

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์

2.1.1 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม (Aggregate Properties)

การเลือกใช้วัสดุมวลรวมเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต ต้องศึกษารายละเอียดของแบบก่อสร้างและข้อกำหนดอย่างละเอียด รวมทั้งปริมาณการจราจร ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฯลฯ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาว่า ควรใช้วัสดุชนิดใด จากแหล่งใด โดยคำนึงถึงความสะดวก ประหยัด กำลังการผลิต ตลอดจนผลการใช้งานในอดีตของวัสดุแหล่งนั้นด้วย วัสดุมวลรวมที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตพิจารณาจากองค์ประกอบต่อไปนี้ [4]

1) ขนาดและการกระจายของเม็ด (Size and Gradation) ขนาดโตสุด (Maximum Size) คือ ขนาดเล็กที่สุดของตะแกรงที่วัสดุจะผ่านหมดเท่ากับร้อยละ 100 ขนาดระบุโตสุด (Nominal Maximum Size) คือ ขนาดของตะแกรงที่วัสดุจะผ่านได้เท่ากับร้อยละ 90 ค่าขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวมจะควบคุมโดยข้อกำหนดในการใช้งานแต่ละอย่าง (Specifications) วัสดุมวลรวมบางครั้งจะบอกในเทอมของการกระจายของเม็ด เช่น เรียงขนาดแน่น (Dense-Graded) เรียงขนาดโปร่ง (Open-Graded) เรียงขนาดเดียว (One-Sized) เรียงขนาดหยาบ (Coarse Graded) เรียงขนาดละเอียด (Fined-Graded) และเรียงข้ามขนาด (Gap-Graded)

2) ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุมวลรวมที่ใช้ทำผิวจราจรจะต้องสะอาดปราศจากฝุ่นหรือวัสดุแปลกปลอมเจือปน (หรืออาจมีได้ในจำนวนที่จำกัด) วัสดุที่ไม่พึงประสงค์มีจำพวกวัชพืช หินขุ่น เม็ดวัสดุอ่อนร่วน เศษดิน ดินที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวม เป็นต้น การดูความสะอาดหรือความสกปรกของวัสดุมวลรวมอาจพิจารณาได้ด้วยตาเปล่าหรือโดยปกติใช้การวิเคราะห์ด้วยตะแกรงแบบล้าง (Washed-Sieve) การหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่นหรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวกับวัสดุมวลรวมหยาบพวกกรวดหรือทราย ทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบหาค่ามวลผสมเทียบเป็นทราย (Sand Equivalent Test) มาตรฐานอ้างอิง ASTM D 2419-74 (Reapproved 1979) และ AASHTO T 176-86

3) ความแข็งแรง (Toughness) วัสดุมวลรวมที่ใช้ทำผิวจราจรจะถูกบดอัดหรือขัดสีจากขบวนการผลิต ขณะที่ยังสถานที่ก่อสร้างและขณะบดอัด เมื่อถนนได้เปิดใช้งานแล้วได้รับการขัดสีจากล้อรถ ดังนั้นวัสดุมวลรวมจะต้องมีความทนทานต่อการขัดสีได้และวัสดุมวลรวมที่สัมผัสกับล้อรถโดยตรงจะต้องมีความทนทานสูงกว่าส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับล้อรถโดยตรง ทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบหาการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion มาตรฐานอ้างอิง ASTM C 131 และ C 535

4) ความคงทนต่อสภาพอากาศ (Soundness) วัสดุมวลรวมสำหรับทำผิวจราจรจะต้องมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศหรือสารเคมี ไม่แตกตัวออกจากกัน วัสดุมวลรวมที่ไม่ทนทานต่อสภาพอากาศ เช่น หินดินดาน (Shale) เป็นต้น ทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบความคงทนของวัสดุมวลรวมโดยใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต มาตรฐานอ้างอิง ASTM C 88-83 และ AASHTO T 104-86

5) รูปร่างของวัสดุมวลรวม (Particle Shape) รูปร่างของวัสดุมวลรวมมีส่วนที่ทำให้วัสดุผสมใช้งานได้ง่ายหรือยากและมีผลต่อการบดอัดที่จะให้ถึงความแน่นที่ต้องการ นอกจากนั้นยังมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจร ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ ความสามารถในการแอ่นตัวและความต้านทานต่อการลื่น เป็นต้น

โดยปกติแล้ววัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยมเป็นมุม เช่น หินย่อยหรือกรวดย่อย ขณะบดอัดจะเกาะยึดตัวกันได้ดี ส่วนวัสดุมวลรวมที่มีลักษณะกลม เช่น ทรายธรรมชาติ จะใช้เป็นวัสดุประสานเข้ากันแน่นยิ่งขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยมเป็นมุม เช่น งานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นต้น จากวัสดุผสมทั้งสองชนิดนี้ วัสดุมวลรวมหยาบจะมีหน้าที่รับน้ำหนักการจราจร ส่วนวัสดุมวลรวมละเอียดจะทำให้การบดอัดได้แน่น และมีความสามารถในการทำงานได้ง่ายขึ้น

6) เนื้อผิว (Surface Texture) ผิวหน้าของวัสดุมวลรวมมีอิทธิพลต่อกำลังและความสามารถในการเทได้ โดยทั่วไปมักพิจารณาว่า เนื้อผิวมีความสำคัญกว่ารูปร่างของวัสดุมวลรวม ผิวหน้าที่ขรุขระคล้ายกระดาษทรายมีผลต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสม แต่ต้องใช้แอสฟัลต์ปริมาณมากขึ้นเพื่อจะทำงานได้ง่ายขึ้น ในขณะเดียวกันจะมีช่องว่าง (Voids) ในส่วนผสมมากขึ้นจึงต้องใช้แอสฟัลต์มากขึ้นในการผสม แอสฟัลต์จะเกาะยึดแน่นกับวัสดุมวลรวมชนิดผิวหน้าขรุขระมากกว่าวัสดุมวลรวมชนิดผิวหน้าเรียบ เช่น กรวด การทดสอบลักษณะรูปร่างและลักษณะผิวหน้า ยังไม่มีวิธีการทดสอบที่ยอมรับ อย่างไรก็ตามวัสดุมวลรวมทั้งสองชนิดนี้มีผลต่อการทดสอบกำลังของแอสฟัลต์คอนกรีต

7) การดูดซึม (Absorption) การดูดซึมของวัสดุมวลรวมโดยปกติถูกแสดงโดยจำนวนการดูดซึมน้ำเมื่อแช่วัสดุไว้ในน้ำ วัสดุที่มีรูพรุนโดยปกติจะดูดซึมแอสฟัลต์ด้วยซึ่งมีแนวโน้มที่ทำให้ส่วนผสมแห้งหรือมีแรงยึดเกาะน้อย แอสฟัลต์จำนวนมากจะถูกใช้ในส่วนผสมเพื่อชดเชยแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในวัสดุมวลรวม โดยปกติวัสดุที่มีรูพรุนสูงจะไม่ได้ได้รับความนิยมในการใช้งานเว้นแต่ต้องการคุณภาพอื่น ๆ อเนก เปียลัดดา [5] ได้สรุปจากการศึกษาไว้ว่า วัสดุมวลรวมที่มีการดูดซึมที่เหมาะสม ได้แก่ วัสดุมวลรวมที่มีค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ประมาณร้อยละ 0.5 การดูดซึมดังกล่าวจะช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุกับแอสฟัลต์ดีขึ้น ถ้าการดูดซึมสูงเกินไปจะไม่ช่วยเพิ่มคุณภาพของส่วนผสมแต่จะดูดซึมแอสฟัลต์มากเกินไป วัสดุมวลรวมที่มี

ความพรุนต่ำเกินไปจะดูดซึมได้เฉพาะน้ำมันที่ผสมอยู่ในแอสฟัลต์ ทำให้เหลือเฉพาะเนื้อแอสฟัลต์เคลือบอยู่บนผิวของวัสดุมวลรวม อาจทำให้การยึดเกาะไม่ดีพอการยึดเกาะกับแอสฟัลต์

8) การเข้ากันได้กับแอสฟัลต์ของวัสดุมวลรวม (Affinity for Asphalt) วัสดุมวลรวมบางชนิดไม่ค่อยยึดเกาะกับแอสฟัลต์โดยแอสฟัลต์จะหลุดล่อนออกได้เมื่อถูกน้ำ วัสดุมวลรวมชนิดนี้จึงไม่เหมาะในการทำผิวจราจร วัสดุมวลรวมดังกล่าวเรียกว่า Hydrophilic หรือชอบน้ำ (Water Loving) เช่น ควอตไซต์ หรือแกรนิตบางชนิด ส่วนวัสดุมวลรวมที่เรียกว่า Hydrophobic หรือไม่ชอบน้ำ (Water Hating) เช่น หินปูน ไดโอไรท์ และ Traprock (มวลรวมชนิดรูพรุนต่ำและเนื้อแน่น) เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของหินปูน (Limestone)

เป็นหินชั้นหรือหินตะกอนแบบตกผลึกจากสารที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล มีเนื้อแน่นละเอียดที่บดสีต่าง ๆ กัน เช่น ขาว เทา แดง ดำ อาจมีซากดึกดำบรรพ์ในหินได้ เช่น ซากหอย ซากปะการัง เป็นต้น ภูเขาหินปูนมักจะมียอดหยักแหลมหรือเป็นหน้าผา ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ ซึ่งมีปฏิกิริยากับกรดเกลือ แหล่งที่พบมีทั่วไป เช่น ที่จังหวัดสระบุรี ราชบุรี เพชรบุรี เป็นต้น ส่วนใหญ่ใช้ในงานวัสดุก่อสร้างทั่วไป นอกจากนั้นยังใช้เผาทำปูนขาวหรือปูนกินกับหมาก ทำแคลเซียมคาร์ไบด์ ทำวัสดุทนไฟ ทำปุ๋ยและทำสี [4]

2.1.3 คุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์

คุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของแอสฟัลต์มีอยู่ 3 ประการ คือ ความข้นเหลว ความบริสุทธิ์ และความปลอดภัย [4]

1) ความชื้นเหลว (Consistency) แอสฟัลต์เป็นวัสดุเทอร์โมพลาสติกเมื่อได้รับความร้อนจะเหลวและแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความชื้นเหลวใช้บ่งบอกลำดับความเหลวที่อุณหภูมิใด ๆ ความชื้นเหลวของแอสฟัลต์ซีเมนต์เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานในการเปรียบเทียบความชื้นเหลวของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดหนึ่งกับอีกชนิดหนึ่ง การแบ่งเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์แบ่งตามช่วงของความชื้นเหลวที่อุณหภูมิมาตรฐาน

2) ความบริสุทธิ์ (Purity) ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นบิทูเมน ซึ่งละลายได้ในคาร์บอนไดซัลไฟด์ แอสฟัลต์ที่บริสุทธิ์จะประกอบด้วยบิทูเมน (Bitumen) เกือบทั้งหมดและมากกว่าร้อยละ 99.5 ละลายได้ในคาร์บอนไดซัลไฟด์สิ่งเจือปนอื่น ๆ อาจจะมีพวกแก๊สเฉื่อย โดยปกติแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้จากการกลั่นจะไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ อย่างไรก็ตาม ในการบรรทุกขนส่งอาจมีความชื้นปนได้จากภาชนะที่ใช้บรรจุ ถ้าน้ำปนอยู่จะทำให้แอสฟัลต์เดือดเป็นฟอง เมื่อได้รับความร้อนมากกว่า 100°C . (212°F .)

3) ความปลอดภัย (Safety) การเดือดเป็นฟองของแอสฟัลต์จะเป็นอันตรายมากตามข้อกำหนดมาตรฐานแอสฟัลต์ จะต้องไม่เป็นฟองเมื่อให้ความร้อนถึง 175°C . (347°F .) แอสฟัลต์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงพอจนมีไอและติดไฟได้เมื่อสัมผัสกับประกายไฟหรือเปลวไฟ แต่อุณหภูมิที่จะทำให้เกิดจุดวาบไฟนี้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ทั่ว ๆ ไปในการปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยก่อนการใช้แอสฟัลต์ จึงจำเป็นต้องทราบจุดวาบไฟและจุดติดไฟของแอสฟัลต์

ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ ทล.-ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement” ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต [6]

Item No.	Properties	Unit	Min.	Max.	Test Method
1	Penetration at 25°C 100 gm 5 sec	0.1 mm	60	70	DH-T 403
2	Ductility at 25°C 5 cm/min	cm	100	-	DH-T 405
3	Flash Point (Cleveland Open Cup)	$^{\circ}\text{C}$	232	-	ASTM D 92

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (ต่อ)
[6]

Item No.	Properties	Unit	Min.	Max.	Test Method
----------	------------	------	------	------	-------------

4	Solubility in Trichloroethylene Test on Residue from Thin Film Oven Test	% wt.	99	-	DH-T 409
5	Weight Loss	% wt.	0.8	-	ASTM D 1754
6	Retained Penetration at 25°C	%	54	-	
7	Ductility at 25°C 5 cm/min	cm	50	-	DH-T 405

2.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีต คือ วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างวัสดุมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม โดยการควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะและงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับวัสดุผสมที่ยังร้อนอยู่บนชั้นทางใด ๆ ที่ได้เตรียมไว้แล้ว และผ่านการตรวจสอบแล้วให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่ได้ไว้ในแบบ ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะทั่วไปของแอสฟัลต์คอนกรีต วัสดุที่ใช้ทำแอสฟัลต์คอนกรีตและการออกแบบส่วนผสมตามวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Method) ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบที่กรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน [4]

2.2.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

1) ความแน่น (Density) หมายถึง ปริมาณมวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความแน่นมากพอ จะทำให้มีอายุการใช้งานยืนยาวและมีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามการบดทับโดยรถบดในสนาม จะได้ความแน่นน้อยกว่าความแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งบดทับด้วยเครื่องมือในห้องทดสอบ ดังนั้น การกำหนดความแน่นต่ำสุดที่บดทับให้ได้ในสนามจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ สำหรับกรมทางหลวงกำหนดไว้ว่า ต้องบดทับให้ได้ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของความแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ

2) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย เม็ดวัสดุรวมรวมซึ่งถูกเคลือบด้วยฟิล์มของแอสฟัลต์ ระหว่างเม็ดวัสดุรวมรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์เหล่านี้ จะมีช่องว่างเล็ก ๆ เรียกว่า ช่องว่างอากาศ ผิวทางแอสฟัลต์ที่บดทับแล้วจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความหนาแน่นของช่องว่างอากาศที่เพียงพอ แต่ไม่มากเกินไปจำนวนหนึ่งทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเปิดการจราจรแล้ว รถที่แล่นบนผิวทางจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นจากเดิมทำให้ปริมาณช่องว่างลดลง ถ้าปริมาณช่องว่างอากาศขณะก่อสร้างเสร็จใหม่มีไม่เพียงพอจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิว เกิดการเยิ้ม (Bleeding) นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อน ด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างอากาศร้อยละ 3 ถึง 5 ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและน้ำหนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่าง ๆ อาจออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างได้มากกว่านี้ เช่น ร้อยละ 4 ถึง 7 เป็นต้น

ปริมาณช่องว่างอากาศมีผลต่อความคงทน (Durability) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กล่าวคือ ปริมาณช่องว่างอากาศยิ่งน้อยเท่าใด น้ำและอากาศจะซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลต์และการยึดเกาะระหว่างวัสดุรวมรวมกับแอสฟัลต์ได้ยากเท่านั้น ทำให้ผิวทางมีอายุยืนยาว แต่อย่างไรก็ตามหากปริมาณช่องว่างอากาศมีน้อยเกินไปแล้วจะทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ด้วย เหตุผลดังกล่าวมาแล้ว ความแน่นและปริมาณช่องว่างอากาศมีความสัมพันธ์กันโดยตรง กล่าวคือ ความแน่นยิ่งมากปริมาณช่องว่างอากาศจะยิ่งน้อยและเป็นจริงในทางกลับกัน การกำหนดค่าความแน่นต่ำสุดของผิวทางจะต้องคำนึงถึงปริมาณช่องว่างอากาศด้วย

3) ช่องว่างระหว่างวัสดุรวมรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA) คือ ปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุรวมรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดทับแล้ว ซึ่งรวมช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bitumen, VFB) ด้วย

โดยที่ VMA คือ ปริมาณช่องว่างสำหรับปริมาณของแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ ซึ่งหมายถึง ปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปผสมหักด้วยปริมาณแอสฟัลต์ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเม็ดวัสดุรวมรวม ปริมาณช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ คือ ปริมาณช่องว่างอากาศดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้น หากออกแบบส่วนผสมให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากันแล้ว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความคงทนต่อการใช้งานนานกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า อธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงว่า การที่วัสดุรวมรวมมีค่า VMA สูง ย่อมหมายถึง มีปริมาณช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์มากทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิววัสดุรวมรวมหนาซึ่งทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนต่ออายุการใช้งานยืนยาว การออกแบบส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลต์ผสมน้อยซึ่งประหยัดแต่ไม่ควรกระทำ เพราะจะทำให้ได้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทนลดลง

4) ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content) ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใส่ลงไปผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องทดสอบหรือที่โรงผสม (Mixing Plant) ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ (Design Criteria) ซึ่งได้แก่ข้อกำหนดต่าง ๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการ จะเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ผสม

ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละและคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลต์ วัสดุมวลรวมซึ่งมีขนาดคละประกอบด้วย เม็ดขนาดเล็กต้องการแอสฟัลต์สำหรับผสมมากกว่าวัสดุมวลรวมที่ประกอบด้วยเม็ดขนาดใหญ่กว่า เหตุผลก็คือ วัสดุมวลรวมเม็ดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุมวลรวมเม็ดใหญ่ (ถ้าปริมาตรเท่ากัน) จึงต้องใช้แอสฟัลต์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวมและวัสดุมวลรวมที่ดูดซึมแอสฟัลต์มาก ทำให้ต้องใช้แอสฟัลต์ผสมมากเพื่อชดเชยส่วนที่ถูกดูดซึมเช่นกัน

2.2.2 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

1) เสถียรภาพ (Stability) คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อเป็นคลื่น หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ในลักษณะอื่น ๆ และแรงยึดเกาะ (Cohesion) ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ได้แก่ รูปร่างของเม็ดวัสดุ ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือขรุขระของผิว ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ว่า สามารถยึดเม็ดวัสดุมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อน้ำหนักรถมากระทำ โดยปกติแล้ววัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง ส่วนแรงยึดเกาะจะมีมากถ้าแอสฟัลต์ที่ใช้มีความหนืดสูงหรือขณะที่แอสฟัลต์มีอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงจุดหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวมหนาเกินไปเป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมลดลง ทำให้ค่าเสถียรภาพลดลงด้วย

ในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบให้ค่าเสถียรภาพสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ แต่มีข้อควรคำนึงถึงคือ ค่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่นซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ โดยเฉพาะแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูลงพื้นทางหรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัว (Deflection) สูง

2) ความคงทน (Durability) หมายถึง ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอาจเป็นผลมาจากภูมิอากาศ สภาพการจราจรหรือทั้งสองอย่าง ปัจจัยเหล่านี้ทำให้แอสฟัลต์ที่ใช้เสื่อมสภาพเนื่องจากขบวนการ Polymerization และ Oxidation วัสดุมวลรวมเสื่อมสภาพจนเกิดการแตกตัว (Disintegration) และฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมหลุดออก (Stripping)

การออกแบบส่วนผสมเพื่อให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทน อาจทำได้ 3 วิธี คือ

- ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ การใช้ปริมาณแอสฟัลต์มาก ทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบผิววัสดุมวลรวมหนา ฟิล์มแอสฟัลต์ที่หนามากจะเสื่อมสภาพช้ากว่าฟิล์มที่บาง นอกจากนั้นการใช้แอสฟัลต์มากจะช่วยอุดช่องว่างอากาศที่อาจต่อเนื่องกัน (Interconnected Air Voids) ทำให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปทำลายเนื้อแอสฟัลต์คอนกรีตได้ยาก

- เลือกขนาดคละที่ทำให้ส่วนผสมมีลักษณะแน่น (Dense Gradation) รวมทั้งใช้วัสดุมวลรวมที่มีความแข็ง แกร่งและมีคุณสมบัติในการยึดเกาะแอสฟัลต์ได้ดี ขนาดคละที่มีลักษณะแน่นทำให้น้ำและอากาศผ่านได้ยาก ความแข็งแรงแรงของวัสดุมวลรวมป้องกันการแตกเนื่องจากน้ำหนักจราจร คุณสมบัติการเกาะยึดระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์จะช่วยไม่ให้หินหลุด (Raveling) ในสภาวะการใช้งานขณะที่ผิวทางเปียกน้ำ

- ออกแบบส่วนผสมรวมทั้งการบดทับในสนามในลักษณะที่ทำให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่กันน้ำและอากาศผ่านได้มากที่สุด (Maximum Impermeability)

3) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability) ปริมาตรช่องว่างอากาศเป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ แต่ที่สำคัญยิ่งกว่าปริมาตรช่องว่างก็คือ ลักษณะของช่องว่าง ได้แก่ ขนาดของช่องว่าง (แต่ละช่อง) ช่องว่างทะลุติดต่อกันหรือไม่ และช่องว่างทะลุถึงผิวนอกของแอสฟัลต์คอนกรีตหรือไม่

ถึงแม้ว่าความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศจะเป็นสิ่งสำคัญ ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทน แต่ในความเป็นจริงแล้วแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมดน้ำและอากาศจะสามารถซึมผ่านได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งหากมีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนดแล้วก็ถือว่าใช้ได้

4) ความง่ายในการปูและการบดทับ (Workability) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูและบดทับยากอาจแก้ไขได้โดยการออกแบบใหม่หรือเปลี่ยนวัสดุมวลรวมใหม่ และ/หรือเปลี่ยนขนาดคละของวัสดุมวลรวมใหม่

5) ความสามารถในการแอ่นตัว (Flexibility) โดยที่ผิวจราจรไม่แตกเป็นสิ่งที่ต้องการในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัวโดยการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกดหรือโดยการโป่งขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของดินชั้นทางข้างล่างตลอดเวลา

6) ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance) คือ ความสามารถในการต้านทานการดัดโค้งแบบซ้ำซาก (Repeated Bending) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดจากน้ำหนักล้อกระทำ ปริมาตรช่องว่างอากาศจะเกี่ยวข้องกับปริมาณแอสฟัลต์และความหนืดของแอสฟัลต์มีผลต่อความต้านทานต่อการล้า กล่าวคือ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างอากาศมาก ไม่ว่าจะเป็นผลจากการออกแบบหรือจากการบดทับไม่เพียงพอจะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลง ในทำนองเดียวกันการใช้แอสฟัลต์ที่เสื่อมสภาพและแข็งตัวได้ง่ายจะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลงเช่นกัน นอกจากนั้นความหนาและความแข็งแรงของชั้นผิวทาง ตลอดจนความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางก็มีผลต่ออายุ และความสามารถรับน้ำหนักของผิวทาง โดยไม่เกิดรอยแตก กล่าวคือ ผิวทางที่หนารวมทั้งชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางแข็งแรงจะทำให้ไม่เกิดการแอ่นตัวมาก จึงมีอายุรับน้ำหนักล้อซึ่งกระทำซ้ำได้นานกว่า

7) ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance)

สาเหตุที่ทำให้ผิวทางลื่น ได้แก่

- ปริมาณแอสฟัลต์มากเกินไป ทำให้เกิดการเยิ้มทำให้ผิวทางลื่น
- ขนาดคละและลักษณะผิวของวัสดุมวลรวมไม่เหมาะสม ทำให้ผิวทางมีลักษณะเรียบเกินไป น้ำมีโอกาสท่วมเม็ดวัสดุมวลรวมทำให้ลื่น
- เม็ดวัสดุมวลรวมถูกขัดสีให้ลื่นได้ง่าย

2.3 วัสดุมวลรวมสำหรับใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

วัสดุมวลรวม ประกอบด้วย วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) และวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) [1]

1) วัสดุมวลรวมหยาบ หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีค่าบนตะแกรงร่อนเบอร์ 4 (ขนาดช่องเปิด 4.75 มิลลิเมตร) ซึ่งมีวัสดุมวลรวมละเอียดปนอยู่บ้าง ปกติมวลรวมหยาบจะใช้หินโมตั้งแต่ 2 ขนาดขึ้นไปผสมกัน เช่น ใช้หินขนาดโตสุด 19.0 มิลลิเมตร ผสมกับหินขนาดโตสุด 9.5 มิลลิเมตร เป็นต้น หินแต่ละขนาดที่ใช้จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นขนาดเดียว (Single Size) ทั้งนี้เพื่อลดการแยกตัว (Segregation) ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงวัสดุมวลรวมหยาบจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว ตะกอนหรืออินทรีย์วัตถุ ผสมหรือปนและจะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลต์ซึ่งทำให้คุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ
- เมื่อทดสอบความต้านทานการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสมองเจลลีส (Resistance to Abrasion of Small Size Coarse Aggregate by Use of the Los Angeles Machine) เมื่อทดสอบตามวิธี ASTM C 131 และ C 535 ความต้านทานการสึกหรอต้องไม่เกินร้อยละ 40
- เมื่อทดสอบความคงทนของวัสดุมวลรวมโดยใช้โซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต (Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate) เมื่อทดสอบตามวิธี ASTM C 88 ส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ต้องไม่เกินร้อยละ 9
- เมื่อทดสอบการเคลือบและการหลุดออกของวัสดุผสมแอสฟัลต์ (Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures ตามวิธี AASHTO T 182-84 ผิวของวัสดุมวลรวมหยาบต้องมีแอสฟัลต์เคลือบไม่น้อยกว่าร้อยละ 95
- เมื่อทดสอบดัชนีความแบน (Flakiness Index) และดัชนีความยาว (Elongation Index) เมื่อทดสอบตามวิธี BS 812 ไม่เกินร้อยละ 30
- ผิวต้องถูกไม่แตกอย่างน้อยหนึ่งหน้า ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

2) วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ขนาดช่องเปิด 4.75 มิลลิเมตร) และต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- ต้องเป็นหินฝุ่นหรือทราย

- สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว ตะกอนหรืออินทรีย์วัตถุผสมหรือปะปนอยู่ และจะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลต์ ซึ่งทำให้คุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ
- เมื่อทดสอบค่ามวลผสมคิดเทียบเป็นทราย (Sand Equivalent) เมื่อทดสอบตามวิธี ASTM D 2419-74 มากกว่าร้อยละ 50 โดยปกติถ้าไม่จำเป็นไม่ควรใช้ทรายจะใช้เมื่อจำเป็น เช่น ต้องการปรับปรุงขนาดผลของมวลรวมหรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่างของแอสฟัลต์คอนกรีต

3) วัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีความละเอียดสำหรับใช้ผสมกับวัสดุมวลรวมผลเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะ ในกรณีเมื่อผสมวัสดุมวลรวมหยาบและวัสดุ มวลรวมละเอียดเป็นวัสดุมวลรวมผลแล้วส่วนละเอียดมีไม่เพียงพอ วัสดุผสมแทรกที่ใช้ ได้แก่

ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงวัสดุผสมแทรก ได้แก่ ฝุ่นหิน (Stone Dust) ปูนซีเมนต์ (Portland Cement) ปูนขาว (Hydrate Lime) ต้านทานการหลุดออก (Anti-Stripping) ของฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบหิน ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) หรือวัสดุพวก Non-Plastic ซึ่งกรมทางหลวงเห็นชอบให้ใช้ได้และจะต้องแห้งไม่จับกันเป็นก้อน เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล่างต้องมีขนาดผลดังต่อไปนี้

ขนาดตะแกรง	ปริมาณผ่านตะแกรง, ร้อยละโดยมวล
เบอร์ 30 (0.600 มิลลิเมตร)	100
เบอร์ 50 (0.300 มิลลิเมตร)	75 - 100
เบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร)	55 - 100

2.4 การเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Permanent Deformation)

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรเป็นลักษณะที่รูปตัดขวางของผิวทางไม่อยู่ในตำแหน่งตามที่ได้ออกแบบไว้ เรียกว่า “Permanent Deformation” เพราะแผนการสะสมของปริมาณการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบไม่กลับคืนเล็ก ๆ ซึ่งเกิดขึ้นในแต่ละครั้งที่น้ำหนักล้อรถกระทำจนเกิดเป็นร่องล้อขึ้น

การเกิดร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมี 2 สาเหตุ ซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุเดียวหรือสองสาเหตุร่วมกันคือ สาเหตุแรกเนื่องมาจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตอ่อนแอทำให้เกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างของส่วนผสม ผิวทางปูดนูนขึ้นข้างแนวร่องล้อ และในแนวร่องล้อผิวทางจะเคลื่อนตัว จนบางลงซึ่งเป็นการยุบตัวถาวรของผิวทาง สาเหตุที่สองเนื่องมาจากชั้นทางข้างใต้อ่อนแอ ได้แก่ ชั้นดินเดิม (Subgrade) หรือรองพื้นทาง (Subbase) หรือพื้นทาง (Base) ทำให้เกิดการทรุดตัวเป็นร่องล้อตามชั้นทางข้างใต้ที่ทรุดตัวลง ในกรณีนี้จะเห็นวาระดับตามแนวร่องล้อทรุดลงไปแต่ละระดับข้างแนวร่องล้อคงเดิม รูปที่ 2.1 เป็นตัวอย่างสภาพผิวทางเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีต ในทางหลวงหมายเลข 32 สายบางปะอิน-นครสวรรค์ กม.178+200 LT. ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อมี

น้ำหนักรถกดทับผิวทางแต่ละครั้งที่มือน้ำหนักรถมากกระทำซ้ำ จึงทำให้มีการสะสมของปริมาณการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบไม่กลับคืนเล็ก ๆ ซึ่งเกิดขึ้นในแต่ละครั้งจนเกิดเป็นร่องล้อขึ้นอย่างถาวร [7]



รูปที่ 2.1 สภาพผิวทางเป็นร่องล้อของหลวงหมายเลข 32 สายบางปะอิน-นครสวรรค์
กม.178+200 LT.

สำหรับแนวทางแก้ไขเพื่อลดการเกิดร่องล้อจะต้องปรับแก้ที่ส่วนผสมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีขนาดละเอียดที่เหมาะสม ซึ่งส่วนผสมที่ดีจะต้องมีความยืดหยุ่นนั่นคือ เมื่อน้ำหนักรถกดทับบนผิวทางจะเกิดการยุบตัวแตเมื่อน้ำหนักล้นนั้นได้วิ่งผ่านไปแล้วผิวทางจะยืดกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อย่างสมบูรณ์และก็จะไม่เกิดการเป็นร่องล้อ แต่การที่ผิวทางเป็นร่องล้อนั้นเกิดจากการยุบตัวแบบถาวรของผิวทาง ซึ่งเกิดการสะสมของปริมาณการยุบตัวแบบไม่กลับคืนด้วยปริมาณเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งที่มือน้ำหนักรถมากกระทำ แนวทางการแก้ไขเพื่อลดการเกิดร่องล้อหรือให้เกิดร่องล้อได้น้อยที่สุด จะใช้วิธีการปรับส่วนผสมโดยการปรับขนาดละเอียดของวัสดุผสมรวมให้เหมาะสม ซึ่งเป็นการปรับโครงสร้างวัสดุผสมรวม (Aggregate Structure) เพื่อให้ได้โครงสร้างที่แข็งแรง โดยให้มีปริมาณหินใหญ่ที่พอเหมาะ ส่วนปริมาณหินฝุ่นและวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ต้องไม่มากเกินไปจนเกิดสภาพที่หินใหญ่ลอยตัวขึ้นอยู่ในฝุ่น ควรให้อยู่ในสภาพที่หินใหญ่วางตัวชิดติดกันและมีฝุ่นแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของหินใหญ่พอควร จากสภาพการจัดเรียงตัวของวัสดุผสมรวมเช่นนี้ จะช่วยลดการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรและต่อต้านการเคลื่อนตัวด้านข้างทำให้ลดการเกิดร่องล้อได้ ซึ่งจากการทดลองปรับส่วนผสมที่หน้างานโดยใช้หินใหญ่ที่พอเหมาะและฝุ่นที่มีเพียงพอต่อการแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของหินใหญ่นั้น จะเห็นว่า การเกิดเป็นร่องล้อของผิวทางลดน้อยลง

2.5 การทดสอบ French Rutting Tester

เครื่องมือทดสอบการเกิดร่องล้อที่เรียกว่า French Rutting Tester (FRT) มีใช้งานในประเทศฝรั่งเศสกว่า 20 ปี เพื่อประเมินลักษณะการเป็นร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีต [7]

เครื่องมือทดสอบนี้ใช้หลักการให้น้ำหนักผ่านล้อไป-มา ลงไปยังตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ดังรูปที่ 2.2 และที่ได้จากการเตรียมด้วยเครื่อง Plate Compactor ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบการเกิดร่องล้อ (French Rutting Tester, FRT)



รูปที่ 2.3 เครื่อง Plate Compactor

การทดสอบการเกิดร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ล้อยาง แผ่นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทดสอบจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้ล้อยางผิวเรียบ ลมยาง $0.60 \pm 0.03 \text{ MPa}$ เครื่องนี้จะตรวจสอบแผ่นที่มีความยาว 500 มิลลิเมตร กว้าง 180 มิลลิเมตร และความหนา 50 มิลลิเมตร หรือ 100 มิลลิเมตร ทำการทดสอบได้สองแผ่นพร้อมกัน โดยใช้ไฮดรอลิกที่อยู่ใต้แผ่นพื้นผลักดันให้ก้อนตัวอย่างปรับตัวสูงขึ้น เพื่อให้ได้โหลดมาตรฐานคือ $5,000 \pm 50 \text{ N}$ โหลดสูงสุดที่ 5500 N ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Close - up ของยางและพื้น

ล้อทดสอบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 415 มิลลิเมตร และความกว้างของ 110 มิลลิเมตร แรงดันลมยางมาตรฐานคือ $0.60 \pm 0.03 \text{ MPa}$ ความดันสูงสุดคือ 0.71 MPa ความเร็วเฉลี่ยของแต่ละล้อจะอยู่ที่ประมาณ 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ล้อจะวิ่งระยะทางประมาณ 380 มิลลิเมตร ก่อนที่จะกลับทิศทาง

การทดสอบจะเริ่มต้น 1,000 รอบ เพื่อปรับผิวให้เรียบเรียกว่า Cool Run แล้ววัดความหนาทั้งหมด 15 ตำแหน่ง มาตรฐานใช้วัดที่มีความถูกต้องอย่างน้อย 0.1 มิลลิเมตร ความหนานี้จะพิจารณาให้ได้ความหนาเริ่มต้นของแผ่นตัวอย่างทดสอบ จากนั้นทำการให้อุณหภูมิการทดสอบเป็น $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12 - 18 ชั่วโมง ทำการทดสอบที่ 1,000, 2,000 และ 7,000 รอบ ทำการวัดความหนาเพื่อหาการเกิดร่องล้อที่จำนวนรอบต่าง ๆ บันทึกค่าแล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Anani, Balghunaim และ Al-Hazzaa (1990) [8] ได้ศึกษาในห้องทดลองและในสนามของถนนที่เกิดร่องล้อในซาอุดีอาระเบีย โดยหา Parameter ที่มีอิทธิพลต่อความไวในการเกิดร่องล้อ

ระหว่างช่วงอายุของถนน โดยเลือกทางหลวง 7 สาย ทั้งที่เกิดร่องล้อและไม่เกิดร่องล้อ โดยใช้ตัวแปรต่าง ๆ และ Laboratory Test Program Floe Chart ผลการศึกษาทั้งหมดของผลงานวิจัยในอดีตได้สมมติการเกิดร่องล้อโดยพื้นฐานเกิดจากชั้นผิวทาง (Wearing Course) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นพื้นทาง (Base Course) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดร่องล้อในถนนลาดยาง การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ T-Test ได้แสดงให้เห็น VMA และ MR เป็นส่วนประกอบที่ใช้ปรับปรุงการต้านทานการเกิดร่องล้อในชั้นผิวทาง สำหรับชั้นพื้นทางตัวแปรที่สำคัญที่พบคือ HV, MR และ MS ส่วนมากของช่วงที่ไม่เกิดร่องล้อในการศึกษาชี้ว่า สัดส่วนที่ดีใช้วัสดุมวลรวมหยาบและตรงกันข้ามกับการค้นพบในอดีต การลดปริมาณแอสฟัลต์ของส่วนผสมไม่ได้แสดงความสำคัญที่จะเป็นองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อ การเกิดร่องล้อ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของส่วนผสมมีอิทธิพลต่อการเกิดร่องล้อมากกว่าแอสฟัลต์อย่างเดียวหรือวัสดุอย่างเดียว

Button, Perdomo และ Lytton (1990) [9] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุมวลรวมที่มีต่อการเกิดร่องล้อในถนนที่ปูด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต โดยรวบรวมการเจาะก้อนตัวอย่างจากถนนที่เกิดร่องล้อ และทดสอบในห้องทดลองเพื่อแยกหาสาเหตุของการเกิดร่องล้อ พร้อมทั้งแนะนำวิธีที่จะทำให้การเกิดร่องลือน้อยที่สุด ผลการศึกษาในสนามโดยมากของส่วนผสมที่เกิดร่องล้อใช้ปริมาณแอสฟัลต์เกิน ใช้วัสดุมวลรวมละเอียดเกินและมีรูปร่างกลมและผิวเนื้อเรียบจากวัสดุธรรมชาติ ผลการศึกษาในห้องทดลองส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีทรายธรรมชาติ มักเสียรูปภายใต้ Static หรือ Dynamic Loads มากกว่าส่วนผสมที่ใช้วัสดุที่ได้จากการผลิต (Crushed) หน่วยงานที่เกี่ยวกับทางหลวงพิจารณาขีดจำกัดวัสดุธรรมชาติ (Uncrushed) ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณการจราจรสูงประมาณร้อยละ 10 ถึง 15 โดยขึ้นอยู่กับลักษณะอื่น ๆ ของส่วนผสมด้วย ในการวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการเกิดร่องล้อได้แนะนำให้ใช้หินใหญ่ที่ได้จากการบดย่อยขนาด (1 ถึง 1.5 นิ้ว) ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมน้อยสุดเท่ากับร้อยละ 14 ถึง 15 แทนทรายธรรมชาติ ทั้งหมดด้วยวัสดุที่ได้จากการผลิตเพิ่มช่องว่างอากาศในห้องทดลองน้อยสุดเท่ากับร้อยละ 4 และจำกัดวัสดุอัดแทรกต่อแอสฟัลต์ประมาณร้อยละ 1.2

Kalcheyff และ Tunnicliff (1982) [10] ได้ศึกษาผลของหินบดย่อย ขนาดของวัสดุ และรูปร่างที่มีต่อคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อประเมินคุณสมบัติของขนาดวัสดุมวลรวมหยาบ รูปร่างของวัสดุมวลรวมละเอียด การเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรก เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุได้ถูกต้องได้ประโยชน์ทั้งด้านคุณสมบัติที่ดีและประหยัด เพราะบางครั้งวัสดุมวลรวมซึ่งได้จากการบดย่อยอาจมีคุณสมบัติไม่ดีกว่าวัสดุตามธรรมชาติและมีราคาแพง ในการศึกษาใช้ทรายธรรมชาติ (Natural Sand) 1 แหล่ง ทรายที่ได้จากการผลิต (Manufactured Sand) 3 แหล่ง วัสดุมวลรวมหยาบจากแหล่งเดียว แอสฟัลต์ซีเมนต์ใช้เกรด AC-10 วัสดุอัดแทรกใช้ Limestone Dust การหาปริมาณแอสฟัลต์ที่ให้ประโยชน์สูงสุด (Optimum Asphalt Content) แต่ละส่วนผสมใช้ Marshall Criteria

ผลการศึกษาปรากฏว่า ปริมาณแอสฟัลต์ที่ให้ประโยชน์สูงสุดที่ใช้ออกแบบสามารถลดลงได้โดยใช้วัสดุมวลรวมหยาบมาก ใช้มวลรวมที่ใหญ่และวัสดุอัดแทรกโดยร้อยละของวัสดุมวลรวมหยาบที่เพิ่มขึ้น ปริมาณแอสฟัลต์ที่ให้ประโยชน์สูงสุดจะลดลง และค่าเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นโดยวัสดุมวลรวมหยาบ เสถียรภาพของส่วนผสมที่ใช้ทรายจากการผลิตจะสูงกว่าที่ใช้ทรายจากธรรมชาติ และส่วนผสม B ซึ่งมีร้อยละวัสดุอัดแทรกสูงจะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ที่ให้ประโยชน์สูงสุดต่ำ และมีค่าเสถียรภาพสูง ส่วนผสมที่ใช้วัสดุมวลรวมหยาบและวัสดุมวลรวมละเอียดที่ได้จากการบดย่อยที่มีหรือไม่มีสัดส่วนของวัสดุอัดแทรกมีความต้านทานต่อการเสียรูปถาวร (Permanent Deformation) ดีกว่าส่วนผสมที่ใช้ทรายธรรมชาติ และมีความไวต่ออุณหภูมิน้อยกว่าส่วนผสมที่ใช้ทรายธรรมชาติและมีช่องว่างอากาศครั้งแรกมากกว่า ความแตกต่างในพฤติกรรมที่เด่นชัดของส่วนผสมที่ใช้ทรายธรรมชาติและทรายที่ได้จากการผลิต ไม่ได้สังเกตทรายที่ได้จากการผลิตมีผลในการปรับปรุงพฤติกรรมของส่วนผสม Combined Aggregate Gradation