไถลจะมีค่าลดลงเมื่ออายุการใช้งานเพิ่มขึ้นแต่อัตราการลดลงของผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์เม็ดดินเผามีค่าน้อยกว่าผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์หินปูน

Kandhal and Hoffman (1997) ได้ทำการศึกษาเรื่องการทดสอบหาความสัมพันธ์ของการขยายตัวของวัสดุมวลรวมละเอียดกับวัสดุมวลรวมหยาบ โดยหินปูนและตะกรันเตาหลอมที่นำมาทดสอบ จะมาจาก 2 แบบ ดังนี้

1. ตะกรันเตาหลอมที่เก็บอยู่ในถังเก็บวัสดุ (Stock pit) นานกว่า 6 เดือน
2. ไม่ได้เก็บในถังเก็บวัสดุ

จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตะกรันเตาหลอมที่เก็บอยู่ในถังเก็บวัสดุ นานกว่า 6 เดือน จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ สูงสุด แต่ตะกรันเตาหลอมที่ไม่ได้มีการเก็บไว้ในถังเก็บวัสดุ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การขยายตัวมากกว่าที่กำหนด
2. วัสดุมวลรวมละเอียดจะมีค่า Optimum Moisture Contents ที่สูงกว่า และให้ค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าวัสดุมวลรวมหยาบ
3. ค่าการขยายตัวของวัสดุมวลรวมหยาบจะมีค่ามากกว่าวัสดุมวลรวมละเอียด โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ Correlation Coefficient เท่ากับ 0.997

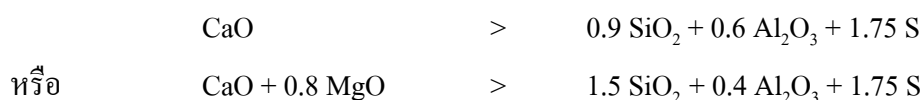
นอกจากนี้ Kandhal and Hoffman (1997) ยังได้ทำการศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นกับ HMA Mixture ในสภาพที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ

- ก. ถูกทำให้ร้อน (จุ่มน้ำที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง)
- ข. ถูกทำให้เย็น (ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง)

ผลการทดลองสรุปได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนของเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของวัสดุมวลรวมละเอียด กับ เปอร์เซ็นต์การบวมตัว ในสภาพที่ถูกทำให้ร้อน และเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของวัสดุมวลรวมละเอียด เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาตรในสภาพที่ถูกทำให้เย็นของก้อนตัวอย่าง HMA

HMA ที่มีตะกรันเตาหลอมเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด จะมีค่า Stability สูงกว่าการใช้ Limestone (หินปูน) เป็นวัสดุมวลรวมละเอียด 20 – 35 เปอร์เซ็นต์

Parker and Ryder (1983) พบว่า ถ้ามีส่วนประกอบของ CaO ในตะกรันเตาสูงปริมาณสูง จะเกิดผลึกของ dicalcium silicate ซึ่งแตกป่นอย่างรวดเร็วเมื่อเปลี่ยนรูปผลึก เขาได้พบว่า dicalcium silicate จะไม่เกิด ถ้าส่วนประกอบจำกัดอยู่ในสูตรต่อไปนี้



ตะกรันเตาสูงที่มีผิวหยาบ ความพรุนสูง และมีปฏิกิริยาต่อต่าง จะยึดเกาะกับตัวประสานได้ดี และให้ความต้านทานการหลุดลอกดีที่สุดแม้น้ำอยู่ด้วย

Wilson (1855) ได้ศึกษาพบว่า ตะกรันเตาสูงมีความแตกต่างในค่า PSV มาก แม้จะมาจากเตาเดียวกัน ตะกรันเตาสูงให้ความต้านทานการลื่นไถลได้ดีกว่าที่ผลิตจากค่า PSV และ Wilson ยังพบว่าแม้เวลาผ่านไป 9 ปี ตะกรันเตาสูงที่มีค่า PSV เท่ากับ 50 ยังคงให้ค่า SFC เท่ากับหินที่มีค่า PSV เท่ากับ 56 – 60

ตะกรันเตาสูงสามารถปรับปรุงให้ค่า PSV สูงขึ้นได้ เช่น ผสมแคลไซต์บดละเอียดซึ่งทำให้กระจายในเนื้อตะกรันขณะที่หลอมเหลว การเผา (Heat Treatment) ทำให้ค่า PSV สูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างของผลึก ทำให้ผลึกหยาบขึ้น

ตะกรันเตาหลอมให้ค่า PSV สูงกว่าตะกรันเตาสูง แม้จะมีเนื้อแน่นกว่าและมีความแข็งแรงสูงกว่า จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการทำผิวทางที่มีปริมาณการจราจรสูง

การศึกษาเรื่อง Polish Stone Value ในประเทศอังกฤษ ในรายงานเรื่อง “The Field Testing of Skidding” โดย Lupton (1968) ได้แนะนำค่าต่ำสุดที่ทดสอบโดยเครื่อง British Portable Tester ในสภาพถนนประเภทต่างๆ ทั้งหมด 4 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่า Polish Stone Value ณ บริเวณจุดต่างๆ

ประเภท	ลักษณะ	ค่า BPN
A	ตามจุดอันตราย เช่นวงเวียน ทางโค้งรัศมีน้อยกว่า 500 ฟุต ทางลาดชันมากกว่า 1:20 และลาดมากกว่า 300 ฟุต และ บริเวณทางแยกใกล้สัญญาณไฟจราจร	มากกว่า 65
B	ถนนสาธารณะที่ไม่ได้จัดอยู่ในประเภท A และ C	มากกว่า 55
C	ถนนสาธารณะในทางตรงที่มีทางลาดชันน้อย รัศมีทางโค้งไม่มาก	มากกว่า 45
D	ถนนที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่า 0.40	หากน้อยกว่า 45 จะสิ้นเปลือง

ที่มา : Lupton (1968)

ศรันยา (2545) ได้ทำการศึกษาการนำตะกรันเตาหลอมมาทดแทนวัสดุมวลรวมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยจากการศึกษาแล้วพบว่าค่าความปลอดภัยจากการลื่นไถล Polish Stone Value (PSV) ตะกรันเตาหลอมมีค่าสูงที่สุดคือ 51.8 ตามมาด้วยหินแกรนิต 50.4 หินบะซอลต์ 49.2 และหินปูน 40.6 ซึ่งตามเกณฑ์กำหนดของกรมทางหลวงคือไม่ต่ำกว่า 50 PSV ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับถนนที่มีปริมาณจราจร มากกว่า 1,500 คันต่อวัน

ส่วนคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต สรุปได้ว่า ค่าเสถียรภาพ (Stability) พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเตาหลอมเป็นวัสดุมวลรวม ให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าวัสดุมวลรวมประเภทอื่นๆ ที่ทุก เปอร์เซ็นต์ AC โดยน้ำหนักของมวลรวม ซึ่งแสดงว่า มีความแข็งแรงสูงสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อได้สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าเสถียรภาพต่ำ ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ตะกรันเตาหลอมมีรูปร่างที่ค่อนข้างเหลี่ยม และมีผิวขรุขระกว่าหินประเภทอื่นๆ

การนำตะกรันเตาหลอมมาทดแทนวัสดุมวลรวมในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผิวทางยืดอายุการใช้งาน และเพิ่มค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางอันเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการลงทุนที่เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน ก็ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทาง ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุ และยังเป็น การส่งเสริมการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สำหรับประเทศไทย กรมทางหลวงยังไม่มีกำหนดค่า PSV ไว้เป็นมาตรฐานทั้งชนิดของถนน และของวัสดุมวลรวม แต่จากการศึกษาของ Bunnag and Israsena (1975) ได้แนะนำค่าขั้นต่ำที่ควรใช้สำหรับผิวทางในประเทศไทย ว่าควรเป็นดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่า BPN ที่แนะนำสำหรับในประเทศไทย

ลักษณะของถนน	ค่า BPN
ตามจุดอันตราย เช่น วงเวียน ทางโค้ง ทางชัน จุดใกล้สัญญาณไฟจราจร ทางแยก และบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุบ่อย	50
ทางหลวงชั้น 1 ชั้น 2 และถนนแยกที่มีปริมาณจราจรเกิน 1,500 คันต่อวัน	45

ที่มา : Bunnag and Israsena (1975)

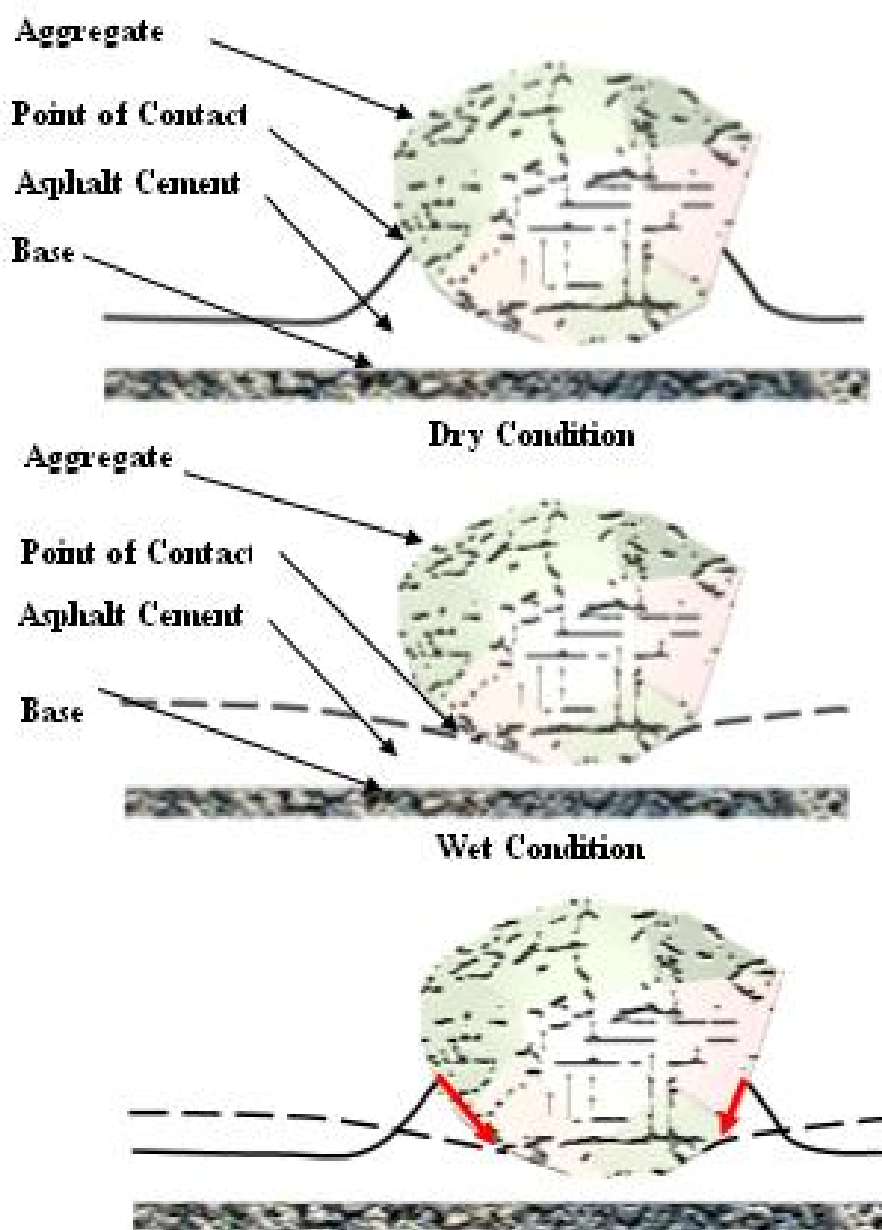
3. การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำ (Moisture Damage)

การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำ สามารถอ้างอิงทฤษฎีของลอทท์แมนได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4867 เป็นการหาความเสียหายภายในที่เกิดจากความชื้น โดยการหาอัตราส่วนแรงดึงของก้อนตัวอย่างที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ ระหว่างก้อนตัวอย่างที่นำไปขึ้นตอนให้เกิดความชื้นกับก้อนตัวอย่าง กับ ก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดแล้วนำไปทดสอบหาแรงดึง เพื่อหาความเสียหายที่เกิดจากการกระทำของน้ำ

ทวิสิทธิ์ (2536) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำต่อแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมกัมมันต์ ซึ่งได้มีการศึกษารูปแบบความเสียหายเนื่องจากการกระทำของน้ำไว้ดังนี้

1. การถูกแทนที่ (Displacement Concept)

Blott (1954) กล่าวว่า การถูกแทนที่ที่มีความสัมพันธ์กับแรงผลักดันระหว่างผิวของแอสฟัลต์ที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ยึดเกาะกับวัสดุมวลรวม ดังภาพที่ 3 โดยเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจากผิวแห้งไปเป็นสถานะเปียกชื้น ระบบการทำงานของแอสฟัลต์ที่สถานะความหนืดต่างๆ จะทำงานแตกต่างกันไป โดยพบว่าเมื่อแอสฟัลต์ที่มีความหนืดสูงในขณะที่ใช้งานจะมีความต้านทานต่อการแทนที่ของน้ำสูง ฉะนั้นในการที่ก่อสร้างผิวทางเสร็จใหม่ๆ แอสฟัลต์จะมีระดับการถูกแทนที่ค่อนข้างสูง เนื่องมาจากความหนืดของแอสฟัลต์ยังพัฒนาไม่เต็มที่



**The Move Contact between Aggregate and Asphalt Cement in Dry
Condition to Wet Condition**

ภาพที่ 3 การเคลื่อนตัวของจุดสัมผัสระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวมจากสภาพแห้ง
เปลี่ยนเป็นสภาพเปียกชื้น

ที่มา : Majidzadeh (1968)

2. การชำรุดของแผ่นฟิล์มแอสฟัลต์ (Film Rupture Theory)

Fromm (1974) พบว่า แผ่นฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบตรงเหลี่ยม ขอบ ของวัสดุมวลรวมจะบางกว่าบริเวณอื่นและมีโอกาสที่จะชำรุดเสียหายในระหว่างขั้นตอนการบดอัดหรือภายใต้แรงกระทำของยวดยาน ทำให้แผ่นฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบอยู่บางๆ เกิดการขีดสี ถิกขาดได้โดยง่าย และน้ำสามารถเข้าไปตามรอยชำรุดเหล่านี้และทำลายการยึดเกาะ เกิดการหลุดลอกขึ้นได้

3. กระบวนการออสโมซิส (Osmosis Process)

เกิดจากการที่น้ำสามารถแพร่กระจายผ่านเยื่อบางๆ (Membrane) ของแอสฟัลต์เข้าไป และ Mack (1964) กล่าวสนับสนุนแนวคิดนี้ว่ากระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นแบบต่อเนื่องอย่างช้าๆ ผ่านเยื่อบางที่สามารถดูดซับน้ำเข้าสู่โพรง (Pores) ที่มีอยู่ตามผิวของมวลรวมซึ่งมีสารประกอบจำพวกเกลือตกค้างอยู่ด้วยความดันออสโมติก (Osmotic Pressure)

4. ความดันโพรง (Pore Pressure)

Lottman (1971) ถ้าน้ำสามารถหมุนเวียนได้อย่างอิสระภายในช่องว่างของแอสฟัลต์คอนกรีต และมียวดยานแล่นผ่านไปมาด้วยแล้ว น้ำจะหมุนเวียนในช่องว่างด้วยความเค้น (Stress) ที่เกิดจากยวดยาน เกิดความดันของน้ำตรงโพรงที่ผิวของมวลรวม น้ำจะเข้าไปแทรกตามรอยผิวสัมผัสระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวม ดังภาพที่ 4

5. รูพรุนที่ฟิล์มแอสฟัลต์ (Pinholes)

Thelen (1958) พบว่า รูพรุนที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มแอสฟัลต์ว่า เกิดจากฝุ่นหรือวัสดุอื่นๆ ขนาดเล็กที่เกาะอยู่ตามผิวมวลรวมก่อนถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปตามรูพรุนเหล่านี้ได้

6. การเกิดอิมัลชัน (Emulsion Formation)

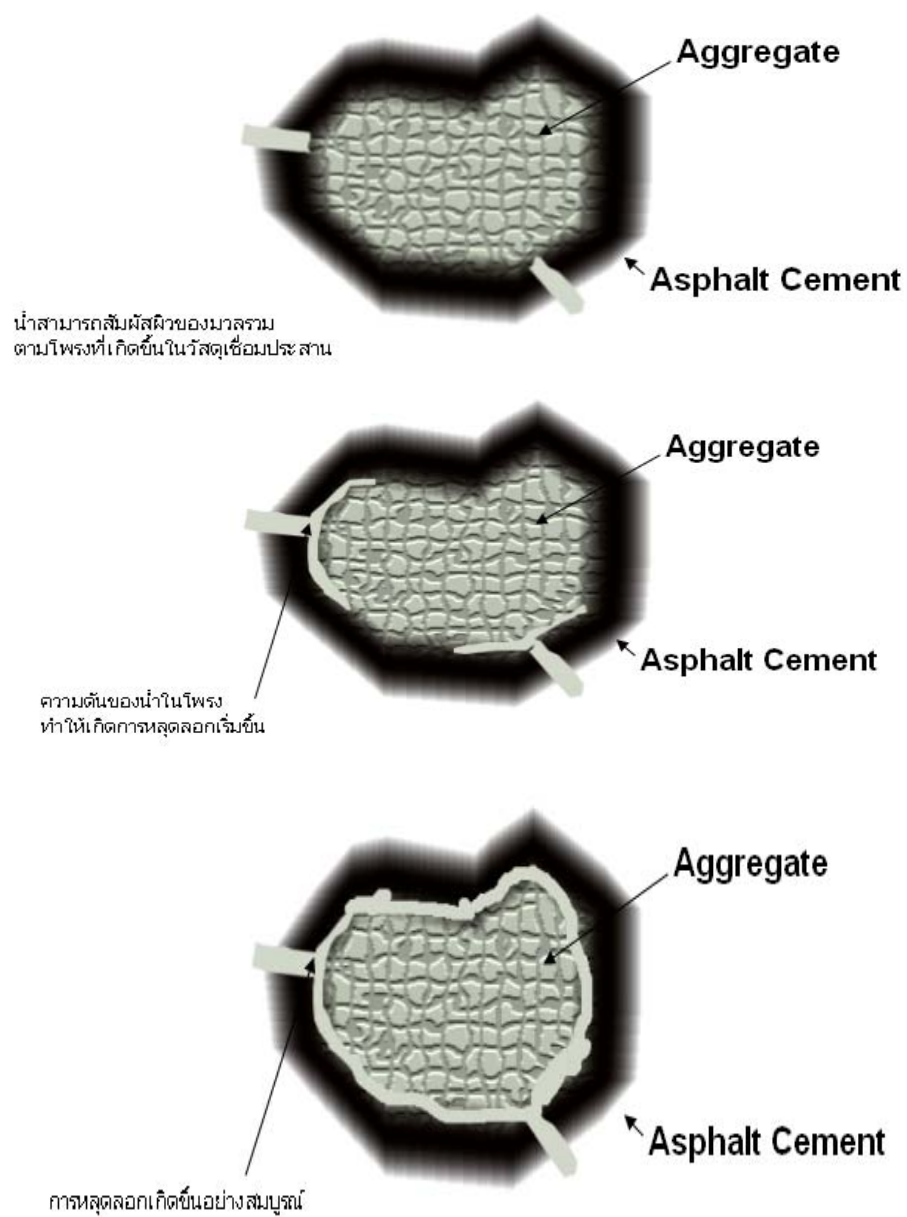
สารประกอบ Sodium Naphthenate ในแอสฟัลต์สามารถรวมตัวกับน้ำกลายเป็นอิมัลชัน ด้วยกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้โดยไม่จำเป็นต้องผ่านกรรมวิธีทางกล (Mechanical Process) และการเกิดอิมัลชันนี้จะทำให้แรงยึดติดของมวลรวมกับแอสฟัลต์รวมกันลดลง

Brown and Hunter (1972) พบว่า ภายหลังจากการเกิดอิมัลชัน สีของแผ่นฟิล์มแอสฟัลต์จะจางลงและเกิดการหลุดลอกขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตคืนสู่สภาพแห้งอีกครั้ง แอสฟัลต์สามารถคืนสภาพการยึดติดกับมวลรวมได้

Miller (1974) กล่าวว่า การวัดค่าความมีเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตกระทำได้ง่ายกว่าการวัดค่าความทนทาน โดยที่ความทนทานคือ ความต้านทานการเสื่อมคุณภาพของแอสฟัลต์อันเป็นสาเหตุของการแตกร้าวของผิวทาง ภายใต้น้ำหนักจากการจราจร ความต้านทานนี้จะลดลงเมื่อเกิดการกระทำของลมฟ้าอากาศ

สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ความทนทานของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพคือ การที่น้ำสามารถเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของแอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดของวัสดุมวลรวม มีผลทำให้เกิดการหลุดลอกของแอสฟัลต์ (Stripping) เมื่อมีน้ำหนักกระทำอันเนื่องมาจากการจราจรหรือเนื่องมาจากการโก่งของผิวทาง

Fromm (1974) ให้คำจำกัดความของการหลุดลอกว่า เป็นผลเนื่องมาจากแรงยึดตัว (Adhesive Bond) ระหว่างผิวมวลรวมและแอสฟัลต์ถูกทำลาย ทำให้ผิวทางอ่อนกำลังและเกิดความเสียหายตามมา อาทิเช่น รอยแตกร้าว การหลุดร่อน (Reveling) เป็นต้น ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากการที่น้ำซึมเข้าไปในโครงสร้างของชั้นผิวทางแล้วทำลายแรงยึดติดดังกล่าว



ภาพที่ 4 การเกิดความดัน แรงดันส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ที่มา : Majidzadeh (1968)

Swamination (1958) ระบุว่า การยึดติด (Adhesion) ของแอสฟัลต์กับผิวมวลรวมเป็นตัวกำหนดคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต ขั้นตอนการเกิดการยึดติดจะประกอบไปด้วย

- ก) การเปียกหรือการเคลือบ (Wetting or Coating)
- ข) การพัฒนากำลังยึดติด (Adhesive strength Development)

น้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นระยะเวลานาน จะทำให้แอสฟัลต์หลุดลอกออกจากผิวมวลรวมได้ โดยเฉพาะผิวทางก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ และถูกน้ำท่วมขัง ทั้งนี้ เป็นเพราะกำลังยึดติดยังพัฒนาไม่เต็มที่

Majidzadeh and Brovold (1968) กล่าวว่า น้ำในรูปของของเหลวและไอเป็นสาเหตุสำคัญต่อความเสียหายในการเกาะยึดระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวม น้ำอาจเข้าไปในส่วนผสมตามช่องว่างโดยผ่านรูเล็กๆ จำนวนมากบนแอสฟัลต์ ทำให้เกิดการหลุดลอกขึ้น โดยเฉพาะในส่วนผสมที่มีปริมาณช่องว่างสูง นอกจากนี้ยังเชื่อว่า ค่า pH สูงจะเคลือบผิวมวลรวมประเภท Basic Rock ได้ดี ในขณะที่สารละลายที่มีค่า pH ต่ำจะเคลือบได้ดีบนผิวมวลรวมประเภท Acidic Rock

มวลรวมประเภท Acidic Rock ได้แก่ มวลรวมที่มีปริมาณ SiO_2 มากกว่าร้อยละ 65 มีแนวโน้มที่จะเปียกน้ำได้ง่าย (Hydrophilic) ในขณะที่มวลรวม Basic Rock ได้แก่ มวลรวมที่มีปริมาณ SiO_2 น้อยกว่าร้อยละ 55 และมีแนวโน้มเปียกน้ำค่อนข้างยาก (Hydrophobic)

Terrel and Swailmi (1993) กล่าวว่า พื้นฐานของช่องว่างอากาศในแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายจากน้ำ ซึ่งได้ทำการพัฒนาระบบการทดสอบโดยมหาวิทยาลัยออริกอน ซึ่งได้ยกปัจจัยหลักในการทดสอบ ได้แก่ น้ำ เป็นส่วนสำคัญในการทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

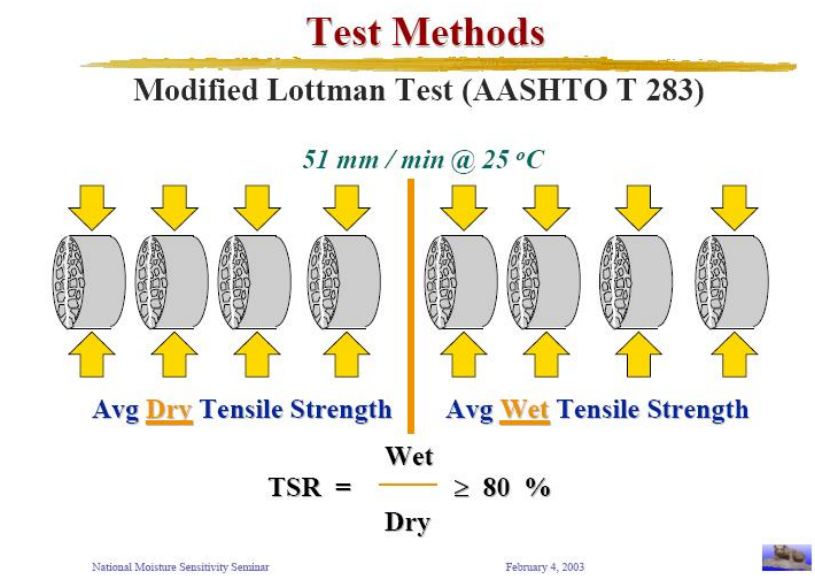
โดยปัจจัยที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี

1. ความต้านทานการล้ามากที่สุด
2. ความสามารถในการต้านทานการเกิดร่องล้อมากที่สุด

3. ลดผลกระทบจากอุณหภูมิต่ำ และ อุณหภูมิสูง เพื่อป้องกันการเกิดรอยแตก
4. ควบคุมอัตราการใช้งานของผิวทาง
5. ลดผลกระทบที่เกิดจากน้ำ

National Moisture Sensitivity Seminar (2003) ได้มีการจัดสัมมนาเกี่ยวกับการทำลายของน้ำในแอสฟัลต์คอนกรีตโดยได้มาอ้างอิงประวัติความเป็นมาต่างๆ ในอดีต และได้อ้างอิงวิธีการทดสอบของ Lottman test (1971) ตาม ASTM D4867 ซึ่งได้มีการกำหนดเกณฑ์การทดสอบดังนี้

รูปภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การทดสอบค่าความชื้นจากน้ำต่อแอสฟัลต์คอนกรีต ASTM D4867

ที่มา : National Moisture Sensitivity Seminar (2003)