บทที่ 2
เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาและงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับผิวทางระบายน้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัย ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Heystraeten และ Moraux (1990) ได้ทำการศึกษาถึงถึงผลการนำผิวทางระบายน้ำมาประยุกต์ใช้ในประเทศเบลเยี่ยม และจากการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้

ผิวทางระบายน้ำ เป็นการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกับมวลรวมที่มีช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมค่อนข้างมาก (โดยทั่วไปประมาณ 18 - 25 %) เมื่อบดอัดแล้ว ใช้ในการปูทับบนชั้นที่ไม่ให้น้ำซึมผ่านได้ (impervious layer) เพื่อให้เป็นโครงข่ายของช่องสำหรับระบายน้ำออกจากผิวทางให้ได้เร็ว

<u>คุณสมบัติของผิวทางระบายน้ำ</u>

ในการออกแบบผิวทางระบายน้ำ คำนึงถึงการระบายน้ำบนผิวทางให้ได้เร็วเป็นสำคัญ ซึ่งช่วยเพิ่มการสัมผัสของล้อของยานพาหนะกับผิวทางให้ดีขึ้นในสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยเฉพาะในสภาพที่ผิวถนนเปียก

ผิวทางระบายน้ำ ยังช่วยลดการกระเด็นของละอองน้ำด้านหลังยานพาหนะเมื่อยานพาหนะแล่นผ่าน และลดแสงสะท้อนจากผิวทางที่เปียกทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งทำให้ทัศนวิสัยในการมองดีขึ้น

นอกจากนี้ ผิวทางระบายน้ำ ยังช่วยในการลดมลพิษทางเสียงทั้งภายในและภายนอกตัวรถ เนื่องจากช่องว่างในผิวทางระบายน้ำช่วย ในการดูดซับเสียง และ ผิวทางระบายน้ำเป็นผิวทางที่เรียบจึงช่วยลดแรงกระแทกระหว่างผิวสัมผัสของล้อและผิวทาง

<u>การประยุกต์ใช้ ผิวทางระบายน้ำ</u>

ผิวทางระบายน้ำ ใช้ได้ดีกับบริเวณที่ค่อนข้างราบซึ่งน้ำไม่ไหล เช่น บริเวณ superelevation บริเวณที่ปูผิวทางกว้าง (motorways runways) เป็นต้น และบริเวณที่เป็นโค้งท้องกระทะตามแนวถนนตามแนวเขา

ผิวทางระบายน้ำ ยังสามารถใช้กับการปูผิวทางในอุโมงค์ ซึ่งมีระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าผิวทาง ช่วยในการระบายน้ำใต้ดินที่ไหลขึ้นสู่ผิวทางให้ระบายออกด้านข้าง

เนื่องจาก ผิวทางระบายน้ำ ช่วยในการมลพิษทางเสียง ดังนั้น ผิวทางระบายน้ำ ยังใช้ในบริเวณที่เป็นเขตชุมชน

ในการใช้ ผิวทางระบายน้ำ ในการระบายน้ำจะต้องมีการสร้างสาธารณูปโภคด้านข้างของผิวทางเพื่อเป็นที่รวบรวมน้ำ ซึ่งควรจะอยู่ต่ำกว่า impervious layer

หมายเหตุ บริเวณที่ไม่เหมาะสมในการใช้ ผิวทางระบายน้ำ ได้แก่

- บริเวณที่มีขยะที่ละลายน้ำได้อยู่เป็นจำนวนมาก เพราะจะทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ เช่น เขตปศุสัตว์ เป็นต้น

- บริเวณที่มีบริเวณที่มีปริมาณการจราจรน้อย หรือมีการการเคลื่อนตัวของการจราจรช้า เพราะฝุ่นที่ตกค้างอยู่บนผิวทางจะไม่ถูกพัดพาไปกับการจราจรทำให้จะเข้าไปอยู่ในช่องว่าง

- นอกจากนี้ ผิวทางระบายน้ำ ไม่เหมาะในการปูผิวทางบริเวณที่รับ tangential load เพราะผิวทางชนิดนี้มีมวลรวมที่ยึดเหนี่ยวกันน้อย จึงรับ tangential load ได้น้อย

<u>ส่วนประกอบของ ผิวทางระบายน้ำ</u>

ในการผสม ผิวทางระบายน้ำ ต้องการที่จะผสมให้มีปริมาณของช่องว่างมาก ดังนั้น ควรผสมให้เป็นแบบ open grade

- มวลรวมซึ่งค้างบนตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรมากกว่า 80 %

- ควรมีส่วนผสมของมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 2/7 หรือ 2/10 มิลลิเมตร ให้น้อย

- จำกัดการใช้วัสดุประสาน (Binder) เพื่อไม่ให้ไปเติมเต็มช่องว่าง หรือให้มีความยึดเหนี่ยวที่ดี

ส่วนผสมของ ผิวทางระบายน้ำ สรุปได้ดังตาราง 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมของ ผิวทางระบายน้ำตาม The Belgian Specification

Property	Specification
Grading	0/14 mm gap
Stones ($\geq$ 2 mm)	83 %
Crushed sand (0.080 mm - 2 mm)	12 %
Filler ($<$ 0.080 mm)	5 %
Binder	
- bitumen	4 to 5 %
- modified bitumen	4 to 5 %
- rubber-bitumen	5.5 to 6.5 %
Thinkness	4 cm
Voids ratio	
- average	19 to 25 %
- individual	16 to 28 %
Draining capacity	
- average	$\leq$ 60 s
- individual	$\leq$ 180 s

Kawanaka และ Nakanishi (n.d.) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของผิวทางที่มีคุณสมบัติระบายน้ำได้ดี และการนำโพลิเมอร์ (Polymer) ที่มี SBS (Styrene Butadiene Styrene) 40% ผสมอยู่กับเรซิ่น (resin) มาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวทางระบายน้ำ

<u>ส่วนผสม และขนาดคละของมวลรวม</u>

ส่วนผสมของมวลรวมแสดงดังตารางที่ 2.2 และ ขนาดคละของมวลรวมแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำ

ชนิดของมวลรวม	มวลรวมหยาบ (ไม่เกิน 13 มิลลิเมตร)	ทรายหยาบ	ทรายละเอียด	Mineral Filler
ปริมาณ (%)	84	6	6	4

ตารางที่ 2.3 ขนาดคละของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำ

Seive Size (mm.)	19.0	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
% of Combined Grading	100	97.0	21.7	16.0	11.2	9.3	6.8	4.1
Rang of Grading	100	92-100	9-31	9-21	4-17	4-12	3-8	2-7

<u>คุณสมบัติที่ตรวจสอบ</u>

- Cantabro Scattering Loss (วิธีการนี้คิดโดย Cantabria University ในประเทศสเปน) เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าของความสามารถในการรับการขัดสีของมวลรวม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เพื่ออัตราส่วนของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่น้อยที่สุด จากผลการทดสอบพบว่า ถ้าอัตราส่วนแอสฟัลต์ซีเมนต์มากขึ้นแล้ว อัตราส่วนของค่า Cantabro Scattering Loss มีแนวโน้มที่จะลดลง

- Running off Test เป็นการทดสอบเพื่อประเมินว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์จะหยุดลอกตามการจราจรมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เพื่ออัตราส่วนของ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่มากที่สุด จากผลการทดสอบพบว่า ถ้าอัตราส่วนของแอสฟัลต์ซีเมนต์มากขึ้นแล้ว อัตราส่วนของค่า Running off มีแนวโน้มที่จะมาก

- Marshall Test ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เพื่ออัตราส่วนของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่ทำให้มีสภาพการไหลที่ดีที่สุด

- Wheel Tracking Test เพื่อหาค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อ จากผลการทดสอบพบว่า ถ้าอัตราส่วนของแอสฟัลต์ซีเมนต์มากขึ้นแล้ว ความต้านทานการเกิดร่องล้อจะลดลง

- Stripping Resistance Test (by Splitting Test)เพื่อตรวจสอบความต้านทานการแตกร้าวว่าผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่

คุณสมบัติเบื้องต้นของโพลิเมอร์ที่ใช้ในการศึกษา

โพลิเมอร์ที่ใช้ในการศึกษา มีโพลิเมอร์ (Polymer) ที่มี Styrene Butadiene Styrene (SBS) ซึ่งเป็นสาร thermoplastic elastomer ผสมอยู่กับเรซิ่น (resin) อยู่ 40% เป็นส่วนประกอบหลัก โดยทั่วไป thermoplastic elastomer จะละลายเข้ากับแอสฟัลต์ได้ยาก อย่างไรก็ตาม การเติมสารจำพวกเรซิ่น และพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เข้าไปในองค์ประกอบ ช่วยทำให้ thermoplastic elastomer สามารถละลายเข้ากับแอสฟัลต์ได้ ช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของ asphalt ให้มีค่า viscosity ที่สูงขึ้น ซึ่งช่วยให้ asphalt มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของโพลิเมอร์ที่ใช้ในการศึกษา

Shape	Pellet (2-3 mm.)
Color	Light yellow
Specific gravity	0.98
Unit weight	0.6 MT/ m^3

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงโดยการเติมโพลิเมอร์

Test Item		Test Value	Reference
Penetration	1/10m m	43	JIS K 2207
Softening Point	°C	92.5	JIS K 2207
Ductility (15°C)	cm	95	JIS K 2207
Flash Point	°C	310	JIS K 2207
Fraass Braking Point	°C	-23	JIS K 2207
Loss on Heating Asphalt	%	-0.07	JIS K 2207
Penetration Ratio of Asphalt After Loss on Heating	%	84.5	JIS K 2207
Toughness	kg-cm	313	JEAAS
Tenacity	kg-cm	241	JEAAS
Density (15°C)	g/cm^3	1.025	JIS K 2207
Resistance of Coarse Aggregate to Stripping of Asphalt Film	%	0	JPI K 2207
Viscosity at 60°C	poise	2,530,000	JAA-001

นอกจาก โพลิเมอร์สามารถช่วยให้มีความหนืดสูงขึ้นแล้ว ยังช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติอื่น ๆ ด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติที่ได้รับการปรับปรุงจากการใช้โพลิเมอร์

คุณสมบัติ	ข้อดี
- จุดอ่อนตัว (Softening point) สูง - Viscosity ที่ 60°C มีค่าที่สูง	- ความต้านทานต่อ rutting สูง และ plastic flow ที่อุณหภูมิสูง - เกิด Clogging น้อยลง
- ความสามารถในการยืดได้สูง	- ความต้านทานต่อ cracking
- แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง aggregate สูง - ความต้านทานต่อการหลุดลอก (stripping resistance) สูง	- ความต้านทานต่อการหลุดลอกของ aggregate สูง
- ความสามารถในการทำงาน (Workability) ดี	- ไม่มีการหลุดลอกของแอสฟัลต์ซีเมนต์ - ไม่มีการแยกส่วนของส่วนผสม - ง่ายต่อการดำเนินการ

Dunn Hicks และ Gower (1990) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบผิวทางระบายน้ำ และจากผลการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

<u>ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการใช้ ผิวทางระบายน้ำ</u> (จากผลการศึกษาของ The Oregon Department of Transportation ; ODOT) ได้ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผิวทางระบายน้ำ เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้

1. ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ Asphalt Content
2. ขนาดคละ (Gradation)
3. การบดอัด (Compaction)
4. ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดี ได้แก่

- แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวทางกับล้อของยานพาหนะ (Skidding Resistance)
- แรงยึดเหนี่ยวของผิวทาง (Surface Texture)
- การระบายน้ำ (Hydraulic Conductivity)
- การยุบตัวของผิวทาง (Deformation)
- ลักษณะที่มองเห็น (Visual Condition)

การผสมและการปูผิวทาง ผิวทางระบายน้ำ

ในการทำผิวทางระบายน้ำ มีวิธีการตามแบบการผสมแบบผิวทางที่มีขนาดคละแบบเปิด (open grade) เริ่มต้นจากผสมทราย หินย่อย(crushed stone) และ วัสดุเติม(filler) เข้าด้วยกัน จากนั้นผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ลงไปผสมกันให้ทั่ว อุณหภูมิขณะผสมไม่ควรเกิน 170°C เพราะจะทำให้ยางไม่เกาะกับวัสดุมวลรวมมวลรวมซึ่งทำให้เกิดการแยกตัว จากนั้นผสมทราย วัสดุเติม และแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มอีก จากนั้นจึงผสมมวลรวมหยาบลงไปและผสมซ้ำอีก

ในการปูผิวทางระบายน้ำ ใช้เครื่องมือธรรมดาเหมือนกับการปูผิวทางที่มีความหนาแน่นสูง คือ ใช้ Static smooth-wheeled ในการบดอัดผิวทาง แต่จะไม่ใช้ vibrating roller เพราะผิวทางจะหลุดติดไปกับล้อ

ประเภทของความเสียหายของการใช้ผิวทางระบายน้ำ

- การแตกของผิวทางเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Reveling by freezing) ในเขตที่มีอากาศหนาวจัดในช่วงฤดูหนาวน้ำที่ซึมอยู่ในช่องว่างของผิวทางกลายเป็นน้ำแข็ง และขยายตัวดันผิวทางเสียหาย

- การหลุดร่อนของวัสดุมวลรวม (Reveling) โดยส่วนมากความเสียหายของผิวทางระบายน้ำจะเป็นในลักษณะนี้ ซึ่งอาจเกิดได้หากผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยเกินไป หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติการยึดเกาะไม่ดี

- การสูญเสียคุณสมบัติการระบายน้ำ (Draindown) เกิดจากการเยิ้ม (Bleeding) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งมีผลมาจากการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มากเกินไป หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติการยึดเกาะไม่ดี

- การยุบตัวเป็นร่องล้อ (Rutting) เกิดจากการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มากเกินไป หรือขนาดคละไม่ดี

Colwill และคณะ (1993) ได้ทำการศึกษาถึงผลการนำผิวทางระบายน้ำมาประยุกต์ใช้ในประเทศสหราชอาณาจักร และจากการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้

ผิวทางระบายน้ำ เป็นการนำแอสฟัลต์ซีเมนต์มาผสมกับมวลรวมที่มีช่องว่างค่อนข้างมากประมาณ 20 % หลังจากการบดอัด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในเรื่องของทัศนวิสัย ซึ่งส่งผลในการเพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่

ข้อดีของการประยุกต์ใช้ ผิวทางระบายน้ำ

- ลดมลพิษทางเสียงทั้งในสภาพผิวทางแห้งและสภาพผิวทางเปียก
- ลดการฟุ้งกระจายของน้ำที่กระเด็นจากยานพาหนะในสภาพที่ผิวทางเปียก
- ลดแสงสะท้อนในสภาพอากาศมืดในผิวทางเปียก

เนื่องจาก ผิวทางระบายน้ำ มีช่องว่างมากทำให้ออกซิเจน และรังสีอุลตราไวโอเลต สัมผัสกับวัสดุประสานมากขึ้น ทำให้ผิวทางเกิดการออกซิเดชันเร็วขึ้น ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์แข็งเร็วขึ้น (Aging) ส่งผลให้ช่วงเวลาในการใช้งานผิวทางลดลง ในการที่จะให้มีปริมาณของวัสดุประสานมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาในเรื่อง Aging ลง โดยการใช้โพลิเมอร์ เช่น ยางธรรมชาติ aromatic-oil เป็นต้น มาช่วยในการผสมเป็นวัสดุประสาน เรียกว่า rubber-bitumen หรือ recycled elastomer ทำให่ช่วยยืดอายุการใช้งานของผิวทางได้นาน

ปริมาณของวัสดุประสานต้องเพียงพอในการเคลือบมวลรวม แต่อย่าให้มากจนเกินไป เพราะจะทำให้ปริมาณของช่องว่างลดลงต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ และจะทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างปูผิวทางและใช้งานนอกจากนี้อาจทำให้เกิดการยุบตัวของ ผิวทางระบายน้ำ หลังจากเปิดให้ใช้งาน (postcompacted)

บริเวณที่ต้องรับ tangential load เช่น ทางโค้ง และบริเวณทางแยก จะทำให้ผิวทางหลุดง่าย ในการป้องกันไม่ให้ผิวทางหลุดออกอาจจะใช้ filler โรยผิวหน้าของผิวทางประมาณ 50 กรัม/ตารางเมตร ก่อนที่จะเปิดใช้งาน

Bowskill และคณะ (1993) ได้ร่วมกันศึกษาผลของการนำแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำมาใช้ในแถบประเทศทางยุโรป ซึ่งจากการศึกษา สามารถที่จะสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

- จากการเลือกขนาดคละของมวลรวม และชนิดของวัสดุเชื่อมประสาน พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำที่มีขนาดของมวลรวมใหญ่ที่สุด 20 มิลลิเมตร จะมีอายุการใช้งานของผิวทางยาวนานกว่า 10 ปี เมื่อต้องรับปริมาณการจราจรที่สูง แม้ว่าคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการลดการกระเด็นของละอองน้ำ และความสามารถในการดูดซับเสียง จะลดลงกว่าช่วงที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ บ้างก็ตาม

- ในการศึกษาพบว่าเมื่อพิจารณาระหว่าง ความทนทาน (durability) และความสามารถในการระบายน้ำ พบว่า ปริมาณของวัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม มีค่าประมาณ 4.5 % สำหรับมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ที่สุด 20 มิลลิเมตร โดยไม่จำเป็นที่จะต้องมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของวัสดุเชื่อมประสาน

- แอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำ ที่มีขนาดของมวลรวมใหญ่สุด 20 มิลลิเมตร จะมีความสามารถในการระบายน้ำ และ ความสามารถในการลดการกระเด็นของน้ำ ที่ดีกว่าส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำที่มวลรวมมีขนาดเล็กกว่า

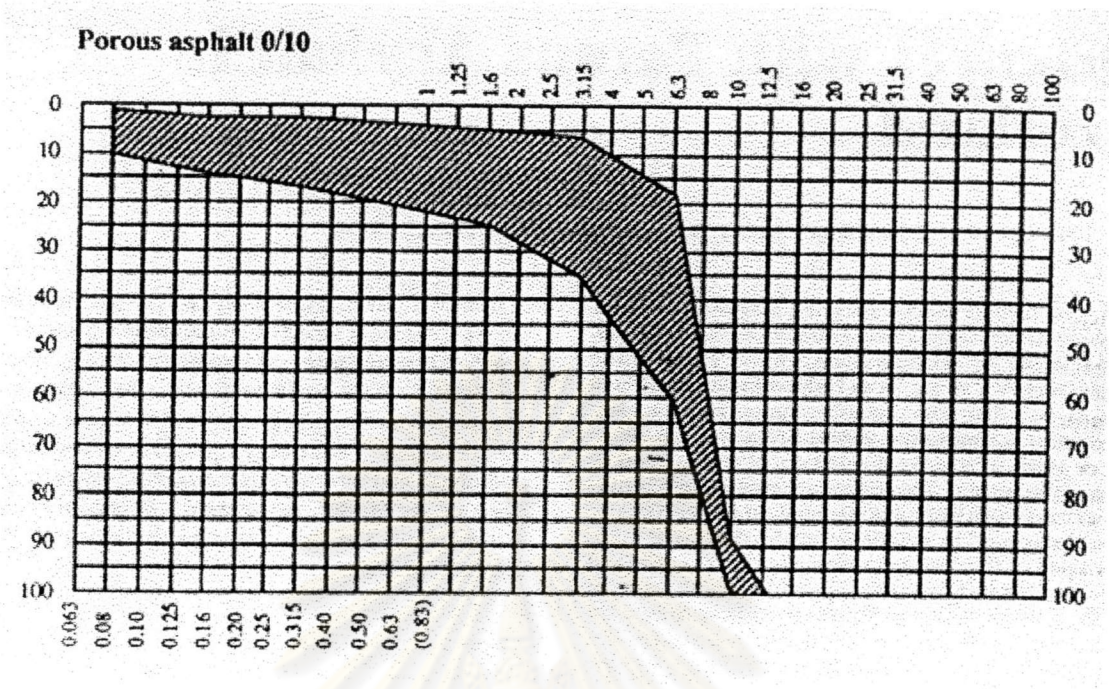
- ผิวทางระบายน้ำที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร จะสามารถที่จะลดการกระเด็นของน้ำได้ 95 % เมื่อเทียบกับผิวทางทั่วไป เมื่อก่อสร้างเสร็จในระยะแรก และจะลดลงประมาณ 50 % เมื่อผิวทางเปิดใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากช่องว่างของผิวทางถูกฝุ่นเข้าไปอุดตัน

- เมื่อปูผิวทางระบายน้ำที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร สามารถที่จะดูดซับเสียงได้ประมาณ 4 – 5 dB(A) เมื่อผิวทางอยู่ในสภาพที่แห้ง โดยผิวทางที่ขนาดคละมีสัดส่วนของมวลรวมละเอียดที่มากกว่า จะมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้น้อยกว่า เมื่อเทียบกับการใช้ขนาดคละที่มีปริมาณของมวลรวมละเอียดอยู่น้อยกว่า

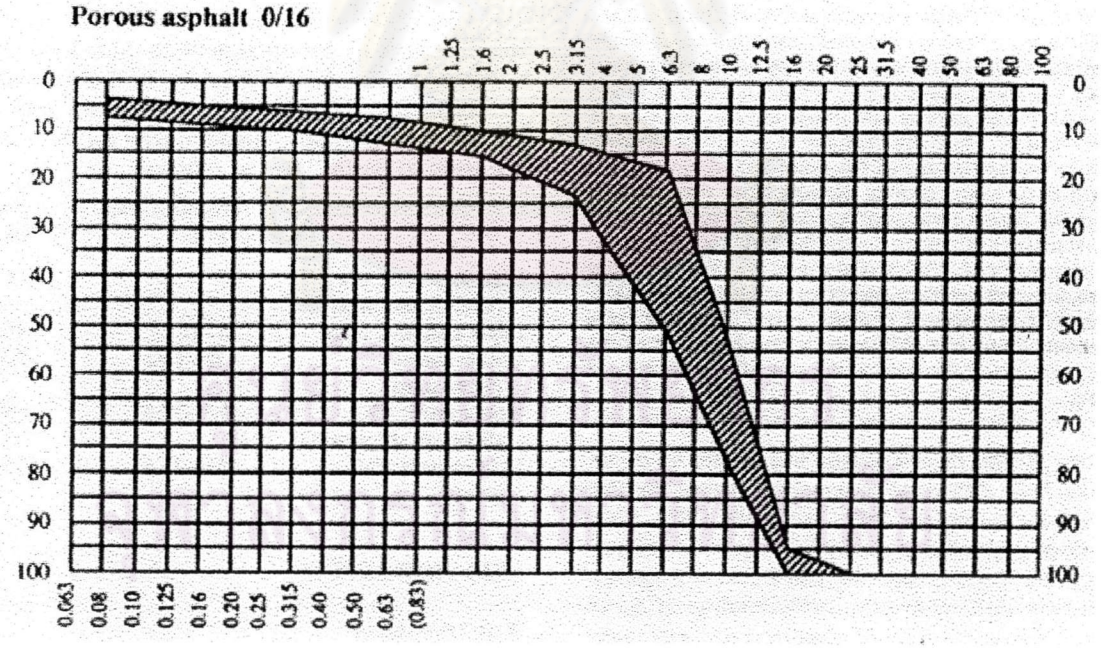
Isenring และคณะ (1990) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ซึ่งมีข้อกำหนดของวัสดุที่ใช้โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.7 ข้อกำหนดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

	Porous Asphalt (0/10)	Porous Asphalt (0/16)
Max. Aggregate size (mm.) (round sieve)	10	16
Layer Thickness (mm.)	28 - 42	43 - 50
Binder content (% by mass)	4.65 - 5.82	4.23 - 4.99
Void content (%) (marshall specimen)	10.9 - 22.5	14.9 - 17.0
Void content (%) (cores)	14.6 - 21.1	14.6 - 19.6



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงขนาดคละมวลรวมที่มีขนาดมวลรวมใหญ่สุด 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงขนาดคละมวลรวมที่มีขนาดมวลรวมใหญ่สุด 16 มิลลิเมตร

จากการศึกษาพบว่าชั้นของ แอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำนั้นมีข้อดีหลายประการ คือ ประสิทธิภาพในการระบายน้ำที่ดีซึ่งจะช่วยลดอันตรายอันเกิดจากน้ำที่ท่วมขังอยู่บนผิวทาง และการ

กระเด็นของละอองน้ำ ซึ่งเป็นการบดบังทัศนวิสัยในการขับขี่ และนอกจากนี้ความสามารถในการรับแรงเสียดทานของแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำยังมีค่าที่สูงอีกด้วย

แต่ผลการทดสอบในบริเวณตัวเมือง จะพบว่า ความสามารถในการระบายน้ำของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก ในบริเวณตัวเมือง ยานพาหนะจะสามารถใช้ความเร็วได้ต่ำ ทำให้ผิวทางระบายน้ำเกิดการอุดตันของฝุ่นได้อย่างรวดเร็ว

ข้อดีของการใช้ผิวทางระบายน้ำ

- เป็นการลดการท่วมขังของน้ำบนถนน
- ช่วยลดการกระเด็นของละอองน้ำ
- มีความต้านทานแรงเสียดทานที่ดี
- ช่วยในการดูดซับเสียงที่เกิดจากยวดยานพาหนะ
- มีความต้านทานการยุบตัวถาวรที่ดี

ข้อเสียของการใช้ผิวทางระบายน้ำ

- มีความทนทานน้อยเนื่องมาจากการสูญเสียคุณสมบัติการระบายน้ำ โดยเฉพาะในบริเวณตัวเมือง
- ในบริเวณตัวเมืองจะต้องมีข้อกำหนดในการออกแบบผิวทางระบายน้ำที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับเรื่องของการระบายน้ำ
- ราคาที่จะต้องสูงขึ้นเนื่องจากต้องมีการออกแบบด้วยข้อกำหนดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมักจะพบบ่อยในบริเวณตัวเมือง

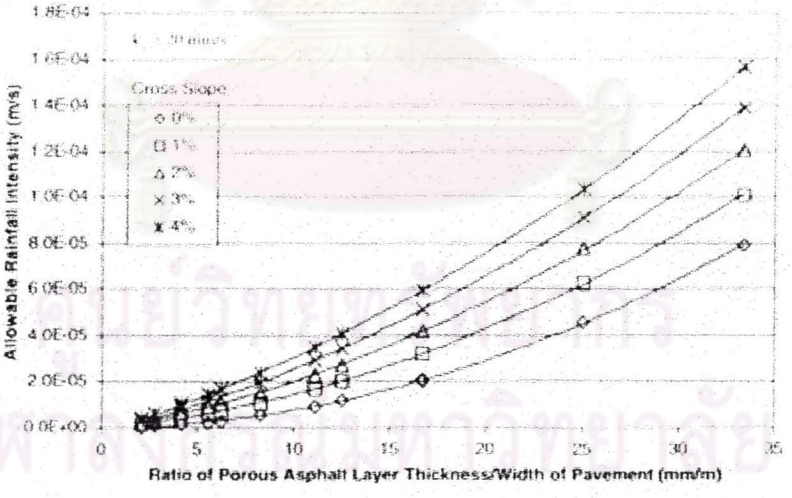
Camomilla และคณะ (1990) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับเสียง และการใช้งานในช่วงฤดูหนาวของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำ และได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้คือ

- ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำ สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ภายใต้สภาวะแวดล้อมของบริเวณตัวเมืองได้ เนื่องจากผลของการดูดซับเสียงของผิวทางระบายน้ำ จะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะ
- เมื่อมีการนำแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำมาใช้ร่วมกับผนังกั้นเสียง จะต้องมีรูปแบบของการคำนวณโดยเฉพาะ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของผนังกั้นเสียงที่ใช้ ซึ่งในปัจจุบันจะใช้ความสูงของผนังกั้นเสียงอยู่ที่ประมาณ 0.8 เมตร เหนือระดับพื้นทาง
- ในสภาวะที่มีอากาศเย็นจัดรวมถึงมีการเกิดน้ำแข็งขึ้นในผิวทาง พบว่าผิวทางระบายน้ำจะมีความเสียหายที่น้อยกว่าผิวทางโดยทั่วไป

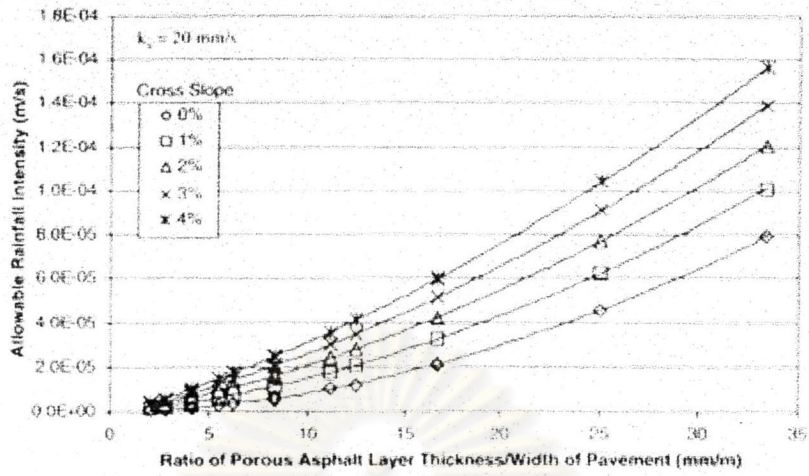
- การกำจัดน้ำแข็งที่เกิดขึ้นกับผิวทางระบายน้ำ เมื่อใช้สารละลายคลอไรด์ จะมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

- ในช่วงรอยต่อระหว่างผิวทางระบายน้ำ กับผิวทางแบบทั่วไป จะต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษในการออกแบบ เนื่องมาจากผิวทางทั้งสองแบบจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน

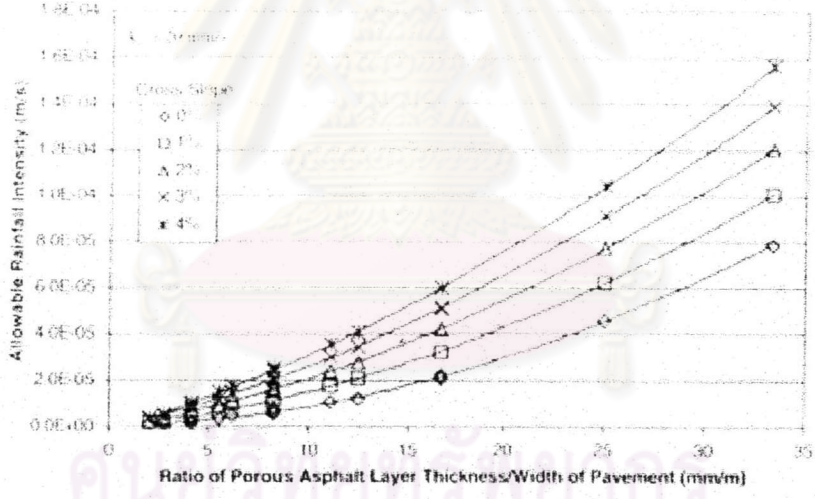
Tan Fwa และ Chai (2004) ได้ศึกษาถึงผลของ ความลาดเอียงตามยาว(longitudinal slope) และ ความลาดเอียงตามขวาง (Cross slope) กับคุณสมบัติในการระบายน้ำของชั้นผิวทางระบายน้ำ พบว่า ยิ่งความลาดเอียงตามขวางของชั้นผิวทางสูงขึ้น ความสามารถในการระบายน้ำของผิวทางระบายน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดย ความสามารถในการระบายน้ำที่เพิ่มขึ้นของแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำเนื่องจากความลาดชันตามขวาง จะมีผลที่เกี่ยวเนื่องจากขนาดของความลาดชันตามยาว และ อัตราส่วนระหว่างความหนากับความกว้างของชั้นผิวทางด้วย โดยผลของการเปลี่ยนแปลงความลาดชันตามยาวนั้นจะลดลง เมื่อ % ของความลาดชันตามขวาง และอัตราส่วนของความหนาต่อความกว้างของชั้นผิวทางระบายน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยความสัมพันธ์สามารถแสดงได้ดังนี้



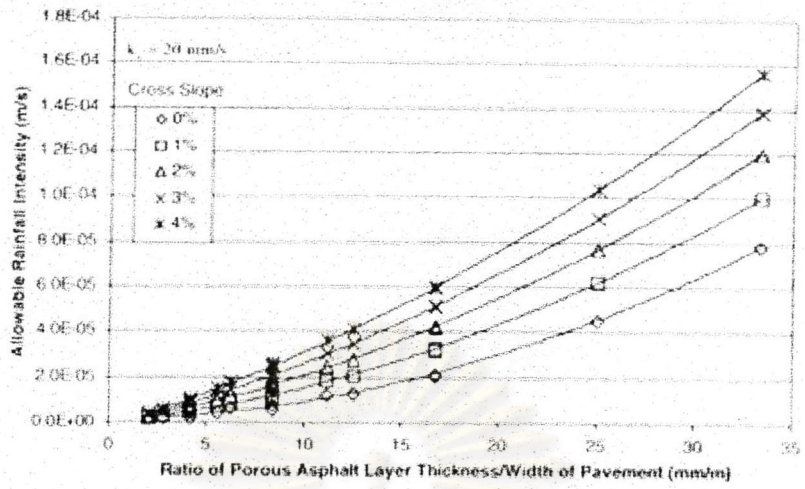
รูปที่ 2.3 ความสามารถในการระบายน้ำ สำหรับผิวทางระบายน้ำ ที่ 0% ของความลาดชันตามยาว โดยมีความลาดชันตามขวางที่ต่างกัน และ จำกัดให้มีขอบการระบายน้ำด้านเดียว



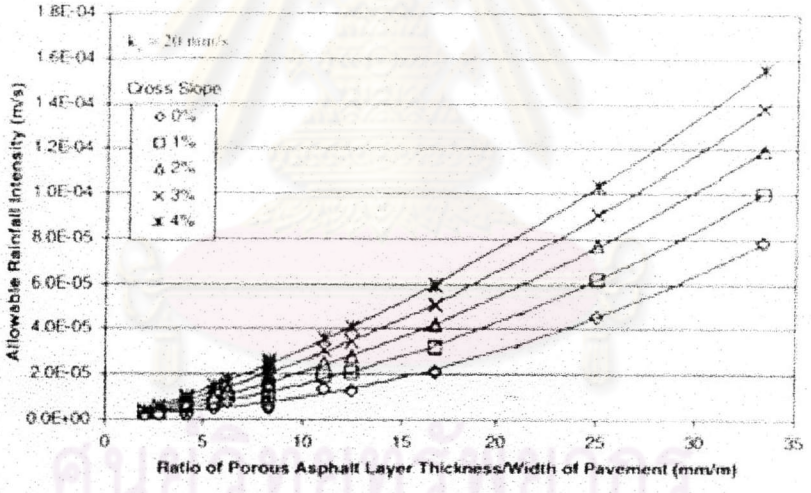
รูปที่ 2.4 ความสามารถในการระบายน้ำ สำหรับผิวทางระบายน้ำ ที่ 2% ของความลาดชันตามยาว โดยมีความลาดชันตามขวางที่ต่างกัน และ จำกัดให้มีขอบการระบายน้ำด้านเดียว



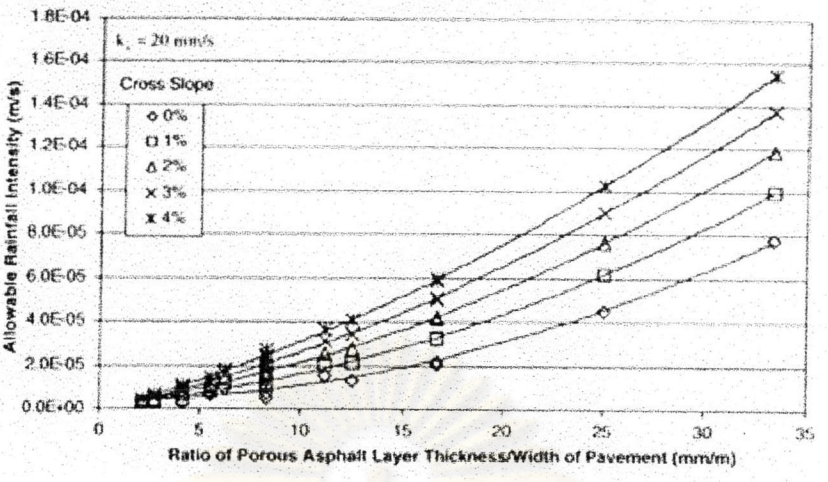
รูปที่ 2.5 ความสามารถในการระบายน้ำ สำหรับผิวทางระบายน้ำ ที่ 4% ของความลาดชันตามยาว โดยมีความลาดชันตามขวางที่ต่างกัน และ จำกัดให้มีขอบการระบายน้ำด้านเดียว



รูปที่ 2.6 ความสามารถในการระบายน้ำ สำหรับผิวทางระบายน้ำ ที่ 6% ของความลาดชันตามยาว โดยมีความลาดชันตามขวางที่ต่างกัน และ จำกัดให้มีขอบการระบายน้ำด้านเดียว



รูปที่ 2.7 ความสามารถในการระบายน้ำ สำหรับผิวทางระบายน้ำ ที่ 8% ของความลาดชันตามยาว โดยมีความลาดชันตามขวางที่ต่างกัน และ จำกัดให้มีขอบการระบายน้ำด้านเดียว



รูปที่ 2.8 ความสามารถในการระบายน้ำ สำหรับผิวทางระบายน้ำ ที่ 10% ของความลาดชันตามยาว โดยมีความลาดชันตามขวางที่ต่างกัน และ จำกัดให้มีขอบการระบายน้ำด้านเดียว

Huet และคณะ (1990) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความล้าของผิวทางระบายน้ำที่ใช้วัสดุเชื่อมประสานที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ คือ ผิวทางระบายน้ำที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานเพียงอย่างเดียว แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีการใช้สารปรับปรุง (modifier) เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน 2 ลักษณะที่แตกต่างกัน และ สุดท้ายคือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใย (fiber) โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

- ภายใต้เงื่อนไขของการรองรับปริมาณการจราจรตามที่กำหนดพบว่า ช่องว่างของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำจะมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งจะทำให้ความหนาแน่นของผิวทางสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเกิดร่องล้อที่มากขึ้น และการระบายน้ำที่ลดลง

- จากการทดสอบพบว่า ช่องว่างในส่วนผสม เมื่อใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีเส้นใยผสมอยู่ จะมีค่าเท่าเดิม ซึ่งจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำ สามารถรักษาความสามารถในการระบายน้ำไว้ได้ และพบว่าการเกิดร่องล้อก็จะน้อยด้วย

- ในส่วนของวัสดุเชื่อมประสานอีก 3 ชนิดที่เหลือ ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณช่องว่างในส่วนผสมจะมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการระบายน้ำลดลง โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของช่องว่างภายในส่วนผสมที่มีอยู่เดิม กล่าวคือ ปริมาณของช่องว่างในส่วนผสมก่อนทำการทดสอบยิ่งสูง การลดลงของปริมาณช่องว่างในส่วนผสมก็จะสูงตามไปด้วย

Zwan และคณะ (1990) ได้มีการเปรียบเทียบข้อดีของ ผิวทางระบายน้ำ กับผิวทางแบบทั่วไป โดยมีการศึกษาถึงราคาที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้วัสดุผิวทางระบายน้ำ โดยข้อดีของแอสฟัลต์

คอนกรีตระบายน้ำ คือ ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ถนน ช่วยลดการติดขัดของการจราจร เนื่องมาจากน้ำท่วมขัง นอกจากนั้นผิวทางระบายน้ำยังช่วยในการดูดซับเสียงของการจราจรอีกด้วย แต่ในทางตรงกันข้าม การใช้ผิวทางระบายน้ำนั้นจะทำให้ราคาสูงขึ้น เนื่องจาก ระยะเวลาในการใช้งานของถนนที่ก่อสร้างด้วยผิวทางระบายน้ำจะมีอายุการใช้งานที่น้อยกว่า และ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวทางที่แพงกว่า ในขณะเดียวกัน ความหนาของผิวทางระบายน้ำที่ต้องการเพื่อที่จะสามารถรับแรงได้เท่ากับผิวทางโดยทั่วไป มีค่ามากกว่า ซึ่งจากการศึกษาในเรื่องราคาที่เพิ่มขึ้น กับคุณสมบัติของผิวทางระบายน้ำ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ผลสรุปการประมาณราคาที่เพิ่มขึ้น และ ความประหยัด จากการใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตระบายน้ำแทนผิวทางที่มีความหนาแน่นสูง

	annual costs	annual savings	
	increased costs of porous asphalt (guilders)	traffic safety (guilders)	traffic capacity (guilders)
national road network (ca. 90 km^2)	110 x 10^6	50 x 10^6	25 x 10^6
motorways (ca. 60 km^2)	72 x 10^6	24 x 10^6	15 - 20 x 10^6
other roads (ca. 30 km^2)	36 x 10^6	26 x 10^6	5 - 10 x 10^6
motorways with more than 35,000 vehicles/day (ca. 18 km^2)	22 x 10^6	9 x 10^6	5 -10 x 10^6
* saving due to noise reduction not included ** saving due to winter maintenance not included			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับผิวทางระบายน้ำ

ผิวทางระบายน้ำเป็นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ภายหลังการบดอัดแล้วมีช่องว่างอากาศค่อนข้างมาก (โดยทั่วไปประมาณ 18 - 25 %) ใช้ในการปูทับบนผิวทางที่มีความหนาแน่นสูง เพื่อให้สามารถระบายน้ำออกจากผิวทางให้ได้เร็ว

ปริมาณของวัสดุเชื่อมประสาน (binder) ต้องเพียงพอในการเคลือบมวลรวม แต่ต้องไม่มากเกินไป เพราะจะทำให้ปริมาณช่องว่างอากาศลดต่ำลงกว่าที่ออกแบบไว้ หรือทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างปูผิวทางและใช้งานได้ นอกจากนี้เนื่องจากผิวทางระบายน้ำจะต้องรักษาให้มีช่องว่างอากาศที่สูง ดังนั้นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานนี้อาจเยิ้มไหลออกมาได้ง่าย ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการใช้วัสดุผสมเพิ่ม เช่น โพลิเมอร์มาผสมเพิ่มความสามารถในการเกาะยึดต่อไปด้วย

ในการออกแบบผิวทางระบายน้ำนั้น คำนึงถึงการระบายน้ำบนผิวทางลงสู่ใต้ผิวทางให้ได้เร็วเป็นสำคัญ เพื่อช่วยเพิ่มการสัมผัสของล้อของยานพาหนะกับผิวทางให้ดีขึ้นในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยเฉพาะในสภาพที่ผิวถนนเปียก ผิวทางระบายน้ำยังช่วยลดการกระเด็นของละอองน้ำด้านหลังยานพาหนะ เมื่อยานพาหนะแล่นผ่าน และแสงสะท้อนจากผิวทางทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งทำให้ทัศนวิสัยในการขับขี่ดีขึ้น นอกจากนี้ผิวทางระบายน้ำยังช่วยในการลดมลพิษทางเสียงทั้งภายในและภายนอกตัวรถ เนื่องจากช่องว่างภายในผิวทางที่มีช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมช่วยในการดูดซับเสียง อีกทั้งผิวทางระบายน้ำเป็นผิวทางที่เรียบจึงช่วยลดแรงกระแทกระหว่างผิวสัมผัสของล้อและผิวทาง

เนื่องจากผิวทางระบายน้ำ มีช่องว่างมากทำให้ออกซิเจน และรังสีอุลตราไวโอเลต สัมผัสกับวัสดุประสานมากขึ้น ทำให้ผิวทางเกิดการออกซิเดชันเร็วขึ้น ทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์แข็งตัวเร็วขึ้น (Aging) ส่งผลให้ช่วงเวลาในการใช้งานผิวทางลดลง ในการที่จะให้มีปริมาณของวัสดุเชื่อมประสานมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาในเรื่องยางแข็งเร็วลง โดยการใช้โพลิเมอร์ เช่น ยางธรรมชาติ aromatic-oil เป็นต้น มาช่วยในการผสมเป็นวัสดุประสาน เรียกว่า rubber-bitumen หรือ recycled elastomer ทำให้ช่วยยืดอายุการใช้งานของผิวทางได้นานขึ้น

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการใช้ผิวทางระบายน้ำ ดังนี้

1. ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Content) คุณสมบัติการยึดเกาะที่อุณหภูมิสูงของวัสดุเชื่อมประสานจะต้องมีความเหมาะสม เพื่อไม่ให้วัสดุเชื่อมประสานไหลเยิ้มไปเติมเต็มช่องว่างอากาศในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของผิวทางระบายน้ำ

2. ขนาดคละ (Gradation) ของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้จะต้องเป็นแบบเปิด (open grade) เพื่อให้มีช่องว่างอากาศในส่วนผสมแอสฟัลต์ที่เหมาะสมในการระบายน้ำได้ดี

3. การบดอัด (Compaction) จะต้องเหมาะสม เพื่อให้ผิวทางสามารถระบายน้ำได้ดี และมีความสามารถในการรับปริมาณการจราจรได้ในระดับที่ต้องการ

4. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) มีผลในการยึดเกาะกับวัสดุมวลรวมของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ประเภทของความเสียหายของการใช้ผิวทางระบายน้ำ

- การแตกของผิวทางเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (reveling by freezing) ในเขตที่มีอากาศหนาวจัดในช่วงฤดูหนาวน้ำที่ซึมอยู่ในช่องว่างของผิวทางกลายเป็นน้ำแข็ง และขยายตัวดันผิวทางเสียหาย

- การหลุดร่อนของวัสดุมวลรวม (Reveling) โดยส่วนมากความเสียหายของผิวทางระบายน้ำจะเป็นในลักษณะนี้ ซึ่งอาจเกิดได้หากผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยเกินไป หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติการยึดเกาะไม่ดี

- การสูญเสียคุณสมบัติการระบายน้ำ (Draindown) เกิดจากการเยิ้ม (Bleeding) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งมีผลมาจากการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มากเกินไป หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติการยึดเกาะไม่ดี

- การยุบตัวเป็นร่องล้อ (Rutting) เกิดจากการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์มากเกินไป หรือขนาดคละไม่ดี

2.2.2 แนวคิดและทฤษฎีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้ได้นำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ได้แก่ นิยามและลักษณะสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานทาง ข้อกำหนด เครื่องมือและลักษณะการทดสอบต่าง ๆ เป็นต้น

2.2.2.1 การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

แนวคิดมูลฐานของวิธีมาร์แชลในการออกแบบวัสดุส่วนผสมสำหรับถนนแอสฟัลต์กำหนดขึ้นโดยนาย บรูซ มาร์แชล วิศวกรบิทูเมน กรมทางหลวงรัฐมิสซิสซิปปี้ ต่อมา the U.S.

Corps of Engineers ได้ศึกษาค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมแล้วปรับปรุงวิธีการและพัฒนาหลักเกณฑ์ในการออกแบบส่วนผสมจนกระทั่งวิธีการทดสอบให้ได้มาตรฐาน และได้กำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1559 และ AASHTO T245 ขึ้น

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

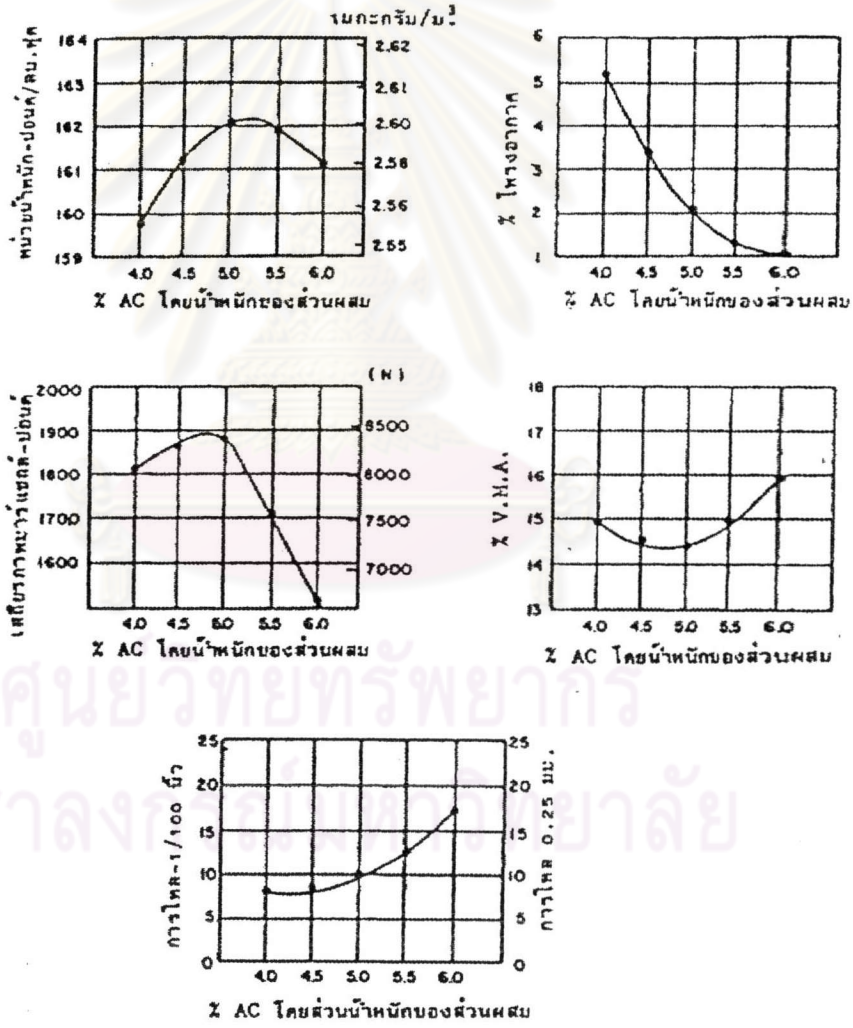
การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล เป็นวิธีการหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ เสถียรภาพ (Stability) การไหล (Flow) ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ (Air void) หน่วยน้ำหนัก (Unit weight) ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) และค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) ในส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมวลรวมชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปหาค่าร้อยละของปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt content) ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าร้อยละของช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 4 โดยเครื่องทดสอบเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล ดังแสดงในรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.9 เครื่องมือทดสอบเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบและทำการคำนวณ ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทดสอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ดังต่อไปนี้

- ค่าเสถียรภาพมาร์แชล กับ ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม

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



รูปที่ 2.10 กราฟตัวอย่างข้อมูลของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชล

เกณฑ์การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลสำหรับผิวทางที่มีความหนาแน่นสูง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์การทดสอบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

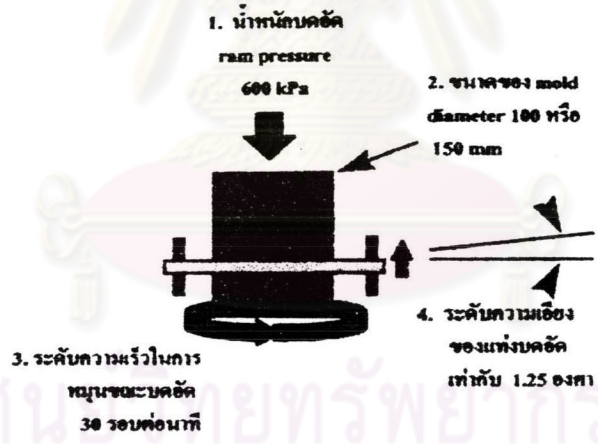
เกณฑ์ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล		ชั้นผิวทางและชั้นพื้นทาง					
		การจราจรเบาบาง		การจราจรปานกลาง		การจราจรหนาแน่น	
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
การบดอัด, จำนวนครั้งของการบดอัดก้อนตัวอย่างแต่ละด้าน (No. of Blows/side)		35		50		75	
เสถียรภาพ , N		3,336	-	5,338	-	8,006	-
(lb)		(750)	-	(1200)	-	(1800)	-
การไหล, 0.25 มิลลิเมตร (0.01 นิ้ว)		8	18	8	16	8	14
ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ (AV)		3	5	3	5	3	5
ค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA)		70	80	65	78	65	75
ค่าร้อยละต่ำสุดของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) ของแต่ละขนาดของอนุภาคโตสุดที่ใช้เรียกขนาดของมวลรวม		ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ (AV) ที่ออกแบบ					
		3		4		5	
มิลลิเมตร	นิ้ว	ค่าร้อยละต่ำสุดของ VMA					
1.18	No. 16	21.5		22.5		23.5	
2.36	No. 8	19.0		20.0		21.0	
4.75	No. 4	16.0		17.0		18.0	
9.5	3/8	14.0		15.0		16.0	
12.5	1/2	13.0		14.0		15.0	
19.0	3/4	12.0		13.0		14.0	
25.0	1.0	11.0		12.0		13.0	
37.5	1.5	10.0		11.0		12.0	
50	2.0	9.5		10.5		11.5	
63	2.5	9.0		10.0		11.0	

หมายเหตุ

- ส่วนผสมที่ใช้ได้ต้องเป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบทุกประการ ไม่ใช่ผ่านเพียงแต่เฉพาะค่าเสถียรภาพเท่านั้น
- การจำแนกปริมาณจราจรแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้ เบาบางเมื่อ EAL < 10^4 ปานกลางเมื่อ EAL ตั้งแต่ 10^4 ถึง 10^6 และหนาแน่นเมื่อ EAL > 10^6
- ขนาดอนุภาคโตสุดที่ใช้เรียกของมวลรวม (Nominal maximum size) คือขนาดที่ใหญ่กว่าตะแกรงอันแรกที่วัสดุมวลรวมค้างมากกว่าร้อยละ 10

2.2.2.2 การบดอัดก้อนวัสดุตัวอย่างโดย Superpave Gyratory Compactor

เครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC) เป็นเครื่องมือกลกึ่งอัตโนมัติที่สามารถควบคุมการให้น้ำหนักกดที่คงที่ โดยกระบวนการบดอัดจะเริ่มขึ้นเมื่อนำส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะทำการบดอัดบรรจุลงในแบบ (Mold) ซึ่งมีทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 และ 150 มิลลิเมตร จากนั้นนำ Mold ดังกล่าวเข้าติดตั้งกับส่วนฐานรับก้อนตัวอย่าง (Rotation base) ซึ่งส่วนฐานนี้จะหมุนในอัตราเร็ว 30 รอบต่อนาที และจะรองรับ Mold ไว้ขณะทำการบดอัด นอกจากนี้ ที่ฐานจะมีขอบเพื่อล็อคเข้ากับ Bearing ที่ทำหน้าที่บังคับวัสดุผสมใน Mold ให้ทำมุมเอียง 1.25 องศากับหัวของ Loading ram ที่ควบคุมความดันกดลงบนวัสดุใน Mold ด้วยความดันคงที่ 0.6 MPa เพื่อทำการบดอัดวัสดุในการหมุนแต่ละรอบ และมีระบบการวัดความสูงก้อนตัวอย่างขณะทำการบดอัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 การบดอัดดังกล่าวเป็นการลอกเลียนพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากสภาพจริงในสนามที่ล้อเหล็กของรถบดอัดทำกับผิวถนนขณะทำการบดอัด

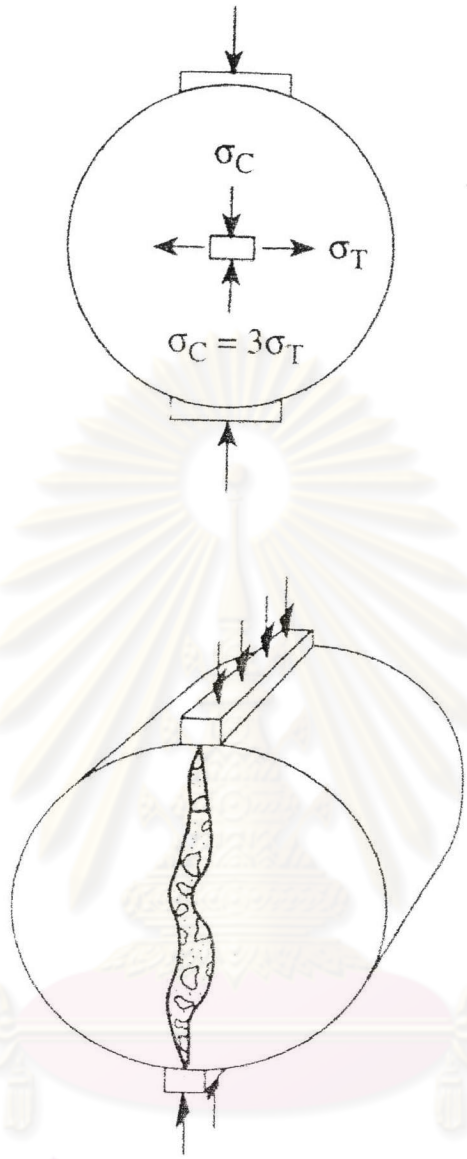


รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานในการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC)

2.2.2.3 การทดสอบโดย Indirect Tensile Test

ทฤษฎี

การทดสอบแบบ Indirect Tensile Test เป็นการทดสอบโดยการป้อนน้ำหนักที่เป็น Compression load ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งแบบ Static หรือแบบ Repeated / Dynamic load ก็ได้ แล้วแต่กรณี โดยให้ Load กระทำในแนวขนานตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวดิ่งของก้อนวัสดุทดสอบ แต่จากทฤษฎีที่ Stresses พัฒนาขึ้นเนื่องจากการกระทำของ Line load ที่กระทำต่อก้อนวัสดุทดสอบทรงกระบอก ในทางปฏิบัติหากยึดการ Load ของก้อนวัสดุทดสอบตามลักษณะ Line load แล้วจะทำให้จุดแตกหักของวัสดุเกิดที่ตำแหน่งขอบผิวของก้อนวัสดุทดสอบที่ทำการ Load ผลที่ได้จะไม่ถูกต้องตามคุณสมบัติจริงของวัสดุที่ควรจะเป็น ดังนั้น Load ต้องกระทำผ่านแท่งกดน้ำหนักที่เป็นเหล็กสแตนเลสที่มีขนาดแนะนำให้ใช้ดังนี้ สำหรับกรณีก้อนวัสดุทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 มิลลิเมตร ควรใช้แท่งที่มีความกว้างประมาณ 13 มิลลิเมตร หรือใช้แท่งที่มีความกว้างประมาณ 19 มิลลิเมตร สำหรับกรณีที่ก้อนวัสดุทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 150 มิลลิเมตร โดยที่แท่งกดน้ำหนักดังกล่าวต้องมีด้านสัมผัสกับผิวของก้อนวัสดุทดสอบซึ่งเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเท่ากับรัศมีของก้อนวัสดุทดสอบ ทำให้สามารถแนบกันได้สนิทพอดี เพื่อประโยชน์ในการกระจายน้ำหนักและในการรักษาพื้นที่ที่น้ำหนักกระทำคงที่ การ Load ในลักษณะนี้จะทำให้เกิด Tensile stress ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกระทำตั้งฉากกับแนวของการ Load หรือแนวเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวดิ่ง ทำให้ก้อนวัสดุทดสอบเกิดการแตกแยกขึ้นตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางเนื่องจากการป้อน Single load หรือ Repeated load ก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยลักษณะการกระจายของ Stresses ที่เกิดขึ้นภายในก้อนวัสดุทดสอบขณะทำการทดสอบทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง จะสังเกตเห็นว่าที่บริเวณกึ่งกลางของก้อนวัสดุทดสอบ Compressive stress ที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งจะมีขนาดประมาณ 3 เท่าของ Tensile stress ที่เกิดขึ้นในแนวราบ ผลจากทฤษฎีพอจะสรุปสมการที่สามารถใช้ในการคำนวณหาค่า Tensile strength ค่า Tensile strain ค่า Modulus of Elasticity และค่า Poisson's Ratio ได้ โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ



รูปที่ 2.12 การป้อนน้ำหนักและลักษณะการแตกร้าวของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบด้วย Indirect Tensile Test

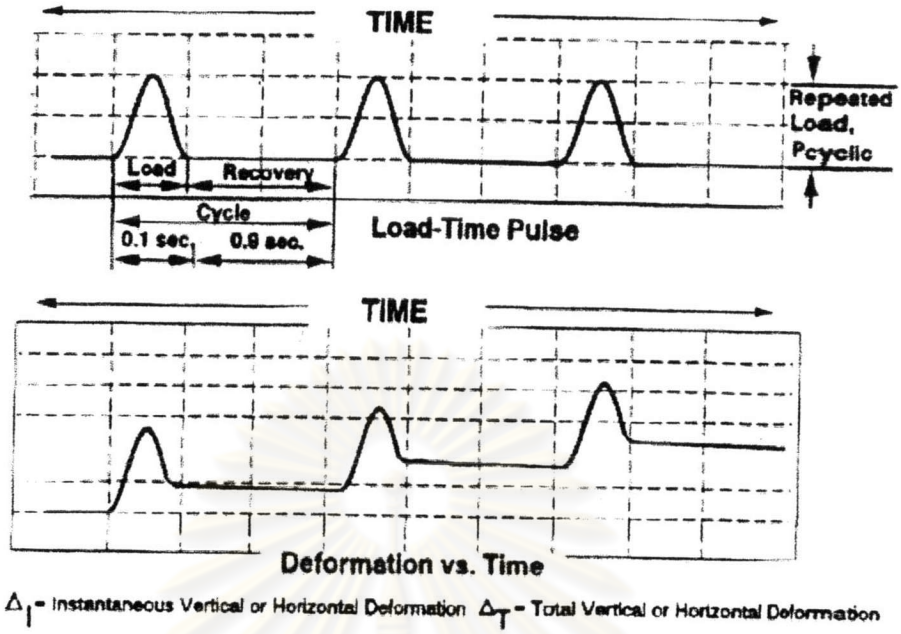
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบโดยทั่วไป

การทดสอบ Indirect Tensile แบ่งออกเป็น2 ลักษณะ คือ

1) การทดสอบแบบ Static หรือการใช้แรงกดในอัตราคงที่นั้น จะเหมาะกับการทดสอบ หาความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากผลของอุณหภูมิ (Thermal cracking) โดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature)

2) การทดสอบแบบ Repeated หรือ Dynamic load ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์หาความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากความล้าได้ และสามารถใช้กับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ โดยจะให้น้ำหนักทดสอบที่คงที่ค่าหนึ่งที่ไม่ถึงกับทำลายก้อนวัสดุทดสอบ จากนั้นกระทำการ Load และ Unload ซ้ำไปมา โดยตรวจสอบและบันทึกค่า Deformation ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง แต่จะให้ความสนใจเฉพาะในส่วนของค่า Recoverable deformation ซึ่งพิจารณาได้จากสมมติฐานที่ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load และ Deformation มีลักษณะเป็นเส้นตรง เพื่อใช้ค่าเหล่านี้ในการคำนวณหาค่า Resilient Modulus อีกทั้งการทดสอบนี้ยังสามารถใช้ประมาณค่า Permanent deformation ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก Repeated load ได้อีกด้วย โดยปกติ Repeated stress ที่กระทำกับก้อนวัสดุทดสอบจะป้อนในรูปลักษณะ Haversine wave โดยที่มีการรักษาค่า Preload ไว้ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อรักษาสภาพการสัมผัสที่สม่ำเสมอระหว่างแท่งกดน้ำหนักกับผิวของก้อนวัสดุทดสอบ สำหรับลักษณะของความสัมพันธ์ของการ Loading เทียบกับเวลาและความสัมพันธ์ของค่า Deformation ที่เกิดขึ้นกับก้อนวัสดุทดสอบเทียบกับเวลานั้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 แต่ทั้งนี้จะแนะนำให้เลือกช่วงระยะเวลาการ Loading ที่สั้น ๆ มาใช้ในการทดสอบถ้าเครื่องมือทดสอบสามารถทำได้ เนื่องจากว่าการทดสอบด้วยระยะเวลาการ Loading ที่สั้นจะให้ค่า Fatigue life ที่สูงขึ้นใกล้เคียงกับค่า Fatigue life ที่เกิดขึ้นจริงในสนาม เพราะโดยปกติค่า Fatigue life ที่วิเคราะห์ได้จากการประมาณผลการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการ มีแนวโน้มที่จะต่ำกว่าค่าที่เกิดจากสภาพการใช้งานจริงในสนาม สำหรับระยะเวลาการ Loading ที่มักใช้ในการทดสอบจะอยู่ระหว่าง 0.1 – 0.4 วินาที และใช้อัตราเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยปกติอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 24 – 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของจังหวะการให้ Load และ Deformation ที่เกิดขึ้นในการทดสอบ Indirect Tensile Test แบบ Repeated

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย