บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น เป็นการศึกษาในห้องทดลองเท่านั้น โดยใช้เม็ดดินเผา ทรายและหินฝุ่นเป็นวัสดุมวลรวมคละ ยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวเป็นยางประสาน โดยมีวัสดุ เครื่องมือและวิธีการทดสอบดังนี้

3.1 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ออกแบบเป็นส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นประกอบด้วย

3.1.1 เม็ดดินเผา ใช้ดินเหนียวอ่อนจากแหล่งบางเขน กรุงเทพมหานคร มาอัดเป็นเม็ดรูปทรงกระบอกขนาดความยาวใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรวม 3 ขนาด คือ ขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว แล้วเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900^{0}ซ , 1000^{0}ซ และ 1100^{0}ซ เม็ดดินที่ผ่านการเผาแล้วจะนำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น สำหรับรายละเอียดการผลิตเม็ดดินเผาที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แสดงในภาคผนวก ก.

3.1.2 ทราย ใช้เป็นวัสดุมวลรวมละเอียดในส่วนผสมแผสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น เป็นทรายแม่น้ำตามธรรมชาติจากจังหวัดราชบุรี นำมาร่อนหาขนาดคละด้วยตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4, 8, 50 และ 200 ปรากฏว่าทรายมีปริมาณของฝุ่นที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยมาก

3.1.3 หินฝุ่น ใช้เป็นวัสดุมวลรวมแทรก เพื่อทำหน้าที่อุดช่องว่างในส่วนผสม ในการวิจัยนี้ใช้ฝุ่นเป็นตัวช่วยเพิ่มปริมาณฝุ่นที่ทรายธรรมชาติขาดแคลน และใช้เป็นตัวช่วยปรับให้สัดส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคละทั้งหมดอยู่ในข้อกำหนดการเรียงขนาดที่ต้องการ

สำหรับลำดับขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม ได้แสดงในตารางที่ 3.1

3.2 การทดสอบคุณสมบัติยางแอสฟัลท์

3.2.1 ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ยางแอสฟัลท์ที่นำมาใช้เป็นยางประสานนี้อาจจะเรียกได้เป็น 3 ชื่อคือ ยางอีมัลซิไฟด์แอสฟัลท์ ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นหรือยางมะตอยน้ำ แต่การวิจัย

นี้จะใช้คำว่า "ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น" ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 เกรด คือ เกรด CM-K และ SS-K และมีลำดับขั้นตอนในการทดสอบคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.2.2 ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ที่ใช้เป็นยางประสานสำหรับทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นเป็นเกรด MC-250 ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการทดสอบคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

3.3 การพิจารณาเลือกการเรียงขนาดของวัสดุมวลรวม

ในการทดลองเริ่มแรกจะต้องพิจารณาจากชนิดและเกรดของยางแอสฟัลท์ที่นำมาใช้งาน เพื่อนำไปพิจารณาเลือกหาการจัดเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมให้เหมาะสมกับยางแอสฟัลท์ ตามข้อแนะนำการเลือกใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ในตารางที่ 2.8 และยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ในตารางที่ 2.9 จะได้การเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมเป็นแบบแน่น (Dense-Grade) ต่อมาต้องทราบว่าจะใช้วัสดุมวลรวมที่มีขนาดใหญ่สุดขนาดใดแล้ว ให้เลือกเกรดของการเรียงขนาดตามต้องการ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้วัสดุเม็ดดินเผารูปทรงกระบอกขนาดใหญ่สุด 3/4 นิ้ว จึงเลือกใช้การเรียงขนาดตามเกรด D ดังแสดงในตารางที่ 3.4

3.4 การออกแบบส่วนผสม (Mix Design)

มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาปฏิภาคของส่วนผสม (Mix Proportion) ของแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นที่เหมาะสม ตามวิธีมาร์แชล เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการกำหนดปฏิภาคของส่วนผสม (Job-Mix Formula) สำหรับงานก่อสร้างในสนามต่อไป

การเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมคละที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมในการวิจัยนี้เป็นแบบแน่น (Dense-Grade) เกรด D ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.3 ในการพิจารณากำหนดขนาดคละของวัสดุมวลรวมและโค้งการจัดขนาดคละ จะแสดงในรูปของเปอร์เซนต์ของน้ำหนักรวม อย่างไรก็ตามข้อกำหนดการจัดขนาดคละต้องให้ได้ตามความต้องการของปฏิภาคในส่วนผสมสำหรับถนนลาดยางด้วย ถ้าหากว่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมที่ใช้รวมกันมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันมากหรือเหมือนกัน จะใช้สัดส่วนผสมร้อยละโดยน้ำหนักเป็นร้อยละโดยปริมาตรได้ แต่ถ้าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันมากกว่า 0.20 จะต้องมีการปรับแก้สัดส่วนของวัสดุมวลรวมจากร้อยละโดยปริมาตรมาเป็นร้อยละโดยน้ำหนักตามหลักความจริงดังนี้

น้ำหนัก = ปริมาตร x ความถ่วงจำเพาะ

การออกแบบส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้วัสดุเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900°ซ, 1,000°ซ และ 1,100°ซ ทราย และหินฝุ่น เป็นวัสดุมวลรวมผสม ทรายและหินฝุ่นมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าเม็ดดินเผาเกินกว่า 0.20 ดังนั้นจึงออกแบบสัดส่วนผสมเป็นร้อยละโดยปริมาตร และใช้ร้อยละโดยปริมาตรเดียวกันหมดสำหรับเม็ดดินเผาทั้ง 3 อุณหภูมิคือ

สัดส่วน	เม็ดดินเผา 900°ซ, 1000°ซ และ 1100°ซ			ทราย	หินฝุ่น
	3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว		
% โดยปริมาตร	10	20	35	15	20

การออกแบบส่วนผสมแสดงไว้ในตารางที่ 3.5, ตารางที่ 3.6, ตารางที่ 3.7, ตารางที่ 3.8, ตารางที่ 3.9, ตารางที่ 3.10 และรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม

ลำดับที่	คุณสมบัติที่ทดสอบ	มาตรฐานกรมทางหลวง	มาตรฐานสถาบันอื่น ๆ
1	- การทดลองหาค่า Atterberg's Limit	ทล-ท. 102/2515 ทล-ท. 103/2515	ASTM D423-66 AASHO T-90
2	- การทดลองการหาการกระจายขนาดของมวลรวม เช่น เม็ดดินเผา ทรายและหินฝุ่น	ทล-ท. 204/2516	AASHO T 27-70
3	- การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเผา	-	-
4	- การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของทรายและหินฝุ่น	ทล-ท. 209/2518	AASHO T-84
5	- การทดลองหาความสึกหรอของมวลรวมหยาบเม็ดดินเผา (Abrasion Test)	ทล-ท. 202/2515	ASTM C-131,C535

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ลำดับที่	คุณสมบัติที่ทดสอบ	มาตรฐานกรมทางหลวง	มาตรฐานสถาบันอื่น ๆ
6	- การทดลองหาค่า Sand Equivalent ของทรายและหินฝุ่น	ทล-ท. 203/2515	AASHO T-176
7	- การทดลองหาปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุมวลรวมเม็ดดินเผา (Water Absorption)	ทล-ท. 207/2517	AASHO T-85
8	- การทดลองการเคลือบผิวและการหลุดลอกของยางออกจากวัสดุมวลรวมเม็ดดินเผา	-	AASHO T 182-70 ASTM D 1664-69
9	- การทดลองดัชนีความแบน (Flankiness Index) ของเม็ดดินเผา	ทล-ท.210/2518	BS.812
10	- การทดลอง Polished-Stone Value ของเม็ดดินเผา	-	British Standard BS. 812
11	- การทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น โดยวิธีมาร์แชล	-	ILLINOIS

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานการทดสอบและข้อกำหนดของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น

ลำดับที่	คุณสมบัติที่ทดสอบ	มาตรฐานกรมทางหลวง	มาตรฐานสถาบันอื่น ๆ	ข้อกำหนดคุณสมบัติ	
				เกรด CM-K	เกรด SS-K
1	Furol Viscosity at 25°C (177°F),sec	ทล-ท. 407/2520	ASTM D244, AASHO T 59	-	20-100
2	Furol Viscosity at 50°C (122°F),sec	ทล-ท. 407/2520	ASTM D244, AASHO T 59	50-500	-
3	Settlement, 7 days,% difference	-	ASTM D244, AASHO T 59	3 Max	3 Max
4	Sieve Test (Retained on No. 20), %	-	ASTM D244, AASHO T 59	0.10 Max	0.10 Max
5	Aggregate Coating-Water Resistance Test	-	ASTM D244		
	Dry Aggregate (Job), % Coated			80 Min	-
	Wet Aggregate (Job), % Coated			60 Min	-
6	Cement Mixing Test, %	-	ASTM D244, AASHO T 59	-	2 Max
7	Particle Charge Test	ทล-ท. 411/2522	ASTM D244, AASHO T 59	Positive	-
8	pH	-	ASTM E70, AASHO T200	-	6.7 Max
9	Residue from Distillation	-	ASTM D244, AASHO T 59		
	Residue, % by weight			65 Min	57 Min
	Oil Distillate, % by Volume of Emulsion			12 Max	-
10	Penetration, 25°C (77°F), 100 g,sec	ทล-ท. 403/2518	ASTM D5, AASHO T 49	100-250	100-200
11	Solubility in Tetrachloride, %	ทล-ท. 409/2520	ASTM D2, AASHO T 44	97.0 Min	97.0 Min
12	Ductility, 25°C (77°F), cm	ทล-ท. 405/2519	ASTM D113, AASHO T51	40.0 Min	40.0 Min

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานการทดสอบและข้อกำหนดของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์

ลำดับที่	คุณสมบัติที่ทดสอบ	มาตรฐานกรมทางหลวง	มาตรฐานสถาบันอื่น ๆ	ข้อกำหนดคุณสมบัติ เกรด MC-250
1	Kinematic Viscosity at 60 °C (140 °F), cSt	-	ASTM D2170, AASHO T201	250-500
2	Flash Point (Tag Open Cup), °C	-	ASTM D1310, AASHO T79	66 Min
3	Distillation Test	ทล-ท 408/2520	ASTM D402, AASHO T78	
	Distillate (% by Volume of Total Distillate to 360 °C)			
	To 225 °C			10 Max
	To 260 °C			15-55
	To 315 °C			60-87
	Residue from Distillate to 360 °C			67 Min
4	Penetration, 25 °C (77 °F), 100 g, 5 sec		ASTM D5, AASHO T49	120-250
5	Ductility, 25 °C (77 °F), cm		ASTM D113, AASHO T51	100 Min
6	Solubility in Trichloroethylene, %		ASTM D2042, AASHO T44	99.5 Min

ตารางที่ 3.4 แนะนำการเลือกใช้วัสดุมวลรวมคละที่มีการเรียงขนาดต่าง ๆ และคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ทดลอง [21]

AGGREGATES FOR EMULSIFIED ASPHALT MIXTURES

Sieve Size USA Standard	Sieve Size Alternative	Semi-Processed Crusher, Pit or Bank Run	Processed Dense-Graded Asphalt Mixtures				
50mm	(2 in.)	–	100	–	–	–	–
38.1mm	(1-1/2 in.)	100	90-100	100	–	–	–
25.0mm	(1 in.)	80-100	–	90-100	100	–	–
19.0mm	(3/4 in.)	–	60-80	–	90-100	100	–
12.5mm	(1/2 in.)	–	–	60-80	–	90-100	100
9.5mm	(3/8 in.)	–	–	–	60-80	–	90-100
4.75mm	(No. 4)	–	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80
2.36mm	(No. 8)	25-85	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65
1.18mm	(No. 16)	–	–	–	–	–	–
600μm	(No. 30)	–	–	–	–	–	–
300μm	(No. 50)	–	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25
150μm	(No. 100)	–	–	–	–	–	–
75μm	(No. 200)	3-15	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10
Sand Equivalent, Percent		30 min.	35 min.	35 min.	35 min.	35 min.	35 min.
Los Angeles Rattler @ 500 Revolutions		–	40 max.	40 max.	40 max.	40 max.	40 max.
Percent Crushed Faces		–	65 min.	65 min.	65 min.	65 min.	65 min.
Grade		A	B	C	D	E	F

Gradation Percent Passing by Weight

ตารางที่ 3.5 การปรับแก้ร้อยละโดยปริมาตรเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมคละ เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 900°ซ ทราย และหินฝุ่น

วัสดุมวลรวมคละ	% ปริมาตร	% ถ.พ.	น้ำหนัก	% น้ำหนัก	% น้ำหนักที่ใช้ออกแบบ
เม็ดดินเผา ขนาด 3/4 นิ้ว	10	1.90	19.00	8.74	8
เม็ดดินเผา ขนาด 1/2 นิ้ว	20	1.89	37.80	17.40	17
เม็ดดินเผา ขนาด 3/8 นิ้ว	35	1.89	66.15	30.46	31
ทราย	15	2.60	39.00	18.00	18
หินฝุ่น	20	2.76	55.20	25.42	26
รวม	100.00	-	217.15	-	100

ตารางที่ 3.6 การจัดขนาดผสมของส่วนผสมมวลรวมคละที่ออกแบบ สำหรับเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 900°ซ

(% ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก)

ขนาดตะแกรง	เม็ดดินเผา ที่ 900°ซ			ทราย	หินฝุ่น	การจัดขนาดผสมที่ใช้ออกแบบ	ช่วงการจัดขนาดผสมที่กำหนดตาม เกรด D
	3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว				
1"	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	100	100	100	100	90-100
3/8"	0.43	1.72	95.86	100	100	74.04	60-80
No. 4	0.11	0.22	0.45	98.05	99.33	43.66	35-65
No. 8	-	-	0.14	88.80	91.58	39.84	20-50
No. 50	-	-	-	22.12	41.11	14.67	3-20
No. 200	-	-	-	1.20	19.88	5.48	2-8
% โดยน้ำหนักที่ใช้ออกแบบ	8	17	31	18	26	-	-

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 การปรับแก้ร้อยละโดยปริมาตรเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมคละ เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 1000^{0}ซ ทราย และหินฝุ่น

วัสดุมวลรวมคละ	% ปริมาตร	ถ.พ.	น้ำหนัก	% น้ำหนัก	% น้ำหนักที่ใช้ออกแบบ
เม็ดดินเผา ขนาด 3/4 นิ้ว	10	1.67	16.70	8.45	8
เม็ดดินเผา ขนาด 1/2 นิ้ว	20	1.66	33.20	16.79	17
เม็ดดินเผา ขนาด 3/8 นิ้ว	35	1.53	53.55	27.09	27
ทราย	15	2.60	39.00	19.73	20
หินฝุ่น	20	2.76	55.20	27.93	28
รวม	100.0	-	197.65	-	100

ตารางที่ 3.8 การจัดขนาดผสมของส่วนผสมมวลรวมคละที่ออกแบบ สำหรับเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 1000^{0}ซ

(% ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก)

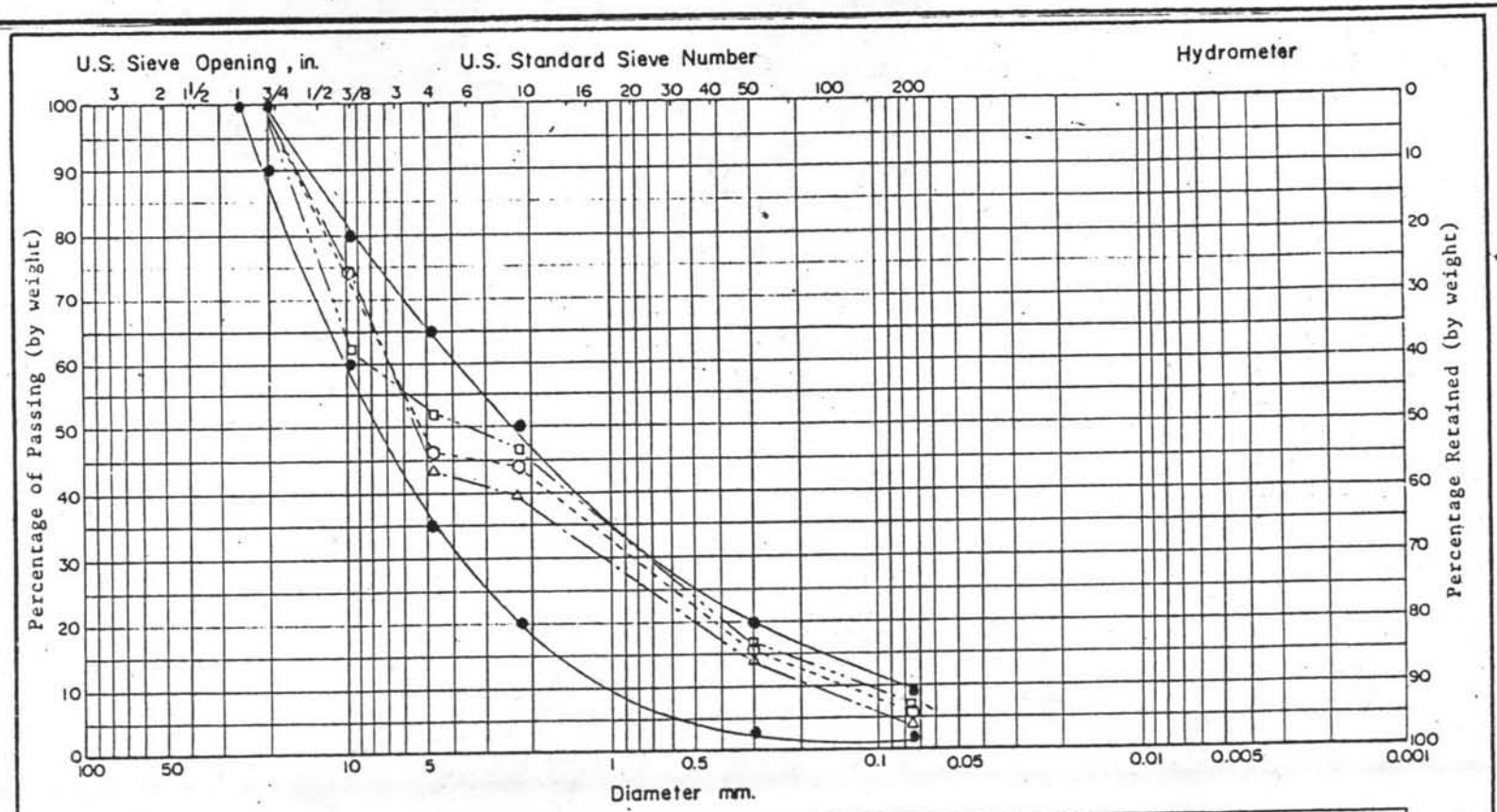
ขนาดตะแกรง	เม็ดดินเผา ที่ 1000^{0}ซ			ทราย	หินฝุ่น	การจัดขนาดผสมที่ใช้ออกแบบ	ช่วงการจัดขนาดผสมที่กำหนดตามเกรด D
	3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว				
1"	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	100	100	100	100	90-100
3/8"	1.53	2.04	97.98	100	100	74.92	60-80
No. 4	1.21	0.38	1.01	98.05	99.33	47.85	35-65
No. 8	1.10	0.35	0.86	88.80	91.58	43.78	20-50
No. 50	-	0.32	0.76	21.12	41.11	15.99	3-20
No. 200	-	-	-	1.20	19.88	5.80	2-8
% โดยน้ำหนักที่ใช้ออกแบบ	8	17	27	20	28	-	-

ตารางที่ 3.9 การปรับแก้ร้อยละโดยปริมาตรเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมคละ เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 1,100°ซ ทราย และหินฝุ่น

วัสดุมวลรวมคละ	% ปริมาตร	ถ.พ.	น้ำหนัก	% น้ำหนัก	% น้ำหนักที่ใช้ออกแบบ
เม็ดดินเผา ขนาด 3/4 นิ้ว	10	1.37	13.70	7.64	7
เม็ดดินเผา ขนาด 1/2 นิ้ว	20	1.33	26.60	14.84	15
เม็ดดินเผา ขนาด 3/8 นิ้ว	35	1.28	44.80	24.99	25
ทราย	15	2.60	39.00	21.75	22
หินฝุ่น	20	2.76	55.20	30.78	31
รวม	100.00	-	179.30	-	100

ตารางที่ 3.10 การจัดขนาดผสมของส่วนผสมมวลรวมคละที่ออกแบบ สำหรับเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิ 1,100°ซ

ขนาดตะแกรง	เม็ดดินเผา ที่ 1,100°ซ			ทราย	หินฝุ่น	การจัดขนาดผสมที่ใช้ออกแบบ	ช่วงการจัดขนาดผสมที่กำหนดตาม เกรด D
	3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว				
1"	100	100	100	100	100	100	100
3/4"	100	100	100	100	100	100	90-100
3/8"	5.11	6.38	28.03	100	100	61.31	60-80
No. 4	0.71	0.58	1.29	98.05	99.33	52.82	35-65
No. 8	-	-	0.48	88.80	91.58	48.04	20-50
No. 50	-	-	-	22.12	41.11	17.61	3-20
No. 200	-	-	-	1.20	19.88	6.42	2-8
% โดยน้ำหนักที่ใช้ออกแบบ	7	15	25	22	31	-	-



ASTM	GRAVEL	COARSE SAND	FINE SAND	SILT	CLAY

Hole No.	Depth m.	Symbol	Classification	Grain Size	% by weight at temperature			% by Volume
					900°C	1000°C	1100°C	
		●——●	Specification	3/4"	8	8	7	10
		△—·—△	Mix design at 900°C	1/2"	17	17	15	20
		○------○	Mix design at 1000°C	3/8"	31	27	25	33
		□—···—□	Mix design at 1100°C	SAND	18	20	22	15
				Dust Stone	26	28	31	20

รูปที่ 3.1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นจากสัดส่วนร้อยละโดยปริมาตรเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

3.5 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นโดยวิธีมาร์แชล

การออกแบบวัสดุส่วนผสมมวลรวมคละกับยางแอสฟัลท์ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุยางประสาน จะต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อทำการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น ผลของการทดลองตามวิธีมาร์แชลจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นตามวิธีมาร์แชล[21]

ลำดับที่	คุณสมบัติที่ทดสอบ	ต่ำสุด	สูงสุด
1	เสถียรภาพในกรณีแช่น้ำ (Soaked Stability), ปอนด์ ทดสอบที่อุณหภูมิ 72°ฟ (22.2°ซ)	500	-
2	ช่องว่างอากาศทั้งหมด (Total Voids), %	2	8
3	การสูญเสียค่าเสถียรภาพ (Stability Loss), % % หลังจากแช่น้ำ 4 วัน ที่อุณหภูมิ 72°ฟ (22.2°ซ)	-	50
4	การดูดซึมความชื้น (Absorbed Moisture), % หลังจากแช่น้ำ 4 วัน ที่อุณหภูมิ 72°ฟ (22.2°ซ)	-	4
5	การเคลือบผิววัสดุมวลรวมเม็ดดินเผา (Aggregate Coating), %	50	-