บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ผลจากการนำตัวอย่างยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC 60/70) และแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหลือจากกา รอบมาทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 สามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	ค่าที่ได้	เกณฑ์ที่กำหนดตาม มอก. 851	วิธีทดสอบที่ใช้อ้างอิง
1	ค่าความถ่วงจำเพาะ	1.031	-	AASHTO T 228
2	การจมตัว (penetration) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที (0.1มิลลิเมตร)	69	60 – 70	ASTM D 5
3	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	338	$\geq$ 232	ASTM D 92
4	การยืดดึง(ductility) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 เซนติเมตรต่อนาที (เซนติเมตร)	$>$ 100	$\geq$ 100	ASTM D 113
5	การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	96.82	$\geq$ 99.00	ASTM D 2042
6	ความหนืด ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)	675	-	ASTM D 2170

จากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปผลการทดสอบได้ว่าตัวอย่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ทำการศึกษาส่วนใหญ่มีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์ของแอสฟัลต์ซีเมนต์เพนิเทรชั่นเกรด AC 60/70 ทุกประการ และนอกจากนี้ยังได้ทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐานอื่นๆ ที่อยู่ในระบบการจัดเกรดยางวิธีอื่น เช่น ค่าความหนืด ซึ่งอยู่ในการจัดเกรดแบบวิสโคซิตี้เกรด เป็นต้น

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติต่างๆ ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหลือจากการอบตาม ASTM D 1754

ลำดับที่	คุณลักษณะ	ค่าที่ได้	เกณฑ์ที่กำหนดตาม มอก. 851	วิธีทดสอบที่ใช้อ้างอิง
1	น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน (ร้อยละ)	0.07	≤ 0.8	ASTM D 1754
2	**การจมตัว (ร้อยละของการจมตัวเดิม)**	70	≥ 54	ASTM D 1754 และ ASTM D 5
3	การยืดดึง(ductility) ที่อุณหภูมิ 25 องศา-เซลเซียส อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 เซนติเมตรต่อนาที (เซนติเมตร)	65	≥ 50	ASTM D 1754 และ ASTM D 113

4.2 ผลการทดลองหาคุณสมบัติของมวลรวม

ตารางที่ 4.3 จะแสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ของวัสดุมวลรวม ซึ่งใช้เป็นค่าพื้นฐานในการออกแบบส่วนผสมมวลรวมเพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป และตารางที่ 4.4 จะแสดงผลการทดสอบของมวลรวมหยาบของของจังหวัดกาญจนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี สระบุรี และชลบุรี ตามลำดับ ส่วนตารางที่ 4.5 จะแสดงผลการทดสอบของมวลรวมละเอียดของของจังหวัดกาญจนบุรี เพชรบุรี ราชบุรี สระบุรี และชลบุรี ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ของวัสดุมวลรวม จังหวัดต่าง ๆ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 127 และ ASTM C 128

จังหวัด	ค่าความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ของวัสดุมวลรวม
กาญจนบุรี	2.62
ชลบุรี	2.65
เพชรบุรี	2.63
ราชบุรี	2.60
สระบุรี	2.62

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ จังหวัดต่างๆ

คุณลักษณะ	ค่าที่ได้					เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบที่ใช้อ้างอิง
	กาญจนบุรี	ชลบุรี	เพชรบุรี	ราช บุรี	สระ บุรี		
ค่าความสึกหรอของมวลรวม ร้อยละ						≤ 40	ASTM C 131 หรือ ทล.-ท.202
- ผ่านตะแกรง 1/2" ค้างบนตะแกรง 3/8"	26.6	18.6	26.9	24.7	15.0		
- ผ่านตะแกรง 3/8" ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4	31.8	26.6	28.4	28.1	18.5		
ค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Soundness) ร้อยละ						≤ 9	AASHTO T 104 หรือ ทล.-ท.213
- ผ่านตะแกรง 1/2" ค้างบนตะแกรง 3/8"	0.42	1.79	2.65	1.22	1.03		
- ผ่านตะแกรง 3/8" ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4	2.11	6.18	2.22	3.18	1.92		
แอสฟัลต์ที่เคลือบผิว ร้อยละ	>95	<95	>95	>95	>95	≥ 95	AASHTO T 182

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด จังหวัดต่างๆ

คุณลักษณะ	ค่าที่ได้					เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบที่ใช้อ้างอิง
	กาญจนบุรี	ชลบุรี	เพชรบุรี	ราช บุรี	สระ บุรี		
ค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Soundness) ร้อยละ						≤ 9	AASHTO T 104 หรือ ทล.-ท.213
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8	2.49	6.97	2.21	2.30	3.10		
- ผ่านตะแกรงเบอร์8 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 16	3.66	7.82	3.96	5.23	4.10		
ค่าสมมูลย์ของทราย (ร้อยละ)	63	54	67	62	72	≥ 50	AASHTO T 176 หรือ ทล.-ท.203

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 สามารถสรุปผลการทดสอบได้ว่าตัวอย่างมวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียดที่ใช้ทำการศึกษา ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งใช้เป็นข้อกำหนดในการก่อสร้างในประเทศไทยทุกประการ สามารถนำไปก่อสร้างชั้นผิวทาง (Wearing Course) ได้ ซึ่งจากผลการทดสอบมวลรวมที่ได้เราสามารถนำมาวิเคราะห์ตามองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของมวลรวมได้ดังนี้

1. ความคงทน มวลรวมที่ใช้ทำผิวจราจรจะถูกบดอัดหรือขัดสีจากขบวนการผลิตขณะยังสถานที่ก่อสร้างและขณะบดอัด รวมถึงเมื่อถนนได้เปิดใช้งานแล้วได้รับการขัดสีจากล้อรถ ดังนั้นมวลรวมจะต้องมีความทนทานต่อการขัดสีได้ และมวลรวมที่สัมผัสกับล้อรถโดยตรงจะต้องมีความทนทานสูงกว่าส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับล้อรถโดยตรง ซึ่งการทดสอบที่เป็นมาตรฐานตรงตามข้อกำหนดกรมทางหลวง คือ การทดสอบหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวมด้วยวิธี Los Angeles Abrasion

ซึ่งผลจากตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 จังหวัดจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การสึกหรอต่ำกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้ แสดงว่ามวลรวมมีความคงทนเหมาะที่จะนำมาก่อสร้างผิวจราจรส่วนที่สัมผัสกับล้อรถได้ และจากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดสระบุรี จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การสึกหรอต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบจาก 4 จังหวัดที่เหลือค่อนข้างมาก

2. ความคงทนต่อสภาพอากาศ มวลรวมที่ใช้ทำผิวจราจรต้องมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศหรือสารเคมีไม่แตกตัวออกจากกัน โดยมวลรวมที่ไม่ทนทานต่อสภาพอากาศ เช่น หินดินดาน (Shale) เป็นต้น ซึ่งการทดสอบที่เป็นการทดสอบมาตรฐานตรงตามข้อกำหนดกรมทางหลวง คือ การทดสอบหาค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Soundness Test)

ซึ่งผลจากตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 จังหวัดจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมวลรวมส่วนที่ไม่คงทนต่ำกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้ แสดงว่ามวลรวมมีความคงทนต่อสภาพอากาศ เหมาะที่จะนำมาก่อสร้างผิวจราจร และจากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดชลบุรี จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมวลรวมส่วนที่ไม่คงทนสูงกว่าตัวอย่างทดสอบจาก 4 จังหวัดภาคกลางที่เหลือค่อนข้างมาก

3. ความสะอาด มวลรวมที่ใช้ทำผิวจราจรต้องมีความสะอาด ปราศจากฝุ่นหรือวัสดุแปลกปลอมเจือปน (หรืออาจมีได้ในจำนวนที่จำกัด) โดยวัสดุที่แปลกปลอมที่ไม่พึงปรารถนา ได้แก่ วัชพืช หินชนวน เม็ดวัสดุอ่อนร่วน เศษดิน ดินที่เคลือบเม็ดมวลรวม เป็นต้น การดูความสะอาดหรือความสกปรกของมวลรวมอาจพิจารณาได้ด้วยตาเปล่า หรือโดยการล้างน้ำแล้วจึงร่อนผ่านตะแกรง แต่การทดสอบที่เป็นการทดสอบมาตรฐานตรงตามข้อกำหนดกรมทางหลวง คือ การทดสอบหาค่าสมมูลย์ของทราย (Sand Equivalent Test)

ซึ่งผลจากตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 จังหวัดจะมีค่าสมมูลย์ของทรายสูงกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้ แสดงว่ามวลรวมมีความสะอาดเหมาะที่จะนำมาก่อสร้างผิวจราจร และจากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดชลบุรี จะมีค่าสมมูลย์ของทรายต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบจาก 4 จังหวัดภาคกลางที่เหลือ

4. การยึดเกาะกับแอสฟัลต์ มวลรวมบางชนิดไม่ค่อยยึดเกาะกับแอสฟัลต์ โดยแอสฟัลต์จะหลุดล่อนออกได้เมื่อถูกน้ำ ดังนั้นมวลรวมชนิดนี้จึงไม่เหมาะในการทำผิวจราจร ซึ่งมวลรวมดังกล่าวเรียกว่า Hydrophilic หรือชอบน้ำ (Water Loving) เช่น ควอตไซด์ หรือแกรนิตบางชนิด ส่วนมวลรวมอีกประเภทเรียกว่า Hydrophobic หรือไม่ชอบน้ำ (Water Hating) เช่น หินปูน ไดโอไรท์ และ Trapock (มวลรวมชนิดรูพรุนต่ำและเนื้อแน่น) เป็นต้น โดยการทดสอบที่เป็นการทดสอบมาตรฐานตรงตามข้อกำหนดกรมทางหลวง คือ การทดสอบการห่อหุ้มและการหลุดลอกของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมวลคละ

ซึ่งผลจากตัวอย่างทดสอบทั้ง 4 จังหวัดภาคกลางจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มของแอสฟัลต์ซีเมนต์สูงกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้ แต่ตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดชลบุรีจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มของแอสฟัลต์ซีเมนต์ต่ำกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้ โดยมีข้อแนะนำในกรณีที่จำเป็นต้องใช้มวลรวมที่มีปัญหาในการยึดเกาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้ออกแบบโดยยึดถือความเหมาะสมระหว่างค่าความหนาแน่นกับช่องว่างเป็นหลัก แล้วเลือกเปอร์เซ็นต์ช่องว่างให้เหมาะสมกับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้

4.3 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล

จากตารางที่ 4.6 สามารถสรุปผลการทดสอบได้ว่าตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ทำการออกแบบส่วนผสม ทั้งระดับการจราจรแบบปานกลาง (Medium) และแบบหนัก (Heavy) ด้วยขนาดคละที่เลือกข้างต้นทั้ง 5 จังหวัดที่ทำการทดสอบ มีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งใช้เป็นข้อกำหนดในการก่อสร้างในประเทศไทยทุกประการ จึงสามารถนำไปก่อสร้างชั้นผิวทาง (Wearing Course) ได้ ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้เราสามารถนำมาวิเคราะห์ตามองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตได้ดังนี้

1. Air voids แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยเม็ดวัสดุมวลรวมซึ่งถูกเคลือบด้วยฟิล์มของแอสฟัลต์ ระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์เหล่านี้จะมีช่องว่างเล็กๆ เรียกว่า Air voids ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้วจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีปริมาตร Air voids ที่เพียงพอ แต่ไม่มากเกินไปจำนวนหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเปิดการจราจรแล้ว รถที่แล่นบนผิวทางจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแน่นขึ้นจากเดิมทำให้ปริมาณช่องว่างลดลง ถ้าปริมาตร Air voids ขณะก่อสร้างเสร็จใหม่มีไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวเกิดการเยิ้ม (Bleeding) นอกจากนี้ Air voids ยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย ซึ่งการออกแบบผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตร Air voids 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและน้ำหนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่างๆ อาจออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างได้มากกว่านี้ เช่น 4 – 7 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะออกแบบส่วนผสมให้มีปริมาตร Air voids อยู่ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ (หรือใกล้เคียงเพื่อให้ส่วนผสมมีสมบัติอย่างอื่นสอดคล้องกับเงื่อนไขที่มาตรฐานกรมทางหลวงกำหนด)

นอกจากนี้ปริมาตร Air voids มีผลต่อความคงทน (Durability) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กล่าวคือปริมาตร Air voids ยิ่งน้อยเพียงใด น้ำและอากาศจะซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลต์และการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้ยากเท่านั้นทำให้ผิวทางมีอายุยืนยาว แต่อย่างไรก็ตามหากปริมาตร Air voids มีน้อยเกินไปแล้วจะทำให้เกิดการเยิ้มด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 4.6 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล

	Marshall Method Mix Criteria		ขนาดคละมวลรวม จังหวัด กาญจนบุรี		ขนาดคละมวลรวม จังหวัด ชลบุรี		ขนาดคละมวลรวม จังหวัด เพชรบุรี		ขนาดคละมวลรวม จังหวัด ราชบุรี		ขนาดคละมวลรวม จังหวัด สระบุรี	
Design Traffic	Medium	Heavy	Medium	Heavy	Medium	Heavy	Medium	Heavy	Medium	Heavy	Medium	Heavy
No. of blows/side	50	75	50	75	50	75	50	75	50	75	50	75
Stability , N	> 5333	> 8000	6,800	8,700	8,800	9,700	5,900	8,100	7,600	9,500	6,650	8,200
Flow , 0.25 mm	8 - 16	8 - 14	15.9	13.3	8.0	8.0	14.8	13.2	13.5	12.0	16.0	13.9
Air voids , %	3 - 5	3 - 5	4.0	4.0	3.2	3.7	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Voids in Mineral Aggregate , %	> 14.5	> 14.5	19.1	17.8	15.6	15.8	20.1	19.1	18.2	17.1	19.2	18.1
Voids fill with asphalt , %	-	-	79.0	76.5	78.0	75.0	80.0	79.0	75.5	73.5	80.5	77.5
Optimum asphalt content , %of aggregate	-	-	7.6	7.1	6.0	5.8	8.2	7.6	6.8	6.5	7.8	7.1

2. ความแน่น (Density) หมายถึง ปริมาณมวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความแน่นมากพอ จะทำให้มีอายุการใช้งานยืนยาวและมีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามการบดอัดโดยรถบดในสนาม จะได้ความแน่นน้อยกว่าความแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งบดอัดด้วยเครื่องมือในห้องทดลอง ดังนั้นการกำหนดความแน่นต่ำสุดที่บดอัดให้ได้ในสนาม จะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแน่นที่ทดลองได้ในห้องทดลอง สำหรับกรมทางหลวงกำหนดไว้ว่าต้องบดอัดให้ได้ความแน่นไม่น้อยกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ของความแน่นที่ทดลองได้ในห้องทดลอง

นอกจากนี้ความแน่นและปริมาตร Air voids นั้นจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรง กล่าวคือ ความแน่นยิ่งมากปริมาตร Air voids จะยิ่งน้อย และเป็นจริงในทางกลับกัน ดังนั้นการกำหนดค่าความแน่นต่ำสุดสุดของผิวทางจะต้องคำนึงถึงปริมาตร Air voids ด้วย

3. ช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA) คือ ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งรวมช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Asphalt, VFA) ด้วย โดยที่ VMA คือ ปริมาตรช่องว่างสำหรับปริมาตรของแอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective Asphalt) ซึ่งหมายถึงปริมาตรแอสฟัลต์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปผสมหักออกด้วยปริมาตรแอสฟัลต์ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเม็ดวัสดุมวลรวม) ปริมาตรช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของแอสฟัลต์ประสิทธิผล คือ ปริมาตร Air Voids ดังที่กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้นถ้าหากออกแบบส่วนผสมให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาตร Air Voids เท่ากันแล้ว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความคงทนต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า ซึ่งอธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงว่าการที่วัสดุมวลรวมมีค่า VMA สูง ย่อมหมายถึงมีปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์มากทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิววัสดุมวลรวมหนา ซึ่งทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทน อายุการใช้งานยืนยาวกว่า ในขณะที่การออกแบบส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนดทำให้ใช้แอสฟัลต์ผสมน้อยซึ่งประหยัด แต่ไม่ควรกระทำเพราะจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนลดลง โดยมาตรฐานข้อกำหนดของกรมทางหลวงจะต้องมีค่า VMA ไม่น้อยกว่า 14.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลจากตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 จังหวัดจะมีค่า VMA ที่สูงกว่ามาตรฐานของกรมทางหลวง โดยผลจากตัวอย่างทดสอบ 4 จังหวัดภาคกลาง จะมีค่า VMA ที่สูงกว่าตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดชลบุรี

4. ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content) ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใส่ลงไปผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องทดลองหรือที่โรงผสม (Mixing Plant) ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ (Design Criteria) ซึ่งได้แก่ ข้อกำหนดต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการ จะเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ผสม

ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตจะเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละ (Gradation) และคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลต์วัสดุมวลรวม (Percent Asphalt Absorption) โดยเม็ดขนาดเล็กต้องการแอสฟัลต์สำหรับผสมมากกว่าวัสดุมวลรวมที่ประกอบด้วยเม็ดขนาดใหญ่กว่า เหตุผลก็คือวัสดุมวลรวมเม็ดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุมวลรวมเม็ดใหญ่ (เมื่อปริมาตรมีค่าเท่ากัน) จึงต้องใช้แอสฟัลต์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวม และวัสดุมวลรวมที่ดูดซึมแอสฟัลต์มาก ทำให้ต้องใช้แอสฟัลต์ผสมมากเพื่อชดเชยส่วนที่ถูกดูดซึมเช่นกัน

จากผลการทดสอบส่วนผสมตัวอย่างทดสอบ 4 จังหวัดภาคกลาง ซึ่งมีวัสดุมวลรวมเม็ดเล็กมากกว่าตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดชลบุรี (จากตารางที่ 4.1) จะมีค่า Asphalt Content และ Percent Asphalt Absorption สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน

5. เสถียรภาพ (Stability) คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อเป็นคลื่น หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ในลักษณะอื่นๆ และแรงยึดเกาะ (Cohesion) ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวม ความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ซึ่งได้แก่รูปร่างของเม็ดวัสดุ ลักษณะความเรียบหยาบ หรือขรุขระของผิว ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ว่าสามารถยึดเม็ดวัสดุมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักรถมากระทำ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบมีเสถียรภาพสูงมีอยู่หลายประการ ได้แก่ ขนาดของวัสดุมวลรวม และปริมาณ Asphalt Content

โดยปกติแล้ววัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยมใหญ่ ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง ซึ่งการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจะต้องออกแบบให้ค่าเสถียรภาพสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ แต่มีข้อควรคำนึงถึงคือ ค่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่นซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ โดยเฉพาะแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูลงพื้นทางหรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัว (Deflecion) สูง จากผลการทดสอบส่วนผสมตัวอย่างทดสอบ 3 จังหวัดภาคกลาง ซึ่งมีวัสดุมวลรวมเม็ดเล็กมากกว่าตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดชลบุรี (ยกเว้นจังหวัดราชบุรี) จะมีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบจากจังหวัดชลบุรีประมาณ 1,000 นิวตัน

นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงจุดหนึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมลดลง ทำให้ค่าเสถียรภาพลดลงด้วย รวมถึงทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกระนาด หรือเกิดร่องล้อ หรือเกิดการเยิ้มของผิว

4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม

ตารางที่ 4.7 จะแสดงผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ณ ตำแหน่งที่ให้น้ำหนักกระทำซ้ำจนกระทั่งค่าการคืนตัวมีค่าค่อนข้างคงที่ ด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อมสำหรับตัวอย่างที่ทำการทดสอบในบริเวณ 4 จังหวัดภาคกลาง และจังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวเฉลี่ย ณ อุณหภูมิต่างๆ

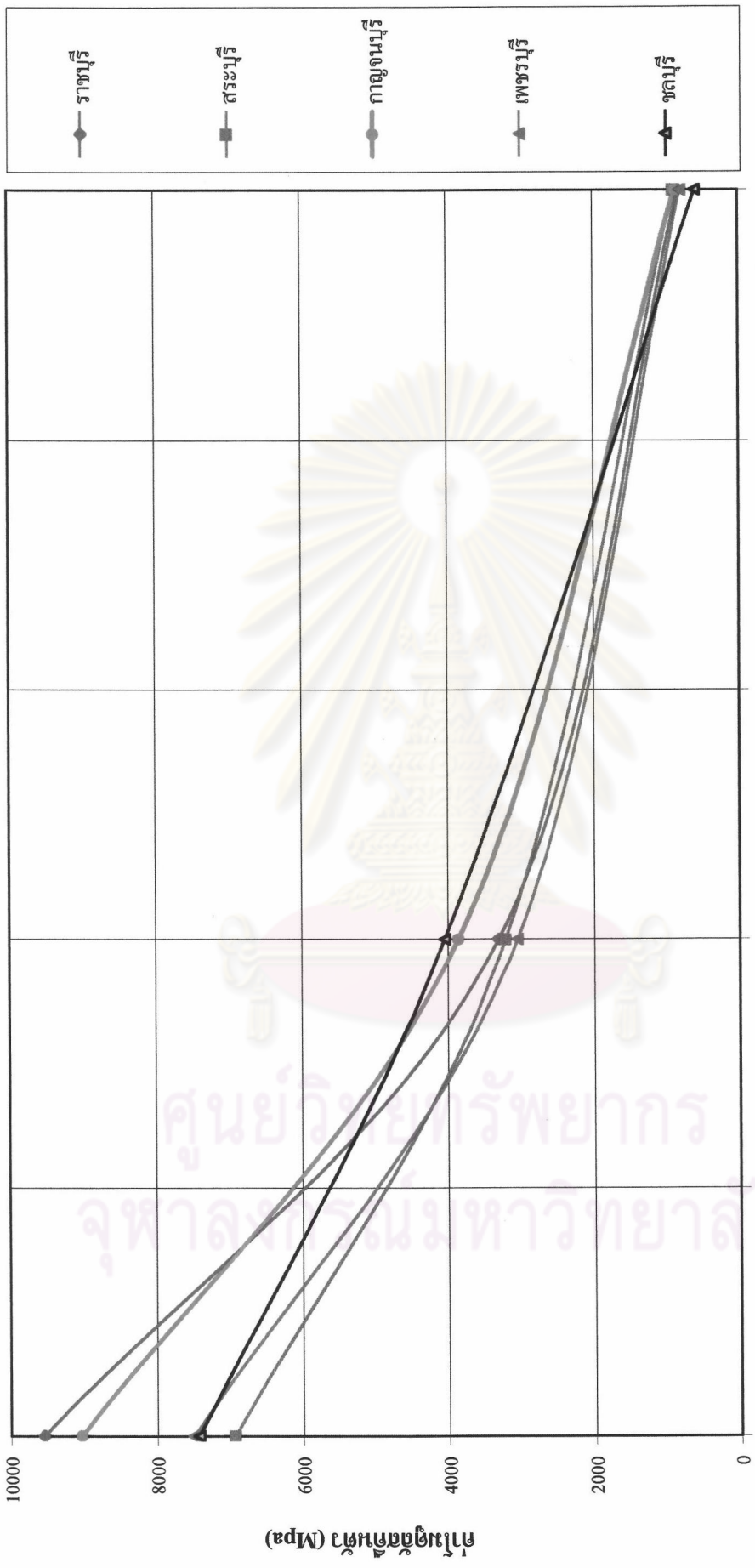
ส่วนผสมของจังหวัด	ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (ร้อยละโดยน้ำหนักมวลรวม)	15°C	25°C	35°C	40°C
		โมดูลัสคืนตัว (MPa)	โมดูลัสคืนตัว (MPa)	โมดูลัสคืนตัว (MPa)	โมดูลัสคืนตัว (MPa)
กาญจนบุรี	7.1	9,041	3,858	-	868
ชลบุรี	5.8	7,431	4,042	995	595
เพชรบุรี	7.6	7,505	3,049	-	791
ราชบุรี	6.5	9,546	3,307	-	828
สระบุรี	7.1	6,934	3,214	-	886

จากการวิเคราะห์ตารางที่ 4.7 สังเกตได้ว่า หากปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมวลรวมมีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าโมดูลัสคืนตัวมีค่าลดลง และส่งผลเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่อทดสอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นแล้ว ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตก็จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวลดลงเช่นกัน โดยการลดลงของค่าโมดูลัสคืนตัวนี้จะเห็นได้ชัดเจนที่อุณหภูมิการทดสอบต่ำ (15 ถึง 25 องศาเซลเซียส) แต่ ณ อุณหภูมิการทดสอบสูง (25 ถึง 40 องศาเซลเซียส) จะเห็นการเปลี่ยนแปลงลดลงที่ไม่มากนักของค่าโมดูลัสคืนตัว โดยรูปที่ 4.1 จะแสดงการเปรียบเทียบของค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต บริเวณ 4 จังหวัดภาคกลางที่ทำการทดสอบ โดยจะเปรียบเทียบ ณ อุณหภูมิทดสอบต่างๆ กัน คือ 15 องศาเซลเซียส 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส (เพิ่มการทดสอบ ณ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สำหรับตัวอย่างทดสอบจังหวัดชลบุรี)

โดยตารางที่ 4.8 จะแสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในแต่ละจังหวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าแรงกดที่เหมาะสมในการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวด้วยวิธีทางอ้อม

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในแต่ละจังหวัด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

มวลรวม จังหวัด	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (D) (ม.ม.)	ความหนาเฉลี่ย (T) (ม.ม.)	พื้นที่ = $(\pi DT)/2$ ($ม.ม.^2$)	น้ำหนักกระทำสูงสุด(kN)	ค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (MPa)
กาญจนบุรี	101.95	69.63	11155.22	9.00	0.807
ชลบุรี	101.97	66.48	10647.88	5.310	0.482
เพชรบุรี	102.33	68.52	11018.31	8.28	0.751
ราชบุรี	102.23	72.21	11600.33	8.39	0.723
สระบุรี	100.25	73.01	11501.68	8.91	0.775



รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวจังหวัดต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 2.2 ประสิทธิ์ ภู่ประทุ่ม (2539)ได้เสนอค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโครงสร้างชั้นทางในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตของภาคกลางในประเทศไทยไว้ที่ 38.4 องศาเซลเซียส (101.12 องศาฟาเรนไฮต์) และจากการวิเคราะห์ความถดถอยโดยระเบียบวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด ทำให้สามารถสรุปค่าโมดูลัสคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมจังหวัดต่างๆได้ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าโมดูลัสคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมจังหวัดต่าง ๆ ณ อุณหภูมิเฉลี่ยของโครงสร้างชั้นทาง

จังหวัด	ค่าโมดูลัสคืนตัว (MPa)
กาญจนบุรี	1,030
ชลบุรี	1,000
เพชรบุรี	910
ราชบุรี	950
สระบุรี	1,030

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย