บทที่ 2
เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

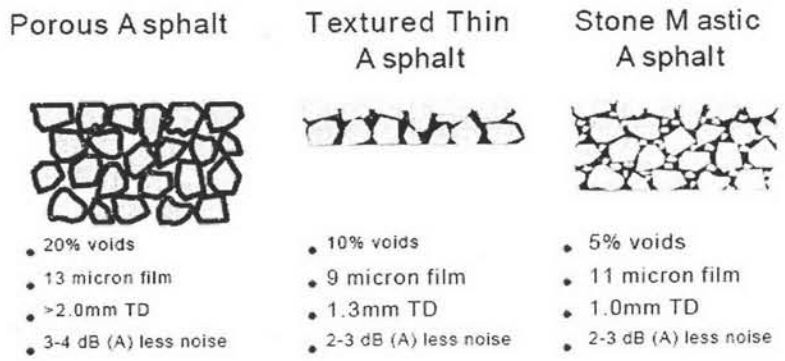
ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาและงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยปรับปรุงขนาดคละและคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม เพื่อใช้ในการออกแบบผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สโตนแมสติกแอสฟัลต์ (Stone Mastic Asphalt : SMA)

JTG Richardson(1999) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในสหราชอาณาจักร จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

สโตนแมสติกแอสฟัลต์เป็นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมขนาดคละเรียงข้ามขนาด (Gap Grade) มีมวลรวมหยาบ วัสดุอัดแทรกและปริมาณยางที่สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป อาจใส่สารผสมเพิ่ม (Stabilizing Additive) เพื่อปรับปรุงให้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดสูงขึ้น เพื่อป้องกันการ draindown ของแอสฟัลต์ และจากที่ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์มีสัดส่วนของมวลรวมหยาบที่สูงทำให้มีผิวสัมผัสระหว่างเม็ดหินใหญ่ (Stone on Stone Contact) มาก การถ่ายแรงระหว่างอนุภาคหินจึงเกิดได้ดี ทำให้สามารถต้านทานการเกิดร่องล้อและการเสียรูปได้ดี ลักษณะโครงสร้างแสดงดังรูที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของสโตนแมสติกแอสฟัลต์กับผิวทางประเภทต่างๆ

ประโยชน์ของสโตนแมสติกแอสฟัลต์จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

- มีความต้านทานการเกิดร่องล้อสูง
- มีความต้านทานการเกิดรอยร้าวสูง
- มีความคงทนสูง
- มีความต้านทานในการหลุดลอก
- ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับน้ำ
- มีค่าความต้านทานการลื่นไถลที่ดี
- ลดมลภาวะทางเสียง

Georgia Department of Transport (GDOT) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของผิวทาง สโตนแมสติกแอสฟัลต์สำหรับถนนที่มีสภาพการจราจรและปริมาณรถบรรทุกหนักสูง รวมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติกับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้อยู่ทั่วๆไป ในระบบถนนของจอร์เจีย ซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปข้อดีของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ได้ดังนี้

- เกิดร่องล้อน้อยกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 30-40 เปอร์เซ็นต์
- มี Fatigue life มากกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 3-5 เท่า
- มีอายุการใช้งานมากกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต 30-40 เปอร์เซ็นต์
- มีค่าบำรุงรักษาต่อปีน้อยกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

E.R. Brown (1994) ได้ทำการศึกษาหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ และแอสฟัลต์คอนกรีตแบบหนาแน่น (Dense Grade Asphalt) เพื่อนำค่ามาประเมินหาค่าความแปรปรวนของปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม (Optimum asphalt content) และศึกษาการ draindown ของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ประเมินปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการไหลในสโตนแมสติกแอสฟัลต์ เช่น ชนิดของวัสดุมวลรวม ชนิดของวัสดุอัดแทรก (filler) เปอร์เซ็นต์ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์4 เป็นต้น รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบความหนาแน่นของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ได้จากการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลและเครื่อง Gyratory Compactor

จากการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของสโตนมัสติกแอสฟัลต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความแปรปรวนของปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) ของสโตนแมสติกแอสฟัลต์มีค่ามากกว่าส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญ และค่าความแปรปรวนของความถ่วงจำเพาะสูงสุด (Max.

Specific Gravity) และช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม (VMA) ของทั้งสโตนแมสติกแอสฟัลต์และส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน

2. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อdraindownของแอสฟัลต์ซีเมนต์ในผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ คือ

- ชนิดของวัสดุอัดแทรก โดยที่วัสดุอัดแทรกที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะเกิดdraindownน้อยกว่าอนุภาคใหญ่
- ส่วนผสมของขนาดคละที่มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 สูงจะทำให้เกิดdraindownน้อยกว่า
- ส่วนผสมที่มีปริมาณของสารผสมเพิ่ม (stabilizer) สูงจะเกิดการไหลน้อยกว่าที่มีปริมาณปริมาณของสารผสมเพิ่มน้อย
- ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์มากจะทำให้เกิดdraindown สูงกว่า

3. จำนวนรอบการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor เพื่อให้ได้ช่องว่างอากาศเท่ากับการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลสำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบนี้ ส่วนผสมที่ใช้หินแกรนิตเท่ากับ 73 รอบ และสำหรับส่วนผสมที่ใช้หินปูนเท่ากับ 103 รอบ โดยที่เทียบกับการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลที่ 50 ครั้ง

4. สำหรับสโตนแมสติกแอสฟัลต์ทั้งที่ใช้หินแกรนิตและหินปูน พบว่าค่าความเครียด (Strain)มีค่าสูงกว่าและค่าโมดูลัสความคืบ (creep modulus) มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบหนาแน่นและจากข้อมูลการทดลองเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ที่เหมาะสมสำหรับขนาดคละของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ มีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

E. Ray Brown, Rajib B. Mallick, John E. Haddock และ John bukowski (1997) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการออกแบบ ส่วนผสมและคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์จาก 86 โครงการที่ได้ทดลองใช้ที่รัฐต่างๆในอเมริกาตั้งแต่ปี 1994 ถึงปี 1996 ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

- ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ของการศึกษาวัสดุมวลรวมใช้ค่าการสึกหรอจากวิธี Los Angeles Abrasion ไม่เกินกว่า 30 และไม่มีปัญหาเกิดขึ้นจาการใช้ค่า Los Angeles Abrasion นี้

- ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ใช้วัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (#4)เท่ากับ 20-35 เปอร์เซ็นต์และประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ใช้วัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (#200) เท่ากับ 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 ซึ่งอาจจะเนื่องจากปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่สูง
- จากการเก็บข้อมูลไม่พบการหลุดร่อน (Raveling) ของสโตนแมสติกแอสฟัลต์
- ปัญหาหลักของสโตนแมสติกแอสฟัลต์คือ draindown ของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับขนาดคละเนื่องจากปริมาณแอสฟัลต์ที่สูงและใช้ปริมาณของสารผสมเพิ่ม (Stabilizer) ไม่เหมาะสม
- จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสโตนแมสติกแอสฟัลต์มีคุณสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับบริเวณที่มีปริมาณจราจรสูง

New Zealand Bitumen Contractor's Association (1999) ได้ให้ข้อแนะนำในการออกแบบส่วนผสมสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในยุโรป อเมริกาและจากประสบการณ์ที่ได้จากทดลองใช้ในประเทศนิวซีแลนด์ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและประยุกต์ใช้ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ต่อไป

<u>ขนาดคละ และส่วนผสมของมวลรวม</u>

ขนาดคละของมวลรวมแสดงดังตารางที่ 2.1 และส่วนผสมของมวลรวมแสดงดังตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 ขนาดคละของมวลรวมผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์

Sieve Size (mm)	Mixture Designation			
	SMA 7	SMA 10	SMA 14	SMA 20
	Percentage Passing Sieve			
26.5	100	100	100	100
19.0	100	100	100	90-100
13.2	100	100	90-100	75-95
9.5	100	90-100	35-60	30-50
6.7	90-100	30-50	23-35	20-35
4.75	28-35	22-35	18-33	15-30
2.36	20-30	18-28	16-30	12-25
0.075	8-13	8-13	8-13	8-13
Total Binder Content (%, w/w)	7.0 minimum	6.5 minimum	6.0 minimum	6.0 minimum
Recommended Layer Depth (mm)	20-30	25-40	35-55	50-80

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมของมวลรวมที่บดอัดด้วย Gyratory Compactor

Criteria	Test Method	SMA 7	SMA 10	SMA 14	SMA 20
Compaction Effort (cycles)	AS 2891.22	80 and 350	80 and 350	80 and 350	80 and 350
Air Void (80 cycles) (%)	ASTM D2726, D3203	5.0 Max.	5.0 Max.	5.0 Max.	5.0 Max.
Air Void (350 cycles) (%)	ASTM D2726, D3203	3.0 Min.	3.0 Min.	3.0 Min.	3.0 Min.
Retained Tensile Strength (%)	ASTM D4867	75 Min.	75 Min.	75 Min.	75 Min.
Voids in Mineral Aggregate (%)	MS-2	18 Min.	18 Min.	17 Min.	16 Min.
Schellenberg Drain-down (%)	APRG 18	0.3 Max.	0.3 Max.	0.3 Max.	0.3 Max.

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมของมวลรวมที่บดอัดด้วยวิธีมาร์แชล

Criteria	Test Method	SMA 7	SMA 10	SMA 14	SMA 20
Compaction Effort (blows)	ASTM D1559	50	50	50	50
Air Void (%)	ASTM D2726, D3203	5.0 Max.	5.0 Max.	5.0 Max.	5.0 Max.
Voids at Refusal Density (%)	BS 598 Part 104	2.0 Min.	2.0 Min.	2.0 Min.	2.0 Min.
Retained Tensile Strength (%)	ASTM D4867	75 Min.	75 Min.	75 Min.	75 Min.
Voids in Mineral Aggregate (%)	MS-2	18 Min.	18 Min.	17 Min.	16 Min.
Schellenberg Drain-down (%)	APR 18	0.3 Max.	0.3 Max.	0.3 Max.	0.3 Max.

National Center for Asphalt Technology (1999) ได้พัฒนาการออกแบบส่วนผสมสำหรับผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ในโครงการ NCHRP Project 9-8, " Designing Stone Mastic Asphalt Mixture for Ru-Resistance Pavement" คุณสมบัติและขนาดคละของวัสดุมวลรวมของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่แนะนำสำหรับการออกแบบแสดงดังตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 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.

ตารางที่ 2.5 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

Susanne Obert (2000) ได้ทำการทดสอบ wheel-tracking test และวัดค่าความเครียด (Strain) ระหว่างผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์กับชั้นพื้นทางเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์เปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้กันทั่วๆไป โดยใช้ยาง 50 pen เป็นส่วนผสมของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ มีปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void) ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ และใส่ cellulose fiber ปรับปรุงคุณภาพเพื่อป้องกันdraindownของแอสฟัลต์ ส่วนผสมของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตาราง 2.6

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ค่าความเครียดสูงสุด (Peak Strain) ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการเกิดร่องล้อ โดยที่ค่าความเครียดที่เกิดกับแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีค่ามากกว่าสโตนแมสติกแอสฟัลต์ แสดงว่าสโตนแมสติกแอสฟัลต์จะมีความสามารถในการต้านการเกิดร่องล้อได้ดีกว่า

ตาราง 2.6 เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของผิวทางที่ใช้ในการทดสอบ

	HRA 30-14	SMA 14	SMA 10
Bitumen	8.30	6.97	7.17
Fibers	0.00	0.33	0.33
< 20 mm	1.36	2.00	0
<14 mm	27.50	41.74	3.62
< 10 mm	2.92	19.23	43.94
< 6.30 mm	0.24	8.49	17.26
< 2.36 mm	1.60	6.41	10.00
< 0.60 mm	26.80	2.32	3.58
<0.212 mm	21.82	2.29	3.10
< 0.075 mm	9.46	10.23	11.00

Callum Wood (2002) ได้ทำการทดลองและประเมินคุณสมบัติของสโตนแมสติกแอสฟัลต์เปรียบเทียบกับผิวทางระบายน้ำและแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้กันทั่วๆไป โดยพิจารณาค่าความต้านทานแรงเสียดทาน (Skid Resistance) ลักษณะของผิวทางภายนอกและความเสียหายที่เกิดขึ้น ส่วนผสมของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ สรุปได้ดังตารางที่ 2.7

ภายหลังจากที่ทำการก่อสร้าง 3 ปี ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ไม่ปรากฏความเสียหายในรูปแบบใดๆเลย และให้ค่าความต้านทานแรงเสียดทาน (Skid Resistance)ที่ดีกว่าผิวทางประเภทอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบที่สถานที่และอายุการใช้งานเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ในบริเวณที่มีปริมาณจราจรสูงจะทำให้เกิดประโยชน์ทางด้านความปลอดภัยมากว่าผิวทางประเภทอื่น

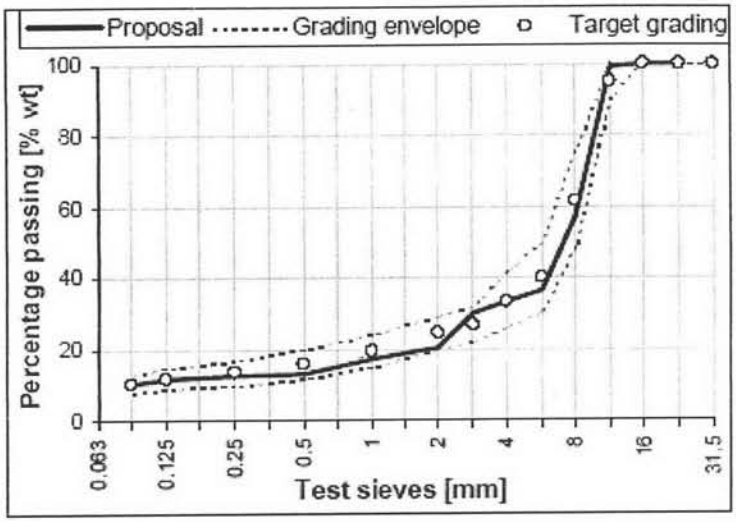
ตารางที่ 2.7 ส่วนผสมของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ตาม Australian Draft Grading Specification

Sieve Size (mm)	% Passing
13.2	100
9.5	90-100
6.7	25-40
4.75	18-30
2.36	15-28
1.18	13-24
0.600	12-21
0.300	10-18
0.150	9-14
0.075	8-12
Material	**Description**
Bitumen	60/70
Cellulose Fibre	Viatop 80
Filler	Calcium Carbonate
Mashall Properties	**Spec**
Binder Content	6-7%
Airvoids	3.5-4.5%
VMA	18% min
Binder Draindown (Schellenberg limit)	0.3%
Compacting	50 blows each side
Cellulose Fibre	0.3%

Robert B. Schmiedlin, P.E. และ Debra L. Bischoff (2002) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของ สโตนแมสติกแอสฟัลต์กับแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป โดยใช้ cellulose fiber, mineral fiber, thermoplastic polymer และ elastomeric polymer เป็นสารปรับปรุงคุณภาพ จากนั้นประเมินประสิทธิภาพของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยพิจารณาคุณสมบัติการเกิดรอยร้าว ความเสียดทาน การเกิดร่องล้อ ผลกระทบของเสียง ซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ จะเกิดรอยร้าวน้อยกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ประมาณ 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์
- ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่มีขนาดคละใหญ่กว่าจะมีความต้านทานการเกิดรอยร้าวมากกว่าผิวทางที่มีขนาดคละเล็กกว่า
- ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ปูบนแอสฟัลต์คอนกรีตมีอัตราการเกิดรอยร้าวเท่าๆกันกับที่ปูบนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ปูบนทั้งสองกรณีจะมีความต้านทานการเกิดรอยร้าวมากกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์
- เสียงที่วัดได้จากสโตนแมสติกแอสฟัลต์ เมื่อมีรถขับผ่านจะน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตประมาณ 5 เดซิเบล
- ผิวทางประเภทสโตนแมสติกแอสฟัลต์จะมีความปลอดภัยที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากสโตนแมสติกแอสฟัลต์จะเกิดละอองน้ำเมื่อขับในขณะที่มีผิวเปียกและมีแสงสะท้อนเมื่อขับในเวลากลางคืนน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต

O. Neubauer, M.N. Partl (2004) ได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้ปูนขาว และ phonolite เป็นวัสดุอัดแทรก ใช้ยาง AC 50/70 และโพลีเมอร์โมดิฟายแอสฟัลต์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน แล้วทำการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลและเครื่อง Gyratory Compactor เพื่อหาปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม (optimum binder content) ที่ได้จากทั้งสองวิธี และทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อด้วยวิธี wheel tracking test ขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงขนาดคละของวัสดุมวลรวมตามข้อกำหนดของ Swiss standard

จากผลการทดสอบปริมาณวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสมของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ได้จากการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลจะมีค่ามากกว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor ปริมาณช่องว่างอากาศ (Air Void) และช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม (Void in Mineral Aggregate: VMA) จากทุกการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล เนื่องจากการนวดด้วย Gyratory Compactor จะทำให้หินสามารถเคลื่อนตัวและอุดช่องว่างได้ดีกว่า

ARRB Transport Research and Austroads (2005) ได้รายงานข้อดีและข้อเสียของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ใน Technical Note 16 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ข้อดี

- มีความคงทนและความต้านทานการเกิดร่องล้อที่ดี
- ลดมลภาวะทางเสียง
- สามารถผลิตและบดอัดด้วยเครื่องมือที่ใช้ทำแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป
- เหมาะกับบริเวณที่เป็นทางแยกและบริเวณที่มีปริมาณจราจรสูง
- สามารถลดการเกิด reflection crack

ข้อเสีย

- เพิ่มราคาค่าวัสดุเพราะใช้ปริมาณวัสดุเชื่อมประสานสูง และมีการเติมวัสดุผสมเพิ่ม
- ใช้เวลาในการผสมเพิ่มเนื่องจากการเติมวัสดุผสมเพิ่ม

- ค่าความฝืดผิวจราจรในระยะเริ่มแรกต่ำและจะเพิ่มขึ้นเมื่อยางผิวหน้าถูกขัดออกเนื่องจากการจราจร

Rod Troutbeck และ Chris Kennedy (2005) ได้ทำการศึกษาข้อมูลการใช้ผิวทาง สโตนแมสติกแอสฟัลต์ ในรัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย โดยได้แนะนำบริเวณที่ไม่เหมาะสมในการใช้ผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์ คือ บริเวณวงเวียนขนาดเล็ก เนื่องจากผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์มีความสามารถในการรับแรงด้านข้างน้อย ดังนั้นเมื่อรถบรรทุกหนักเลี้ยวอย่างแรงอาจจะทำให้หินที่อยู่ด้านบนหลุดออกได้

2.1.2 ตะกรันเหล็ก

ตะกรันเหล็กเป็นสารประกอบที่ถูกขจัดออกมาในรูปของตะกอนโลหะ จากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ตะกรันเตาถลุง (Blast Furnace Slag)

ตะกรันเตาถลุงเป็นผลพลอยได้มาจากอุตสาหกรรมการถลุงเหล็กซึ่งใช้แร่เหล็ก ถ่านโค๊ก หินปูน และโดโลไมท์ เป็นวัสดุดิบในการถลุง ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,650 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนโมโนออกไซด์ (CO) ที่มีมากในก๊าซที่เกิดการสันดาป จะทำหน้าที่รีดิวซ์แร่เหล็ก เมื่อเหล็กถูกรีดิวซ์จะเคลื่อนลงมาส่วนล่างของเตา ส่วน Fluxing Stone ซึ่งประกอบด้วยหินปูน และโดโลไมท์ จะสลายกลายเป็นแคลเซียมและแมกนีเซียมออกไซด์ รวมกับซิลิกาและอลูมินาของแร่เหล็ก เกิดเป็นตะกรันรวมกันอยู่ในรูปหลอมละลายอยู่เหนือเหล็ก

ชนิดของตะกรันเตาถลุง การเย็นตัวมีผลกับคุณสมบัติของตะกรันเตาถลุง ที่อุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส ตะกรันเตาถลุงจะถูกส่งออกจากเตาหลอมและแยกประเภทต่าง ๆ ตามการเย็นตัวดังนี้

1.1 Bank Slag เกิดจากการขนตะกรันเตาถลุงไปเก็บไว้ในถัง แล้วจึงเทตะกรันเตาถลุงบนพื้นที่ที่มีขอบกั้น จนเกิดการเย็นตัวและแข็งตัว

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

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

1.4 Direct – to – pit Slag เกิดจากการเทตะกรันเตาถลุงหลอมเหลว ไปตามรางเพื่อไปยังเบ้าหลุมที่อยู่ใกล้กับเตาหลอม และเร่งการเย็นตัวโดยฉีดน้ำไปยังผิวของตะกรันเตาถลุงที่ร้อน

2. ตะกรันเตาหลอม (Steel Furnace Slag)

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

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

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

ปรีชา ไกรสิริเดช (2521) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ ตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอม เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง

จากการทดลอง ปรีชาสรุปว่าตะกรันเตาถลุงแบบพรุนแน่นให้ค่า PSV* และค่า AAV** (ค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม มาตรฐานกรมทางไม่เกิน 40 %) หากอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทางทั่วไป ส่วนตะกรันเตาหลอมให้ค่า PSV และ AAV อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุผิวทางตามจุดที่เป็นอันตราย ซึ่งจากการทดลองได้ค่าดังตารางที่ 2.8 และ 2.9

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าคุณสมบัติความปลอดภัยจากการลื่นไถล

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

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม

วัสดุ	AAV (%)
ตะกรันเตาถลุง	
พรุนมาก	42.4
พรุนแน่น	34.8
แน่น	42
ตะกรันเตาหลอม	
พรุนแน่น	28
พรุนน้อย	24.2

* PSV คือ Polished Stone Value ค่าคุณสมบัติความปลอดภัยจากการลื่นไถลของมวลรวมที่หล่อเป็นแผ่นหลังจากการขัดด้วยเครื่องขัด

** AAV คือ Aggregate Abrasion Value ค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม

Prithvi S. Kandhal และ Gary L. Hoffman 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 Prithvi S. Kandhal และ Gary L. Hoffman 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 และ Ryder พบว่า ถ้ามีส่วนประกอบของ CaO ในตะกรันเตาถลุงปริมาณสูง จะเกิดผลึกของ dicalcium silicate ซึ่งแตกป่นอย่างรวดเร็วเมื่อเปลี่ยนรูปผลึก เขาได้พบว่า dicalcium silicate จะไม่เกิด ถ้าส่วนประกอบจำกัดอยู่ในสูตรต่อไปนี้

	CaO	ข	$0.9\ SiO_2 + 0.6\ Al_2O_3 + 1.75\ S$
หรือ	$CaO + 0.8\ MgO$	ข	$1.5\ SiO_2 + 0.4\ Al_2O_3 + 1.75\ S$

ตะกรันเตาถลุงที่มีผิวหยาบ ความพรุนสูง และมีปฏิกิริยาต่อด่าง จะยึดเกาะกับตัวประสานได้ดี และให้ความต้านทานการหลุดลอกดีที่สุดแม้มีน้ำอยู่ด้วย

Wilson ได้ศึกษาพบว่า ตะกรันเตาถลุงมีความแตกต่างในค่า PSV มาก แม้จะมาจากเตาเดียวกัน ตะกรันเตาถลุงให้ความต้านทานการลื่นไถลได้ดีกว่าที่คิดจากค่า PSV และ Wilson ยังพบว่าแม้เวลาผ่านไป 9 ปี ตะกรันเตาถลุงที่มีค่า PSV เท่ากับ 50 ยังคงให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เท่ากับหินที่มีค่า PSV เท่ากับ 56 – 60

ตะกรันเตาถลุงสามารถปรับปรุงให้ค่า PSV สูงขึ้นได้ เช่น ผสมแคลไซนด์บอกไซด์ซึ่งทำให้กระจายในเนื้อตะกรันขณะที่หลอมเหลว การเผา (Heat Treatment) ทำให้ค่า PSV สูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างของผลึก ทำให้ผลึกหยาบขึ้น

ตะกรันเตาหลอมให้ค่า PSV สูงกว่าตะกรันเตาถลุง แม้จะมีเนื้อแน่นกว่าและมีความแข็งแรงสูงกว่า จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการทำผิวทางที่มีปริมาณการจราจรสูง

การศึกษาเรื่อง Polish Stone Value ในประเทศอังกฤษ ในรายงานเรื่อง "The Filed Testing of Skidding" โดย Lupton (1968) ได้แนะนำค่าต่ำสุดที่ทดสอบโดยเครื่อง British Portable Tester ในสภาพถนนประเภทต่างๆ ทั้งหมด 4 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ค่า Polish Stone Value ณ บริเวณจุดต่างๆ

ประเภท	ลักษณะ	ค่า PSV
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 จะลื่นไถล

ที่มา : Lupton (1968)

นางสาวศรันยา เดชะพรหมพันธุ์ (2545) ได้ทำการศึกษาการนำตะกรันเตาหลอมมาทดแทนวัสดุมวลรวมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยจากการศึกษาแล้วพบว่าค่าความปลอดภัยจากการลื่นไถล Polish Stone Value (PSV) ตะกรันเตาหลอมมีค่าสูงที่สุดคือ 51.8 ตามมาด้วยหินแกรนิต 50.4 หินบะซอลท์ 49.2 และหินปูน 40.6 ซึ่งตามเกณฑ์กำหนดของกรมทางหลวงคือไม่ต่ำกว่า 50 PSV ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับถนนที่มีปริมาณจราจรมากกว่า 1,500 คันต่อวัน

ส่วนคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต สรุปได้ว่า ค่าเสถียรภาพ (Stability) พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเตาหลอมเป็นวัสดุมวลรวม ให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าวัสดุมวลรวมประเภทอื่นๆ ที่ทุก เปอร์เซ็นต์ AC โดยน้ำหนักของมวลรวม ซึ่งแสดงว่า มีความแข็งแรงสูง สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อได้สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าเสถียรภาพต่ำ ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ตะกรันเตาหลอมมีรูปร่างที่ค่อนข้างเหลี่ยม และมีผิวขรุขระกว่าหินประเภทอื่นๆ

การนำตะกรันเตาหลอมมาทดแทนวัสดุมวลรวมในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผิวทางยืดอายุการใช้งาน และเพิ่มค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางอันเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการลงทุนที่เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันก็ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสภาพผิวทาง ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุ และยังเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สำหรับประเทศไทย จากการศึกษาของ Bunnag และ Israsena (1975) ได้แนะนำค่าความปลอดภัยจากการลื่นไถลขั้นต่ำที่ทดสอบด้วยเครื่อง British Portable Skid Resistance ที่ควรใช้สำหรับผิวทางในประเทศไทย ว่าควรเป็นดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 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 และ Israsena (1975)

สิทธิศักดิ์ อัศวพรหมธาดา และสมัคร สนทอง (2545) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเตาหลอม หินบะซอลท์ หินปูน และหินแกรนิตเป็นวัสดุมวลรวม โดยใช้ AC 60/70 เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ผลจากการเปรียบเทียบการนำตะกรันเหล็กมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตกับการใช้วัสดุมวลรวมทั่วๆไปโดยวิธีมาร์แชลสรุปได้ดังนี้

- แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเหล็กเป็นวัสดุมวลรวมจะให้ค่า Stability สูงกว่าที่ใช้ หินบะซอลท์ หินปูน และหินแกรนิตเป็นวัสดุมวลรวม นั่นคือแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเหล็กเป็นวัสดุมวลรวมจะมีความคงทนดีกว่า มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า
- แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเหล็กเป็นวัสดุมวลรวมจะให้ค่า VMA สูงกว่าที่ใช้หินปูน และหินแกรนิต ในส่วนของหินบะซอลท์ จะมีค่าใกล้เคียงกัน
- แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ตะกรันเหล็กเป็นวัสดุมวลรวมจะให้ค่า VFA และค่า Flow สูงกว่าที่ใช้ หินบะซอลท์ หินปูน และหินแกรนิต
- มวลรวมที่ใช้ตะกรันเหล็กจะให้ค่าความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งใช้การทดลองหาค่า Polished Stone Value (PSV) ที่สูงกว่าวัสดุมวลรวมชนิดอื่นๆ ทั้งที่ทำการทดลองจากห้องทดลองและจากการใช้งานจริง

2.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete)

แอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง วัสดุผิวทางที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวม ผสมกันในขณะร้อนด้วยอุณหภูมิสูงในเครื่องผสม จากนั้นจึงนำไปปูลาดทำเป็นผิวทางถนนในขณะที่ส่วนผสมยังคงร้อนอยู่แล้วบดอัดให้แน่นและเรียบเป็นถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีผิวทางคุณภาพดี แข็งแรง สีค่อนข้างดำ รองรับปริมาณการจราจรที่หนาแน่นมากๆ ได้ รู้จักกันดีในชื่อของ แบล็กท็อป (Blacktop) หรือส่วนผสมร้อน (Hot mix) แอสฟัลต์คอนกรีตนี้มักนิยมใช้สำหรับถนนลาดยางคุณภาพดีทั่ว ๆ ไป รวมถึงลานจอดรถขนาดใหญ่ แต่จะไม่นิยมนำไปใช้สร้างถนนในชนบทหรือถนนที่มีปริมาณการจราจรเบาบางมาก เนื่องจากไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในการก่อสร้าง ถนนลาดยางประเภทผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตนี้จัดเป็นถนนที่มีความปลอดภัย มีเสถียรภาพและทนทานดี คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพ

ของแอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวม ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของส่วนผสม ตลอดจนสัดส่วนที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมและกระบวนการในการผลิตส่วนผสม

ในแอสฟัลต์คอนกรีต จะมีปริมาณสัมพัทธ์ระหว่างมวลรวม แอสฟัลต์ และอากาศ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต แอสฟัลต์ที่เคลือบอยู่ที่ผิวของอนุภาคมวลรวมจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานอนุภาคมวลรวมให้เกาะติดกันแน่นไม่หลุดลอกง่าย จึงเรียกว่า แอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective asphalt) แอสฟัลต์บางส่วนจะถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม และช่องว่างอากาศ (Air void) ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่มีแอสฟัลต์เคลือบอยู่ โดยทั่วไปปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมนี้จะน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของวัสดุมวลรวมชนิดนั้นได้ประมาณร้อยละ 50

องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม และปริมาณแอสฟัลต์

ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง มวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอจะมีอายุการใช้งานนานและมีคุณภาพดี โดยทั่วไปการบดอัดด้วยรถบดในสนามจะได้ความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นจากการบดอัดด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ ดังนั้นการกำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่ต้องบดอัดให้ได้ในสนามจึงกำหนดเป็นค่าร้อยละของความหนาแน่นที่ทดลองได้ในห้องปฏิบัติการ ดังที่กรมทางหลวงได้กำหนดว่าการบดอัดต้องให้ได้ความหนาแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของความหนาแน่นที่ทดลองได้ในห้องปฏิบัติการ

ช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศ (Air Void) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็ก ๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับ การบดอัดแล้วจะต้องมีปริมาณช่องว่างอากาศเพียงพอ หลังจากที่เปิดใช้การจราจรแล้ว ยานพาหนะที่แล่นบนผิวทางจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นกว่าเดิม และมีปริมาณ ช่องว่างอากาศลดลง ดังนั้นหากปริมาณช่องว่างอากาศของผิวทางที่ก่อสร้างเสร็จใหม่มี ไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์

ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าของถนนได้ นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนอีกด้วย

ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม

ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate : VMA) หมายถึงปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมถึงช่องว่างที่ถูกแอสฟัลต์แทนที่ด้วย (Voids Filled with Asphalt : VFA) ดังนั้นช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมจึงเป็นปริมาณช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์รวมกับปริมาณช่องว่างอากาศ สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า VMA = VFA + AV ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า เนื่องจากมวลรวมที่มีค่า VMA สูงกว่า ย่อมมีปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์ได้มากกว่า ทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิวอนุภาคของมวลรวมหนากว่า แอสฟัลต์คอนกรีตจึงมีความทนทาน และมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น (Aging resistance) ถึงแม้ส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนดจะประหยัดกว่า เนื่องจากใช้ปริมาณแอสฟัลต์ผสมน้อยลง แต่ก็จะทำให้ได้ผิวทางที่มีความคงทนลดลงด้วย

ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt content)

ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt content) ในแอสฟัลต์คอนกรีต มีผลต่อคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องปฏิบัติการหรือที่โรงผสมในสนาม ข้อกำหนดต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการในการออกแบบจะเป็นตัวกำหนดปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ในส่วนผสม

ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละและคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลต์ มวลรวมที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก จะต้องการแอสฟัลต์สำหรับผสมมากกว่ามวลรวมที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ เหตุผลคือ ในปริมาตรที่เท่ากันมวลรวมที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่ามวลรวมที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ จึงต้องใช้แอสฟัลต์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวอนุภาคของมวลรวม ส่วนมวลรวมที่ดูดซึมแอสฟัลต์มากก็ต้องใช้แอสฟัลต์ผสมมากเพื่อชดเชยส่วนที่ถูกดูดซึมไป

คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เสถียรภาพและการไหล

เสถียรภาพและการไหล (Stability and Flow) ค่าเสถียรภาพ หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรได้โดยไม่เกิดร่องล้อหรือเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างผิดไปจากเดิม (Deformation) เป็นค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดโดยทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนค่าการไหล เป็นการวัดค่าการเคลื่อนที่ หรือ หน่วยการยุบตัว (Strain) โดยวัดจากระยะทางที่แอสฟัลต์คอนกรีตยุบตัวลงขณะที่ไม่มีแรงกระทำเทียบกับขณะที่มีแรงกระทำสูงสุดของเสถียรภาพ เสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานภายในและแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคของมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักของยานพาหนะมากระทำ

โดยทั่วไปวัสดุมวลรวมที่มีรูปร่างและอนุภาคเป็นเม็ดเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง แรงยึดเกาะจะมีค่ามากหากแอสฟัลต์ที่ใช้มีความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงระดับหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนานั้นเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลง และทำให้เสถียรภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตลดลงด้วย ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมจึงต้องออกแบบให้มีเสถียรภาพสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ อย่างไรก็ตาม ควรคำนึงด้วยว่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไปจนขาดความยืดหยุ่น และอาจทำให้ผิวทางเกิดความเสียหายได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปูลงบนผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัวสูง

สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีเสถียรภาพต่ำ ได้แก่

1. ใช้แอสฟัลต์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกระนาด หรือเกิดร่องล้อ หรือทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าถนน
2. ใช้ทรายที่มีอนุภาคขนาดกลางมากเกินไปทำให้บดอัดยาก และเมื่อบดอัด เสร็จใหม่ จะมีลักษณะเคลื่อนตัวได้ง่าย ไม่อยู่ตัว
3. ใช้มวลรวมที่มีอนุภาครูปร่างกลม ผิวเรียบทำให้ขยับตัวได้ง่ายเป็นสาเหตุให้เกิดร่องล้อ

ความทนทาน

ความทนทาน (Durability) หมายถึงความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ จากการกัดกร่อนทำลายของอากาศ น้ำ สารเคมี การเกิด Oxidation ระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับอากาศจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งตัวมากขึ้นตามอายุการใช้งาน ดังนั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ก่อสร้างมานานๆ จึงมักแข็ง เปราะ แตกร้าวง่าย โดยปกติจะเกิดรอยแตกร้าวหลังจากก่อสร้างเสร็จประมาณ 5 – 10 ปี

ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ

ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability) หมายถึงความสามารถของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ในการต้านทานการซึมผ่านของอากาศและน้ำ เมื่อสามารถป้องกันน้ำและอากาศซึมผ่านเข้าไปได้ จะทำให้เกิดการ Oxidation ช้าลง ทำให้ผิวทางไม่เกิดการแตกเสียหาย และมีความทนทานขึ้น

ความสามารถในการปูและบดอัด

ความสามารถในการปูและบดอัด (Workability) การก่อสร้างถ้าสามารถทำการก่อสร้างได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ก่อสร้างเสร็จก็จะมีคุณสมบัติที่ดีด้วย เพราะยิ่งก่อสร้างช้าอุณหภูมิของส่วนผสมก็จะยิ่งลดลง ทำให้การปูและบดทับได้ยากขึ้น

ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว

ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว (Flexibility) หมายถึงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่สามารถยืดหยุ่นแอ่นตัวได้โดยปราศจากการแตกร้าว การยืดหยุ่นตัวในแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำหนักการจราจรที่เคลื่อนที่ไปตามถนน ผิวทางจะถูกกดลงไปชั่วขณะหนึ่ง เกิดแรงอัดที่ผิวด้านบนและเกิดแรงดึงที่ผิวด้านล่าง ซึ่งความเค้นดึงจะมีมากว่าความเค้นอัด ทำให้เกิดการเสียรูปร่างของผิวทางได้ ถ้าความยืดหยุ่นของผิวทางไม่ดีพอ

ความต้านทานต่อการล้า

ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance) คือความสามารถในการต้านน้ำหนักรถที่มากระทำซ้ำๆ กันเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดการเปลี่ยนรูปร่าง หรือเกิดร่องล้อ ปริมาตรช่องอากาศ(เกี่ยวข้องกับปริมาณแอสฟัลต์) ความหนืดของแอสฟัลต์มีผลต่อความต้านทางการล้า คือ แอสฟัลต์ที่มีช่องอากาศมาก ไม่ว่าจะเป็นผลมาจากการออกแบบ หรือการบดอัดไม่เพียงพอ จะทำให้ความต้านทานการล้าลดลง

ความต้านทานต่อการลื่นไถล

ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance) ขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวทาง เช่นถนนที่มีความลื่นเนื่องมาจาก สภาพผิวทางไม่มีแง่หินโผล่ขึ้นมา ใช้มวลรวมที่ไม่แข็งแกร่ง เม็ดของมวลรวมไม่มีแง่มุม ส่วนหยาบของมวลรวมมีน้อยทำให้มวลรวมส่วนละเอียดมากเกินไป หรือแอสฟัลต์มีความหนืดต่ำจะมีผลให้ผิวทางเกิดการไหลเยิ้ม (Bleeding) เมื่ออุณหภูมิของผิวทางสูง

ปัจจุบัน การสร้างถนนแอสฟัลต์ส่วนใหญ่มักเป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแบบ Dense grade mixtures โดยแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเกรด 60-70 ในสัดส่วนปริมาณ 3 - 8% โดยน้ำหนักของมวลรวม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของงาน

การเตรียมการก่อสร้างผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีตจะกระทำ ดังนี้

- ชั้นรองพื้นทาง ชั้นพื้นทาง และไหล่ทางต้องเรียบสม่ำเสมอได้มาตรฐาน
- ทำ Prime coat หรือในบางกรณีอาจจำเป็นต้องทำ Tack coat
- มวลรวมก่อนผสมต้องทำให้ร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 163 ± 8 องศาเซลเซียส และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของมวลรวม
- แอสฟัลต์ซีเมนต์ขณะจัดเก็บในถังเก็บจะต้องมีอุณหภูมิไม่สูงเกิน 100 องศาเซลเซียส และเมื่อผสมกับมวลรวมต้องทำให้ร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 159 ± 8 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิที่แอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดคิเนเมติค 170 ± 20 เซนติสโตกส์
- เมื่อผสมเสร็จแล้วก่อนนำออกจากโรงงานผสมไปใช้ จะต้องมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 121–168 องศาเซลเซียส
- ในการเทลาดถนนอุณหภูมิจะต้องไม่ต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิที่แอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดคิเนเมติค 280 ± 30 เซนติสโตกส์ แล้วทำการบดอัดทันที
- ขอปฏิบัติอื่น ๆ ให้ปฏิบัติตามมาตรฐาน ทล.-ม 408/2532 ของกรมทางหลวง

2.2.2 แอสฟัลต์ (Asphalt)

แอสฟัลต์ คือ วัสดุเชื่อมประสาน (Binder) สีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีบิทูเมน (Bitumen) เป็นส่วนประกอบหลัก เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ บิทูเมนเป็นสารที่ประกอบด้วยโมเลกุลประเภทไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300–5,000 หน่วย มีคุณสมบัติยึดประสานและมีสภาพเป็นของแข็ง กึ่งของแข็ง หรือเหนียว

หนืด มีสีดำหรือค่อนข้างดำ สามารถละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ได้ นอกจากโมเลกุลประเภทไฮโดรคาร์บอนแล้ว แอสฟัลต์ยังมีองค์ประกอบเป็นธาตุอื่นๆ ที่รวมเรียกว่า Heteroatom เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และนิกเกิล อีกด้วย สัดส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามแหล่งของน้ำมันดิบ มีผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์จึงแตกต่างกัน แอสฟัลต์มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและได้จากการผลิต แอสฟัลต์จึงจัดเป็นวัสดุบิทูมินัส ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างแข็งที่อุณหภูมิปกติ เมื่อให้ความร้อนจะมีลักษณะอ่อนและไหลได้ คุณสมบัตินี้ เรียกว่า Thermoplastic properties เมื่อนำมาแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกับวัสดุมวลรวมที่สถานะของเหลวแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง จะมีลักษณะแข็งและยึดมวลรวมไว้ด้วยกัน เกิดเป็นชั้นผิวจราจรของผิวทางได้ ดังนั้น จึงนิยมใช้แอสฟัลต์เป็นวัสดุปูผิวทาง

แบบจำลององค์ประกอบโมเลกุลของวัสดุแอสฟัลต์

ปัจจุบันมีแบบจำลองที่ใช้อธิบายองค์ประกอบโมเลกุลของแอสฟัลต์อยู่ 2 แบบ แบบจำลองแรกเรียกว่า แบบจำลอง Micellar ซึ่งอธิบายว่าเมื่อวิเคราะห์ทางกายภาพแล้ว แอสฟัลต์จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ Asphaltenes Rasins และ Oils แบบจำลองนี้ได้รับการยอมรับในการใช้อธิบายองค์ประกอบของแอสฟัลต์มาเป็นเวลานาน จนกระทั่งคณะวิจัยของ Strategic Highway Research Program (SHRP) ของ รัฐบาลกลางอเมริกันได้ทำการวิจัยจนพบแบบจำลองที่สามารถเข้าใจและอธิบายองค์ประกอบของแอสฟัลต์ได้ชัดเจนมากขึ้น แบบจำลองนี้เรียกว่าแบบจำลอง SHRP

แบบจำลอง Micellar

แบบจำลองนี้ได้อธิบายองค์ประกอบของยางแอสฟัลต์ไว้จากผลของวิธีแยกตัวของ Corbett and Rostler ว่า ยางแอสฟัลต์ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบหลักของส่วน Asphaltenes และ ส่วน Maltenes ซึ่งก็คือ resin และ oils

- Asphaltenes เป็นผงสีน้ำตาลเกือบดำ สลายตัวเมื่อถูกความร้อน สามารถติดไฟได้ทันทีเมื่อได้รับความร้อนสูงมาก ไม่ละลายใน n – Heptane มีอัตราส่วน C : H มากกว่า 0.8
- Rasins เป็นของแข็งสีน้ำตาลแก่ มีลักษณะแข็งและเปราะที่อุณหภูมิต่ำ สามารถบดให้ละเอียดได้ จะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน ละลายได้เมื่ออุณหภูมิสูงประมาณ 93 องศา

เซลเซียส และยังสามารถละลายได้ใน n – Heptane มีอัตราส่วน C : H ระหว่าง 0.6–0.8

- Oils เป็นส่วนที่เหลือจากการแยก Asphaltenes และ Asphalt Rasins ออกจากกัน มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลแกมแดง มีอัตราส่วน C : H น้อยกว่า 0.6

Asphaltenes จะเป็นส่วนประกอบหลักของแอสฟัลต์ทุกชนิด อยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Colloid) และกระจายอยู่ใน Oily Constituents ซึ่งเป็นตัวกลางโดยมี Asphaltic Rasins เป็นตัวช่วยป้องกันไม่ให้ Asphaltenes จับตัวเป็นก้อน จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านการยึดเกาะ (Adhesion) และการยืดตัว (Ductility) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ สำหรับส่วนประกอบของ Oily Constituents นั้น จะมีผลต่อความแข็งหรืออ่อนของแอสฟัลต์ ดังนั้น จึงเป็นตัวที่กำหนดความหนืด (Viscosity) และการไหล (Flow) ของแอสฟัลต์ โดยทั่วไปวัสดุแอสฟัลต์จะมีคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้คือ มีค่าความหนาแน่น (Density) อยู่ในช่วงระหว่าง 1.01-1.04 g/cm^3 และมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.95–1.05

แบบจำลอง SHRP

แบบจำลองแบบใหม่นี้ ได้เสนอว่าแอสฟัลต์ประกอบขึ้นด้วยส่วนผสมที่กลมกลืนกันของหลายโมเลกุลที่แตกต่างกัน อาจแยกได้เป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ โมเลกุลที่มีขั้วและโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว โมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะทำหน้าที่เป็นโครงยึดเกาะโมเลกุลที่มีขั้ว โดยโครงข่ายของโมเลกุลที่มีขั้วนั้นจะยึดกันอยู่อย่างไม่แข็งแรงทำให้วัสดุแอสฟัลต์มีคุณลักษณะของการยืดหยุ่น (Elastic properties) โมเลกุลที่มีขั้วดังกล่าวจะกระจายอยู่ทั่วไปในแอสฟัลต์ เมื่อถูกทำให้ร้อน แรงยึดเกาะที่อ่อนแออยู่แล้วจะถูกทำลายลง ทำให้แอสฟัลต์มีสภาพเป็นของไหลที่อุณหภูมิสูง แอสฟัลต์ที่ดีต้องมีการถ่วงดุลที่เหมาะสมระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วกับโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลที่แท้จริงของโมเลกุลที่ไม่มีขั้วยังมีความสำคัญต่อพฤติกรรมของวัสดุแอสฟัลต์ โดยเฉพาะคุณภาพที่อุณหภูมิต่ำด้วย ดังนั้นแอสฟัลต์ที่มีโมเลกุลที่มีขั้วมากเกินไปจึงมีลักษณะแข็งเปราะง่าย ทำให้มักเกิดปัญหาการแตกร้าว ในทางกลับกันหากแอสฟัลต์มีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วมากเกินไปหรือมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเกินไป ก็จะเกิดปัญหาการอ่อนตัวของแอสฟัลต์หรือนำไปสู่ปัญหาการเกิดร่องล้อ (Rutting) บนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้

ปัจจุบันมีการนำแอสฟัลต์ไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสมบัติที่สำคัญ 6 ประการ ดังนี้

- สมบัติในการยึดและประสาน (Cementing)
- สมบัติในการป้องกันการซึมของน้ำ (Water proofing)
- สมบัติในการเปลี่ยนเป็นของเหลวหรืออ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อถูกความเย็น (Thermoplastic)
- สมบัติในการคงทนต่อสภาวะแวดล้อม (Durability) เช่น กรดและด่างอ่อน ๆ
- สมบัติในด้านการเป็นฉนวน (Non-Conducting)
- สมบัติในด้านการยืดหยุ่น (Elasticity)

จากสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถนำแอสฟัลต์มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย โดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นตัวประสานหรือยึดเกาะวัสดุต่างๆ ในการทำผิวทาง นอกจากนี้ยังใช้แอสฟัลต์ในการลาดคลองชลประทาน อ่างเก็บน้ำ สระน้ำ หรือผิวหน้าเขื่อนดินเพื่อป้องกันน้ำซึมได้ ทั้งยังใช้ในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ทำสีกันสนิม กระดาษกันซึม กระเบื้องยางปูพื้น เคลือบภายในท่อน้ำ เป็นต้น

ชนิดของแอสฟัลต์

แอสฟัลต์สามารถแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ชนิด คือ

แอสฟัลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ พบตามแหล่งต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นบึง เนื่องจากเมื่อน้ำมันดิบตามธรรมชาติใต้ผิวโลกถูกกระทำภายใต้สภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ เช่น ลม และความร้อนจากแสงอาทิตย์ ส่วนประกอบที่เป็นก๊าซหรือน้ำมันระเหยง่ายก็จะแยกตัวออกไป เหลือเพียงแอสฟัลต์รวมตัวอยู่ด้วยกัน โดยอาจแทรกอยู่ในชั้นหิน เรียกว่า Rock asphalt ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินปูนที่มีแอสฟัลต์ซึมอยู่จนอิ่มตัว

แอสฟัลต์ที่เกิดจากการผลิต เป็นส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันดิบ (Residual materials) หรือที่เรียกว่า Topped crude ซึ่งยังมีลักษณะค่อนข้างเหลว เนื่องจากยังมีส่วนที่เป็นน้ำมันต่างๆ เหลืออยู่ เมื่อแยกน้ำมันออกไปจะได้แอสฟัลต์ที่มีความข้นเหลวและความแข็งมากน้อยตามความต้องการ

ประเภทของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวทาง

แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ เป็นสารหรือผลิตภัณฑ์พื้นฐานหลักที่เหลือจากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ (Residual product) เนื่องจากไม่ระเหย มีลักษณะกึ่งอ่อนกึ่งแข็งที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำหรือ สีน้ำตาลปนดำ ในการนำไปใช้งานจะต้องต้มให้เหลวโดยใช้อุณหภูมิ 100–150 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์ซีเมนต์สามารถแบ่งเกรดต่าง ๆ ได้ 3 ชนิด ตามผู้ผลิตกำหนด คือ

Penetration Grade เป็นแอสฟัลต์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรง มีเกรดมาตรฐาน 5 เกรด ได้แก่ 40-50 60-70 80-100 120-150 และ 200-300 เพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสมกับงานและสภาพดินฟ้าอากาศของแต่ละพื้นที่ เช่น ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศในเขตร้อนควรใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เกรดค่อนข้างต่ำ คือ 60-70 ขณะที่ประเทศในเขตหนาวอาจต้องใช้ถึงเกรด 120-150 หรือสูงกว่า ในประเทศไทยกรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภทนี้ไว้ใน ทล.-ก 401/2531 ตาม มอก. 851–2542 ค่า Penetration ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะเท่ากับ จำนวนหน่วยของระยะ (1 หน่วย = 0.1 มิลลิเมตร) ที่เข็มมาตรฐานซึ่งถูกกดด้วยน้ำหนัก 100 กรัม จมลงในแอสฟัลต์เป็นเวลา 5 วินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น เข็มจมลงไป 10 มิลลิเมตร ค่า Penetration = 10/0.1 หรือเท่ากับ 100

Blown Grade เป็นการนำแอสฟัลต์ชนิด Penetration Grade ไปเป่าลมใส่ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 250-300 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้สมบัติทางด้านความแข็งและการทนความร้อนของแอสฟัลต์ดีขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของ Asphaltenes ในเนื้อแอสฟัลต์สูงขึ้น ทำให้ได้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะแก่การนำไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ R.85/25 R.85/40 R.115/15 R.135/10 และ R.155/7 สัญลักษณ์เล่านี้จะแสดงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เช่น R.85/25 จะหมายถึง

R คือ Rubbery หมายถึง มีสมบัติบางส่วนใกล้เคียงกับยางสังเคราะห์หรือยางธรรมชาติ

85 คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ (Average softening point) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส วัดโดยใช้เครื่องมือ Ring and Ball Test (แอสฟัลต์ชนิดนี้จะมีค่าจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส)

25 คือ ค่า Penetration

Hard Grade เป็นการนำแอสฟัลต์ชนิด Penetration Grade ไปกลั่นต่อภายใต้สูญญากาศที่อุณหภูมิสูง ทำให้ได้แอสฟัลต์ที่มีความแข็งมากขึ้น เช่น H 80/90 จะหมายถึง

H คือ Hard

80/90 คือ ค่าจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส แต่ค่า Penetration ของแอสฟัลต์ชนิดนี้ไม่ได้แสดงไว้ โดยจะอยู่ในช่วง 6 - 12 เท่านั้นในการทำผิวทางจะต้องทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์อยู่ในสภาพของเหลวด้วยความร้อน จากนั้นจึงผสมกับวัสดุมวลรวมต่าง ๆ แล้วจึงบดอัด เมื่อปล่อยให้เย็นลงแอสฟัลต์ซีเมนต์จะเคลือบวัสดุ มวลรวมและจับตัวเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดความแข็งแรงสามารถรองรับน้ำหนักการจราจรได้

แอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid asphalt)

คัตแบคแอสฟัลต์ (Cutback asphalt) เป็นการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ไปละลายในตัวทำละลาย (Solvents) ซึ่งได้แก่น้ำมันต่าง ๆ เช่น Neptha (Gasoline) Kerosine และ Diesel oil น้ำมันที่ใช้เป็นสารละลายนี้เรียกรวมกันว่า Dituent หรือ Culter stock แอสฟัลต์ชนิดนี้มีลักษณะเหลวที่อุณหภูมิธรรมดา แต่จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ Culter stock ตลอดจนสัดส่วนระหว่างแอสฟัลต์กับ Culter stock การใช้งานแอสฟัลต์ชนิดนี้ เมื่อบดอัดแล้วจะปล่อยทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายระเหยไป เหลือเพียงแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งทำหน้าที่ประสานวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน กรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานของคัตแบคแอสฟัลต์ไว้ตามมาตรฐาน ทล.-ก. 402/2531 และ ทล.-ก. 403/2531 โดยคัตแบคแอสฟัลต์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามชนิดตัวทำละลาย คือ

- **ชนิดแข็งตัวเร็ว** (Rapid Curing : RC) ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็ว ได้แก่ Neptha (Gasoline) แอสฟัลต์ชนิดนี้จะแข็งตัวเร็ว ส่วนมากใช้กับงาน Surface treatment
- **ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง** (Medium Curing : MC) ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็วปานกลาง ได้แก่ Kerosine จะมีการแข็งตัวช้ากว่าชนิด RC การใช้งานต้องใช้เวลาในการบ่มตัวนาน (Curing) ส่วนมากใช้กับงาน Prime coat และ Tack coat เพื่อให้ MC มีโอกาสซึมลงไปใต้ผิว Base course ได้มากขึ้น

- **ชนิดแข็งตัวช้า** (Slow Curing : SC) ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำมันที่ระเหยช้า ได้แก่ Diesel fuel oil หรืออาจผลิตได้จากการกลั่นโดยตรง มักนิยมเรียกว่า Road oils ส่วนมากใช้ทำ Road mix หรือใช้ในงานซ่อม (Patching) แต่ไม่นิยมใช้ในประเทศไทย

อิมัลชันแอสฟัลต์ (Emulsion asphalt)

อิมัลชันแอสฟัลต์ คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ถูกตีให้แตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ (Colloidal particles) กระจายอยู่ในน้ำที่มี Emulsifier ผสมอยู่เล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.25 – 2 โดยน้ำหนัก อิมัลชันแอสฟัลต์ผลิตได้โดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 170 องศาเซลเซียส โดยมีสารเคมีที่ช่วยในการให้อนุภาคของแอสฟัลต์กระจายตัวซึ่งเรียกว่า Emulsifier ผสมอยู่ น้ำและแอสฟัลต์จะถูกตีด้วยเครื่อง Colloidal mill ทำให้แอสฟัลต์แตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ ในอิมัลชันแอสฟัลต์จะมีแอสฟัลต์ซีเมนต์ประมาณ 55 – 70% ที่เหลือจะเป็นน้ำทั้งหมด

Emulsifier เป็นตัวกำหนดสมบัติของอิมัลชันแอสฟัลต์ตามชนิดของประจุ คือ ชนิดประจุไฟฟ้าลบ (Anionic) ชนิดประจุไฟฟ้าบวก (Cationic) และชนิดที่เป็นกลาง (Nonionic) ในการก่อสร้างจะใช้ทั้งชนิดที่ให้ประจุไฟฟ้าบวกและที่ให้ประจุไฟฟ้าลบ ขณะที่ในงานสร้างถนนจะนิยมใช้ Cationic emulsified asphalt มากกว่า Anionic emulsified asphalt เนื่องจากหินที่ใช้ในการก่อสร้างมีผิวที่เป็นประจุลบ ตรงข้ามกับ Asphalt particle ของ Cationic emulsified asphalt แอสฟัลต์ชนิดนี้จึงมักในงานประเภท Penetration Macadam Surface treatment Prime coat Tack coat และ Seal coat เป็นต้น และเนื่องจากแอสฟัลต์ชนิดนี้มีน้ำเป็นส่วนผสม จึงสามารถนำไปใช้งานโดยผสมกับส่วนอื่นที่เป็นน้ำได้ทั้งยังสามารถทำงานในขณะที่วัสดุอื่นๆ เปียกน้ำได้อีกด้วย Anionic emulsified asphalt จะใช้ Emulsifier จำพวก Fatty acid ซึ่งทำให้อนุภาคแอสฟัลต์แสดงประจุไฟฟ้าเป็นลบ ส่วน Cationic emulsified asphalt จะใช้ Emulsifier จำพวก Fatty amines ซึ่งทำให้อนุภาคแอสฟัลต์แสดงประจุไฟฟ้าเป็นบวก กรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานของ Cationic asphalt emulsion ไว้ในข้อกำหนด ทล.-ก. 404/2531 ตาม มอก. 371-2530 อัตราการแข็งตัวหรือการแตกตัวของ Emulsion จะขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของสารที่ใช้ ซึ่งมีอยู่ 3 ระดับ ของทั้ง 2 ชนิดประจุ คือ

- ชนิดก่อตัวเร็ว (Rapid setting , RS และ CRS)
- ชนิดก่อตัวปานกลาง (Medium setting , MS และ CMS)
- ชนิดก่อตัวช้า (Slow setting , SS และ CSS)

อักษร C ข้างหน้าของแต่ละชนิด หมายถึง ประเภท Cationic ถ้าไม่มีอักษร C หมายถึงประเภท Anionic

2.2.3 **วัสดุมวลรวม** (Aggregates)

วัสดุมวลรวมที่ใช้สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต สามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิด คือ

มวลรวมหยาบ คือ มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร หรือ ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4

มวลรวมละเอียด คือ มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.075 - 4.75 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 เช่น หินฝุ่นหรือทราย

วัสดุผสมแทรก คือ มวลรวมที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก กล่าวคือเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ใช้ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อเติมส่วนละเอียดให้มากขึ้น ส่วนละเอียดนี้เป็นส่วนสำคัญในการผลิตวัสดุผสมที่แข็งแรงและมีเกรดแน่น (Dense grade) โดยทั่วไป ทรายธรรมชาติจะมีส่วนละเอียดที่ต้องการนี้ในปริมาณน้อย วัสดุผสมแทรกอาจเป็น Stone dust Portland cement Silica cement Hydrated lime และอื่น ๆ ตามข้อกำหนด ทล.-ท.205/2517 ของกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	**ปริมาณผ่านตะแกรงร้อยละโดยมวล** (% Passing)
0.600 (เบอร์ 30)	100
0.300 (เบอร์ 50)	75 – 100
0.075 (เบอร์ 200)	55 - 100

คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่มีคุณภาพดีจะต้องมีลักษณะดังนี้

- **ขนาดคละดี** เพื่อให้ส่วนผสมแน่น หากมีความจำเป็นอาจใช้วัสดุผสมแทรกร่วมด้วย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงแก่ส่วนผสม
- **แข็ง** เพื่อต้านทานการสึกหรอและการขัดสีจากการจราจร
- **คงทน** เพื่อต้านทานการแตกร้าวจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- **ผิวขรุขระหยาบ** เพื่อให้มีแรงเสียดทานมากขึ้นและมีผิวหน้าที่ยึดเกาะกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้ดีขึ้น
- **รูปร่างลูกบาศก์** เนื่องจากอนุภาครูปร่างแบนยาวมีโอกาสแตกได้ง่าย
- **เกลียดน้ำ** หรือที่เรียกว่า ไฮโดรโฟบิก มวลรวมจำพวกซิลิก้า เช่น ควอทซ์ เป็นพวกชอบน้ำที่เรียกว่า ไฮโดรฟิลิก หมายถึง ยึดเกาะกับน้ำได้ดีกว่ายึดเกาะกับแอสฟัลต์เนื่องจากประจุ

ที่อยู่ผิวหน้าของอนุภาคมวลรวม เป็นสาเหตุให้เกิดการหลุดลอกของแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวอนุภาคของมวลรวมที่มีน้ำห่อหุ้มอยู่

- **ปราศจากสารที่เป็นอันตราย** วัสดุจำพวกอนุภาคของดินเหนียว ฝุ่น สิ่งสกปรก และส่วนที่มีน้ำหนักเบา อาจทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวอนุภาคของมวลรวมมีคุณภาพต่ำลงหรืออาจทำให้อนุภาคบางอนุภาคเกิดการแตกได้
-

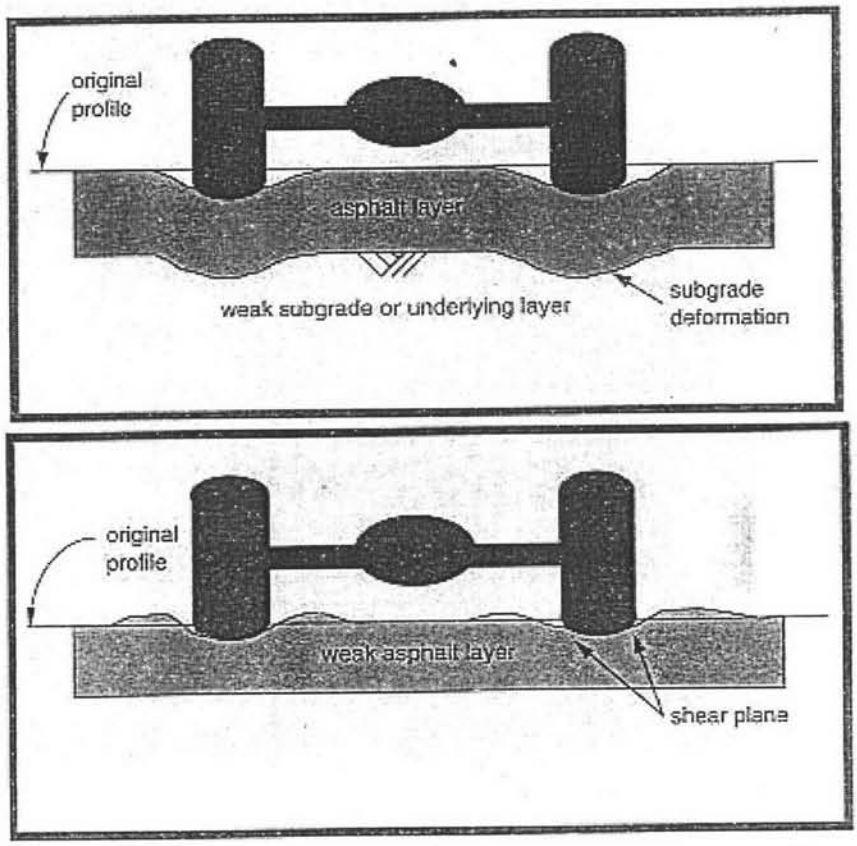
2.2.4 ปัญหาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีข้อจำกัดในเรื่องของอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงจะอ่อนตัว แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำจะแตกเปราะ นอกจากนี้ปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน ยังทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดปัญหาชำรุดเสียหายเร็วกว่าปกติ และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาสูงขึ้น ลักษณะความเสียหายที่พบมีดังนี้

ผิวทางเยิ้ม (Bleeding) เป็นปรากฏการณ์ที่วัสดุแอสฟัลต์ในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตไหลขึ้นมารวมกันที่ผิวหน้าเมื่ออุณหภูมิสูงหลังจากได้รับน้ำหนักบรรทุก โดยแอสฟัลต์จะไหลเยิ้มทำให้ผิวทางลื่น ลักษณะดังกล่าวเกิดจากแอสฟัลต์มีค่าความหนืดต่ำ (Low viscosity) และมีค่าความว่องไวต่อ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature susceptibility) สูงมาก หรือเกิดจากปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt content) ที่ได้จากการออกแบบส่วนผสมไม่ถูกต้องอาจมีปริมาณมากเกินไป นอกจากนี้ อาจมีสาเหตุมาจากวัสดุแอสฟัลต์มีจุดอ่อนตัว (Softening point) ต่ำทำให้แอสฟัลต์อ่อนตัวง่าย ก่อให้เกิดร่องล้อ (Rutting) ที่ผิวทางขึ้นได้

ผิวทางเกิดการยุบตัวถาวร (Permanent deformation) การยุบตัวถาวรเป็นลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชั้นผิวทางหรือชั้นโครงสร้างทางถาวร โดยทั่วไปมักเกิดขึ้นในแนวร่องล้อของน้ำหนักบรรทุกที่แล่นผ่านหรือบริเวณที่มีการหยุดรอของรถบรรทุกหนักการยุบตัวถาวรอาจเกิดขึ้นเฉพาะที่ชั้นผิวทางหรือเฉพาะที่ชั้นโครงสร้างทาง หรือเกิดขึ้นทั้งที่ชั้นผิวทางและชั้นโครงสร้างทางก็ได้ สาเหตุของการยุบตัวอาจเกิดจากการที่ชั้นทางนั้นใช้วัสดุในการก่อสร้างที่ไม่มีเสถียรภาพดีพอ ทำให้เกิดการยุบตัวเนื่องจากการทับถมหรือเกิดการไหลตัวของชั้นทางนั้นอย่างถาวร หรืออาจเกิดหลังจากที่ผิวทางมีการไหลเยิ้ม (Bleeding) ก็ได้ โดยทั่วไป การยุบตัวถาวรจะมีอยู่ 2 ชนิดได้แก่ การยุบตัวถาวรที่เกิดขึ้นขนานกับทิศทางจราจรในแนวร่องล้อของน้ำหนัก

บรรทุก เรียกว่า ร่องล้อ (Rutting) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และการยุบตัวถาวรที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับทิศทางของจราจรซึ่งมักเกิดบริเวณที่การจราจรหยุดรอหรือเคลื่อนตัวช้า เรียกว่า Shoving ส่วนมากตามถนนในพื้นที่นอกเมืองจะพบการยุบตัวถาวรชนิด Rutting มากกว่าเพราะการจราจรเคลื่อนตัวด้วยความเร็วสูงกว่า ขณะที่พื้นที่ในเมืองนั้นมักจะพบทั้ง Rutting และ Shoving โดยเฉพาะบริเวณตามทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร ป้ายรถประจำทางหรือบริเวณที่มีการจราจรติดขัดเป็นประจำ เพราะการหยุดจอดบ่อยครั้งของการจราจรที่มีน้ำหนักบรรทุกมากในบริเวณดังกล่าว ทำให้เกิด Shoving ได้ง่าย นอกจากนี้คุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์ก็เป็นส่วนสำคัญที่จะส่งผลต่อการยุบตัวถาวรของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเช่นกัน

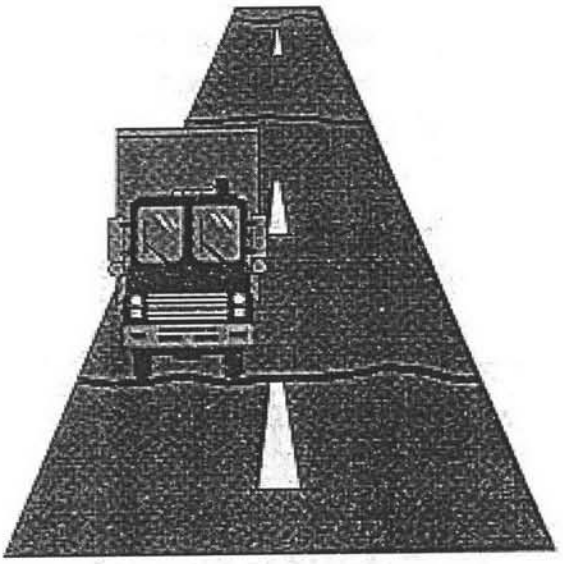


รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดการยุบตัวถาวรของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

ผิวทางแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermal cracking) การแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น สาเหตุเกิดจากแรงเค้นดึงที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เย็นจัด (ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง) อย่างรวดเร็ว เมื่อแรงเค้นดึงนี้มีค่ามากเกินกว่าค่ากำลังรับแรงดึงของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่สามารถรับได้

ก็จะทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้น ลักษณะของรอยแตกร้าวจะเป็นรอยแตกตามแนวขวางกับทิศทางการจราจร ดังแสดงในรูปที่ 2.4

การแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเป็นผลโดยตรงจากคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ เนื่องจากวัสดุแอสฟัลต์จะมีลักษณะแข็งและเปราะ ง่ายต่อการแตกร้าว คุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามเกรดแหล่งน้ำมันดิบ อายุ และอัตราการเกิดความเครียดของวัสดุแอสฟัลต์ จากการสังเกตพบว่า วัสดุแอสฟัลต์ที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนของอุณหภูมิสูงจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกร้าวสูงเช่นกัน



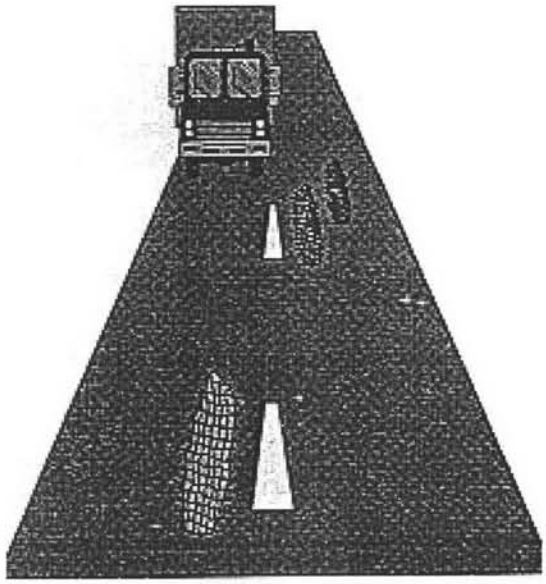
Low Temperature Cracking

รูปที่ 2.4 แสดงการแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

ผิวทางแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue cracking) การแตกร้าวเนื่องจากความล้าจากการรับน้ำหนักบรรทุกบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เกิดจากการที่ผิวทางต้องรับน้ำหนักจากการจราจรซ้ำไปซ้ำมาเป็นระยะเวลานานจนเกิดความล้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากการรับน้ำหนักในลักษณะซ้ำซาก ได้แก่

- การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง
- คุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์
- ปริมาณของวัสดุแอสฟัลต์

- ปริมาณช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
- คุณภาพในสนามของวัสดุชั้นทาง
- อุณหภูมิ
- ปริมาณการจราจร



Alligator (Fatigue) Cracking

รูปที่ 2. 5 แสดงการผิวทางแตกร้าวเนื่องจากความล้าของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

การทำลายความแข็งแรงเนื่องจากความชื้น (Moisture damage) การทำลายความแข็งแรงเนื่องจากความชื้นนั้นไม่ใช่ความเสียหายของถนน แต่เป็นผลกระทบหลักที่จะก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น เนื่องจากความชื้นจะทำลายการยึดเกาะระหว่างผิวของวัสดุมวลรวมกับวัสดุแอสฟัลต์ ทำให้เกิดการหลุดลอกของวัสดุมวลรวมจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เรียกว่า Raveling เป็นปรากฏการณ์ที่ผิวทางสึกกร่อน เนื่องจากวัสดุส่วนละเอียดที่ผิวหน้าของวัสดุแอสฟัลต์ ถูกแรงเฉือนจากล้อรถตะกุยจนหลุดออก ทำให้ผิวทางหยาบขรุขระ มีลักษณะเป็นหน้าข้าวตัง และมีหินใหญ่โผล่ ความเสียหายดังกล่าวทำให้โครงสร้างชั้นทางมีกำลังลดลง นำไปสู่การแตกร้าวหรือการยุบตัวถาวรในแนวร่องล้อต่อไป

การเปลี่ยนคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น (Aging) การเปลี่ยนคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ไม่ได้ก่อความเสียหายให้แก่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยตรง แต่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายได้ในระยะเวลาต่อมา โดยแอสฟัลต์จะทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้เกิดการแข็งเปราะ แม้ว่าการแข็งขึ้นของแอสฟัลต์ดังกล่าวจะเป็นผลดีต่อการต้านทานต่อการยุบตัวถาวร แต่หากเกิดการแข็งตัวมากเกินไปจนเปราะแล้ว จะทำให้เกิดการแตกร้าวและนำไปสู่การหลุดลอก (Stripping) ได้ ภาวะการเกิด Aging นี้อาจเกิดขึ้นได้ทั้งในระหว่างขั้นตอนการผสมแอสฟัลต์กับมวลรวมเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต และในระหว่างการใช้งานในสนาม

วิธีหนึ่งในการแก้ไขปัญหาความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเฉพาะถนนที่มีปริมาณการจราจรและปริมาณรถบรรทุกหนักสูง ก็คือ ต้องปรับปรุงคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์ซึ่งเป็นวัสดุเชื่อมประสาน (Binder) เพื่อให้มีคุณสมบัติดังนี้

- เพิ่มความหนืด (Viscosity)
- ลดความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature susceptibility)
- เพิ่มจุดอ่อนตัว (Softening point)
- เพิ่มความยืดหยุ่น (Elasticity)
- เพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)
- เพิ่มการต้านทานต่อการเปลี่ยนคุณภาพเนื่องจากอายุการใช้งาน (Aging resistance)
- เพิ่มความแข็งแกร่ง (Stiffness)
- เพิ่มเสถียรภาพ (Stability)

2.2.5 การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

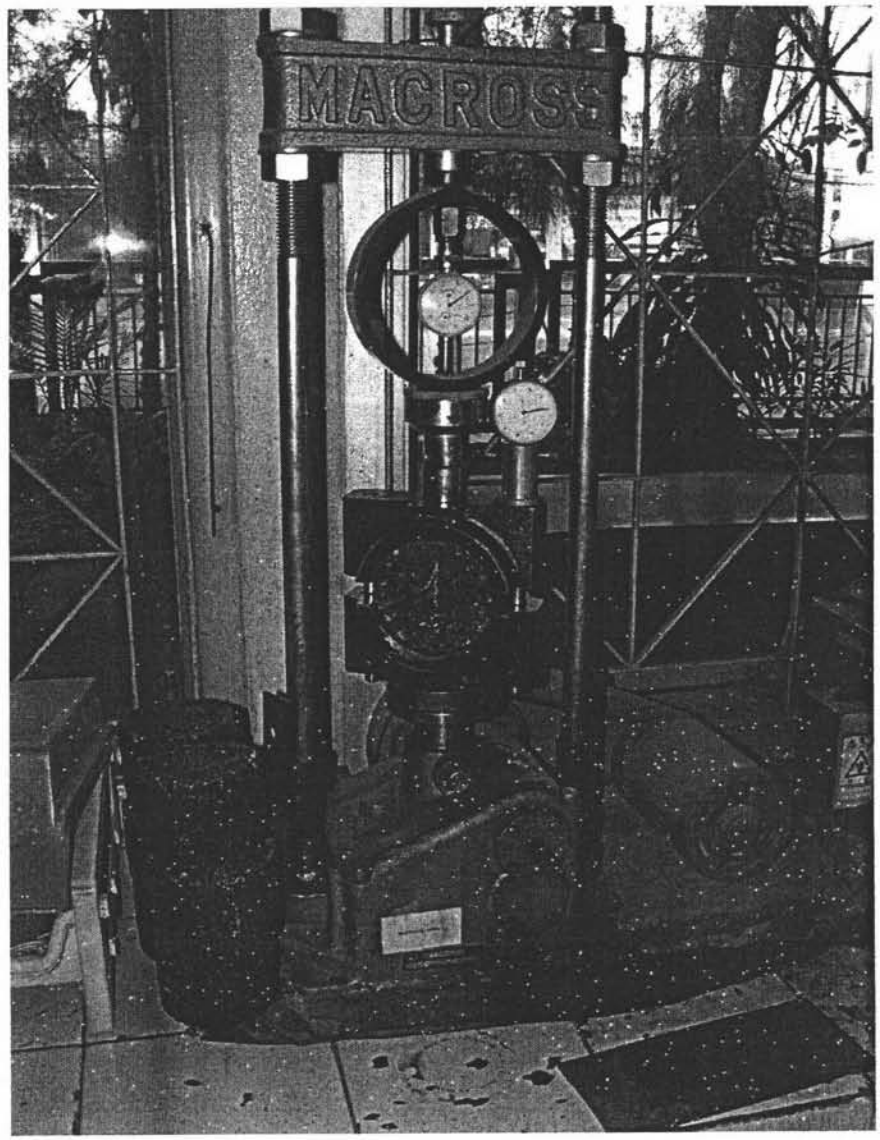
แนวคิดของวิธีมาร์แชลในการออกแบบวัสดุส่วนผสมสำหรับถนนแอสฟัลต์กำหนดขึ้นโดยนาย บรูซ มาร์แชล วิศวกรบิทูเมน กรมทางหลวงรัฐมิสซิสซิปปี้ ต่อมา the U.S. Corps of Engineers ได้ศึกษาค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงวิธีการและพัฒนาหลักเกณฑ์ในการออกแบบ

ส่วนผสมจนกระทั่งได้วิธีการทดสอบที่ได้มาตรฐาน และกำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1559 และ AASHTO T245 ขึ้น

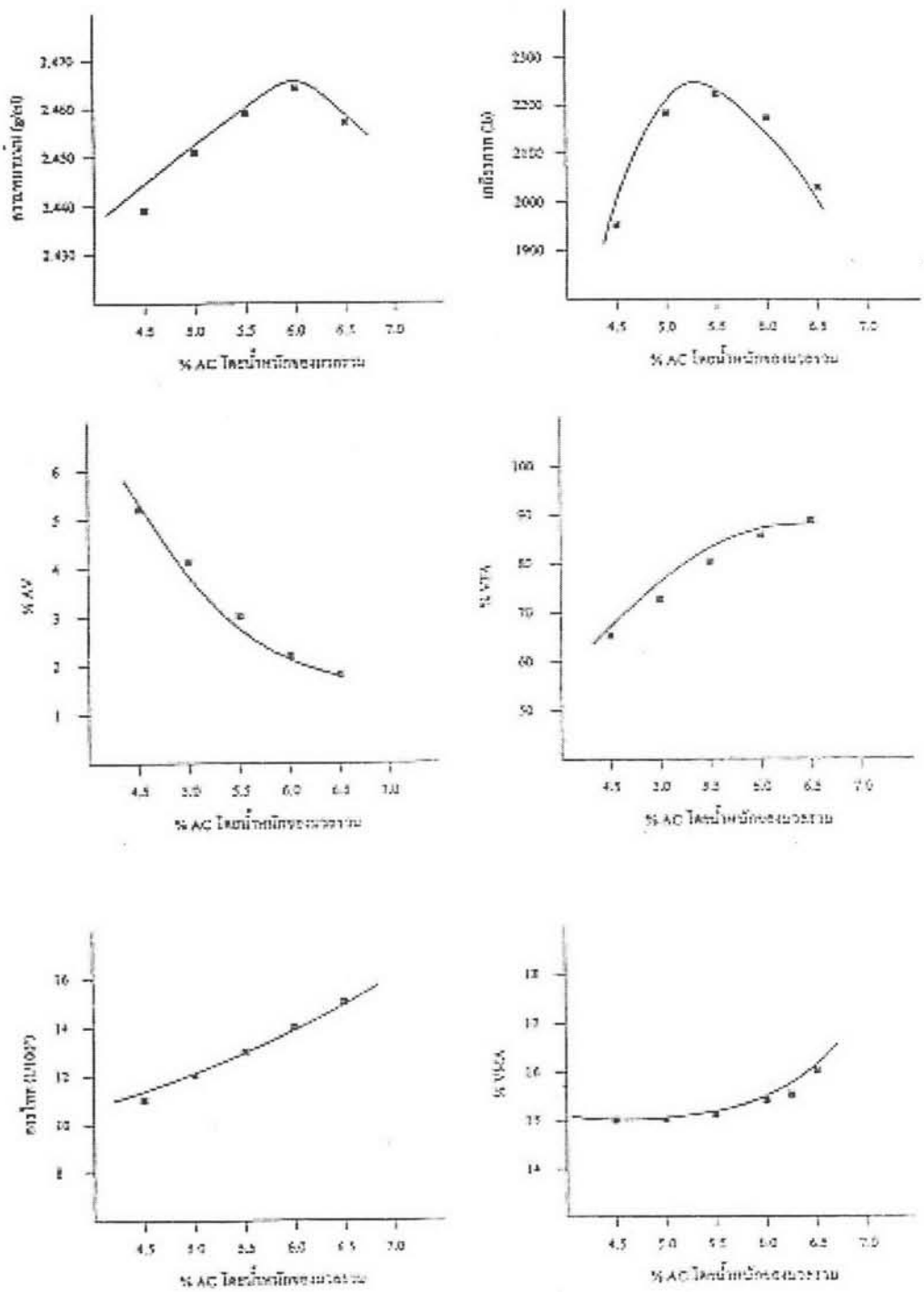
วิธีมาร์แชลนี้ใช้กับถนนแอสฟัลต์ที่ผสมแบบร้อน (Hot Mix Asphalt : HMA) ซึ่งประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวมที่มีการจัดขนาดคละแน่น ที่มีขนาดมวลรวมโตสุด 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) หรือน้อยกว่า วิธีการนี้ใช้ได้ทั้งการออกแบบในห้องปฏิบัติการและการควบคุมในสนาม

การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล เป็นการใช้เครื่องทดสอบเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เพื่อหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ เสถียรภาพ (Stability) การไหล (Flow) ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ (Air void) หน่วยน้ำหนัก (Unit weight) ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) และค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) ในส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมวลรวมชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปหาค่าร้อยละของปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt content) ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าร้อยละของช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 4 จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทดสอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

- ค่าเสถียรภาพมาร์แชล กับ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม
- ค่าการไหลมาร์แชล กับ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม
- ค่าร้อยละของปริมาณช่องว่างอากาศ กับ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม
- ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม กับ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม
- ค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ กับ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม
- ค่าหน่วยน้ำหนัก กับ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม



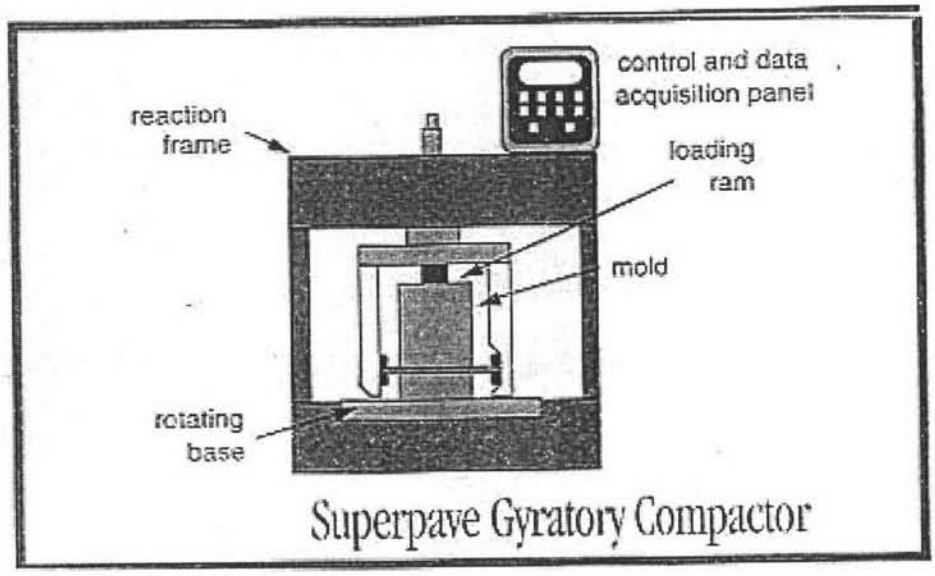
รูปที่ 2.6 เครื่องมือทดสอบเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล



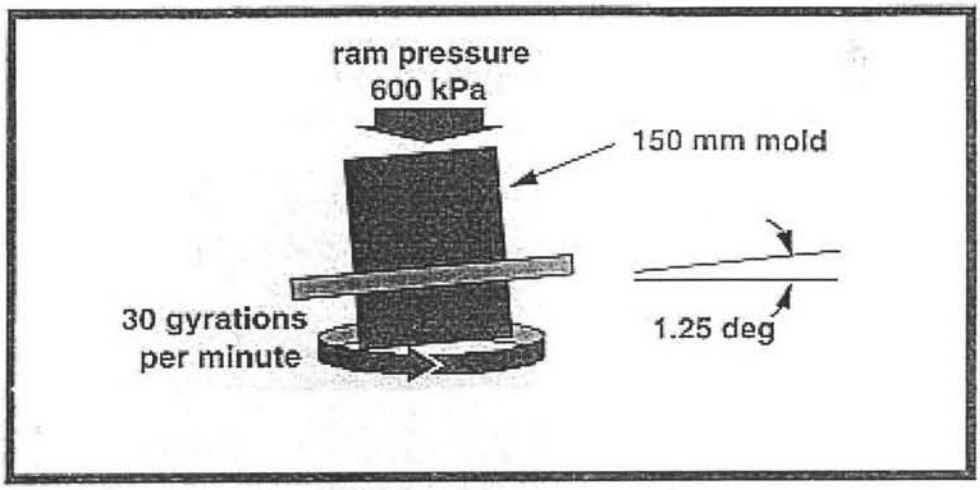
รูปที่ 2.7 กราฟตัวอย่างข้อมูลของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชล

2.2.6 การบดอัดก้อนวัสดุตัวอย่างโดย Superpave Gyratory Compactor

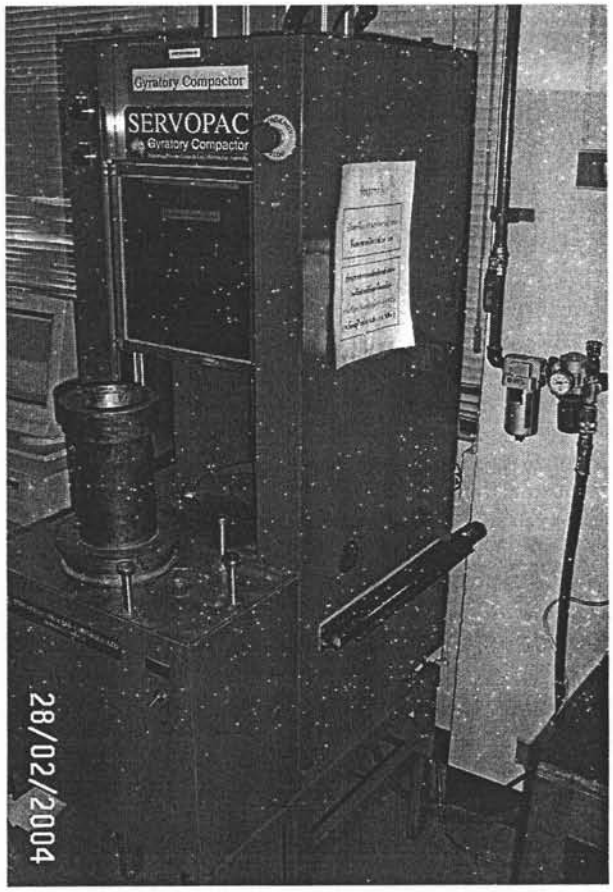
เครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC) เป็นเครื่องมือกลกึ่งอัตโนมัติที่สามารถควบคุมการให้น้ำหนักกดที่คงที่ โดยกระบวนการบดอัดจะเริ่มขึ้นเมื่อนำส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะทำการบดอัดบรรจุลงในแบบ (Mold) ซึ่งมีทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 และ 150 มิลลิเมตร จากนั้นนำ Mold ดังกล่าวเข้าติดตั้งกับส่วนฐานรับก้อนตัวอย่าง (Rotation base) ส่วนฐานนี้จะหมุนในอัตราเร็ว 30 รอบต่อนาที และจะรองรับ Mold ไว้ขณะทำการบดอัด ที่ฐานจะมีขอบเพื่อล็อคเข้ากับ Bearing ที่ทำหน้าที่บังคับวัสดุผสมใน Mold ให้ทำมุมเอียง 1.25 องศากับหัวของ Loading ram ซึ่งเป็นตัวควบคุมความดันที่กดลงบนวัสดุใน Mold ด้วยความดันคงที่ 0.6 MPa ขณะทำการบดอัดวัสดุในการหมุนแต่ละรอบ และมีระบบการวัดความสูงก้อนตัวอย่างขณะทำการบดอัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2. 8 การบดอัดดังกล่าวเป็นการลอกเลียนพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากสภาพจริงในสนามที่ล้อเหล็กของรถบดอัดทำกับผิวถนนขณะบดอัด



รูปที่ 2.8 เครื่อง Gyratory Compactor



รูปที่ 2.9 ลักษณะการทำงานในการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC)



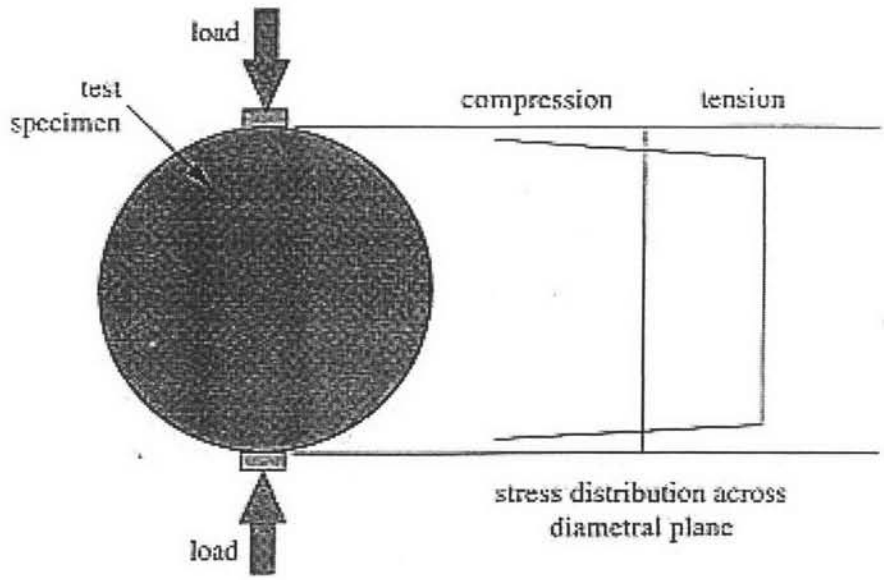
รูปที่ 2.10 เครื่องบดอัด Gyratory Compactor ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

2.2.7 การทดสอบวัสดุโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test)

การทดสอบแบบ Indirect Tensile Test เป็นการทดสอบโดยการป้อนน้ำหนักที่เป็น Compression load ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งแบบ Static และแบบ Repeated / Dynamic load แล้วแต่กรณี โดยให้แรงกระทำในแนวขนานตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวดิ่งของก้อนวัสดุทดสอบ ตามทฤษฎีที่ Stresses พัฒนาขึ้น เนื่องจากการกระทำของแรงที่กระทำต่อก้อนวัสดุทดสอบทรงกระบอก ในทางปฏิบัติหากยึดการให้แรงของก้อนวัสดุทดสอบโดยตรงแล้ว จะทำให้จุดแตกหักของวัสดุเกิดที่ตำแหน่งขอบผิวของก้อนวัสดุทดสอบที่ทำการให้แรง ผลที่ได้จะไม่ถูกต้องตามคุณสมบัติจริงของวัสดุที่ควรจะเป็น ดังนั้นการให้แรงจึงต้องกระทำผ่านแท่งกดน้ำหนักที่เป็นเหล็กสแตนเลสที่มีขนาดเหมาะสม กล่าวคือ

ในกรณีที่ก้อนวัสดุทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 มิลลิเมตร ควรใช้แท่งที่มีความกว้างประมาณ 13 มิลลิเมตร และในกรณีที่ก้อนวัสดุทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 150 มิลลิเมตร ควรใช้แท่งที่มีความกว้างประมาณ 19 มิลลิเมตร โดยที่แท่งกดน้ำหนักดังกล่าวต้องมีด้านสัมผัสกับผิวของก้อนวัสดุทดสอบซึ่งเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเท่ากับรัศมีของก้อนวัสดุทดสอบ ทำให้สามารถแนบกันได้สนิทพอดีเพื่อประโยชน์ในการกระจายน้ำหนักและการรักษาพื้นที่ที่น้ำหนักกระทำคงที่ การให้แรงในลักษณะนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึง (Tensile stress) ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกระทำตั้งฉากกับแนวของการให้แรง หรือแนวเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวดิ่ง ทำให้ก้อนวัสดุทดสอบเกิดการแตกแยกขึ้นตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ว่าจะเกิดจากการป้อน Single load หรือ Repeated load ก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายของ Stresses ที่เกิดขึ้นภายในก้อนวัสดุทดสอบขณะทำการทดสอบทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง จะสังเกตเห็นว่าที่บริเวณกึ่งกลางของก้อนวัสดุทดสอบ Compressive stress ที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งจะมีขนาดประมาณ 3 เท่าของหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในแนวราบ ผลจากทฤษฎีพอจะสรุปสมการที่สามารถใช้ในการคำนวณหาค่า Tensile strength ค่า Tensile strain ค่า Modulus of Elasticity และค่า Poisson's Ratio ได้ โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ



Indirect Tensile Test

รูปที่ 2.11 การป้อนน้ำหนักและลักษณะการแตกร้าวของก้อนตัวอย่าง จากการทดสอบด้วย Indirect Tensile Test

การทดสอบ Indirect Tensile แบ่งออกเป็น2 ลักษณะ คือ

1) การทดสอบแบบ Static หรือการใช้แรงกดในอัตราคงที่ ซึ่งเหมาะกับการทดสอบหาความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากผลของอุณหภูมิ (Thermal cracking) โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature)

2) การทดสอบแบบ Repeated หรือ Dynamic load ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์หาความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากความล้า และสามารถใช้กับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ โดยจะให้น้ำหนักทดสอบที่คงที่ค่าหนึ่งที่ไม่ถึงกับทำลายก้อนวัสดุทดสอบ จากนั้นกระทำการ Load และ Unload ซ้ำไปมา โดยตรวจสอบและบันทึกค่า Deformation ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง แต่จะให้ความสนใจเฉพาะในส่วนของค่า Recoverable deformation ซึ่งพิจารณาได้จากสมมติฐานที่ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load และ Deformation มีลักษณะเป็นเส้นตรง เพื่อใช้ค่าเหล่านี้ในการคำนวณหาค่า Resilient Modulus

การทดสอบนี้ยังสามารถใช้ประมาณค่า Permanent deformation ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก Repeated load ได้อีกด้วย โดยปกติ Repeated stress ที่กระทำกับก้อนวัสดุทดสอบจะ

ป้อนในรูปลักษณะ Haversine wave โดยมีการรักษาค่า Preload ไว้ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อรักษาสภาพการสัมผัสที่สม่ำเสมอระหว่างแท่งกดน้ำหนักกับผิวของก้อนวัสดุทดสอบ สำหรับลักษณะความสัมพันธ์ของการให้แรงเทียบกับเวลา และความสัมพันธ์ของค่า Deformation ที่เกิดขึ้นกับก้อนวัสดุทดสอบเทียบกับเวลา แต่ทั้งนี้ถ้าเครื่องมือทดสอบสามารถ ทำได้แนะนำให้เลือกช่วงระยะเวลาการให้แรงที่สั้น ๆ มาใช้ในการทดสอบ เพราะการทดสอบด้วยระยะเวลาการให้แรงที่สั้นจะให้ค่า Fatigue life สูงขึ้นใกล้เคียงกับค่า Fatigue life ที่เกิดขึ้นจริงในสนาม เพราะโดยปกติค่า Fatigue life ที่วิเคราะห์ได้จากการประมาณผลการทดสอบวัสดุใน ห้องปฏิบัติการ มีแนวโน้มที่จะต่ำกว่าค่าที่เกิดจากสภาพการใช้งานจริงในสนาม สำหรับระยะเวลาการให้แรงที่มักใช้ในการทดสอบจะอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.4 วินาที และใช้อัตราเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบโดยปกติจะเป็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 24 – 25 องศาเซลเซียส