

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมหยาบ และละเอียด

วัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ในการออกแบบส่วนผสม ได้แบ่งวัสดุมวลรวมหยาบและละเอียดเป็น 4 ชนิด คือ Bin 1 (หินฝุ่น) , Bin 2 (หิน $3/8$ ") , Bin 3 (หิน $1/2$ ") และ Bin 4 (หิน $3/4$ ") ผลการทดสอบมีดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบกำหนดเม็ดวัสดุ โดยการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้างและแบบไม่ล้าง การหาขนาดคละ พิจารณากำหนดด้วยการร่อนวัสดุผ่านชุดของตะแกรงแล้วชั่งน้ำหนักวัสดุส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาด การหาขนาดคละของมวลรวม แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ตามส่วนที่ผ่าน (Total Percent Passing) ตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงการหาเปอร์เซ็นต์ ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ จากน้ำหนักของการแยกด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ส่วนตารางที่ 4.5 แสดงการหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ จากปูนขาวและปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง

การหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงก็เพื่อที่จะนำมวลรวม ขนาดต่าง ๆ กันนี้ มากำหนดหาขนาดใส่เรียงของมวลรวมที่ใช้ในการหาส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต

4.1.2 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะเป็นการหาอัตราส่วนของน้ำหนักของวัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตรต่อน้ำหนักของน้ำปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส ตารางที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8 แสดงวิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมทั้ง 4 ชนิด ปูนขาว และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง

สำหรับการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวม และหินผุ วัสดุ
ความถ่วงจำเพาะ (Pycnometer) ในการทดสอบ ซึ่งต้องใช้ค่าน้ำหนักของขวด
ความถ่วงจำเพาะ + น้ำ ที่อุณหภูมิที่ทำการทดสอบมาคำนวณเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง
ได้และเพื่อความสะดวกจึงจำเป็นต้องหาค่าน้ำหนักของขวดความถ่วงจำเพาะ + น้ำ ที่
อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 4.8 เมื่อรู้อุณหภูมิที่ทำการทดสอบก็สามารถอ่านค่าน้ำหนัก
ขวด ความถ่วงจำเพาะ + น้ำ ได้จากตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 แสดงการแยกวัสดุมวลรวม Hot Bin 1 ด้วยตะแกรงร่อน

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material HOT BIN 1

Source Plant

KHON KAEN HIGHWAY				STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sieve	first trial			second trial			Average
size	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	percent
	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	passing
3/8"							
no.4	—	872.6	100	—	901.8	100	100
no.8	114.5	758.1	86.9	136.9	764.9	84.8	85.9
no.30	203.1	555	63.6	215	549.9	61	62.3
no.50	188.8	366.2	42	182.5	367.4	40.7	41.4
no.100	123.1	243.1	27.9	122.8	244.6	27.1	27.5
no.200	79.3	163.8	18.8	79.3	165.3	18.3	18.6

ตารางที่ 4.2 แสดงการแยกวัสดุรวม Hot Bin 2 ด้วยตะแกรงร่อน

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material HOT BIN 2

Source Plant

KHON KAEN HIGHWAY				STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sieve	first trial			second trial			Average
size	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	percent
	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	passing
3/8"	—	2299	100	—	2243	100	100
no.4	1522	777	33.8	1535	708	31.6	32.7
no.8	741	36	1.6	672	36	1.6	1.6
no.30	28	8	0.3	27	9	0.4	0.4
no.50	3	5	0.2	3	6	0.3	0.3
no.100	3	—	—	6	—	—	—
no.200	—	—	—	—	—	—	—

ตารางที่ 4.3 แสดงการแยกวัสดุรวม Hot Bin 3 ด้วยตะแกรงร่อน

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material HOT BIN 3

Source Plant

KHON KAEN HIGHWAY				STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sieve	first trial			second trial			Average
size	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	percent
	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	passing
3/4"	—	4000	100	—	3897	100	100
1/2"	60	3940	98.5	65	3832	8.3	98.4
3/8"	2598	1342	33.6	2624	1208	31	32.3
no.4	1290	52	1.3	1173	35	0.9	1.1
no.8	39	13	0.3	26	9	0.2	0.3
no.16	5	8	0.2	3	6	0.2	0.2
Pan	8	—	—	6	—	—	—

ตารางที่ 4.4 แสดงการแยกวัสดุมวลรวม Bin 4 ด้วยตะแกรงร่อน

SIEVE ANALYSIS OF AGGREGATE

Material HOT BIN 4

Source Plant

KHON KAEN HIGHWAY				STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sieve size	first trial			second trial			Average percent passing
	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	
	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	
3/4"	—	3478	100	—	3514	100	100
1/2"	2778	703	20.2	2717	797	22.7	21.5
3/8"	683	20	0.6	770	27	0.8	0.7
no.4	12	8	0.2	20	7	0.2	0.2
no.8	4	4	0.1	3	4	0.1	0.1
Pan	4	—	—	4	—	—	—

ตารางที่ 4.5 แสดงการแยกวัสดุปูนขาวด้วยตะแกรงร่อน

SIEVE ANALYSIS OF LIME

ตารางที่ 5 แสดงการแยกวัสดุมวลรวม (ปูนขาว) ด้วยตะแกรงร่อน

KHON KAEN HIGHWAY				STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sieve size	first trial			second trial			Average percent passing
	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	Ret. ea.	Pass. ea.	Total(%)	
	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	sieve(gm.)	sieve(gm.)	passing	
no.100	—	500	100	—	500	100	100
no.200	66	432	86.4	68.9	431.1	86.22	86.31

ตารางที่ 4.6 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมหยาบ

KHON KAEN HIGHWAY		STRUCTURAL ENGINEERING 1993	
Sample No.	Weight of bottle (Specific Gravity) +Water (g)	Temperature (c)	
1	730.8	62	
2	732.2	57	
3	733.2	53	
4	734	49	
5	734.8	47	
6	737	33	
7	737.8	27	

ตารางที่ 4.7 การหาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง

KHON KAEN HIGHWAY		STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sample No.	Type of Cement	Weight of Sample กรัม	Volume use Instead of กรัม/ล.บ.ช.ม	Density of Cement กรัม/ล.บ.ช.ม	Specific Gravity of Cement
1	Portland Cement Type 1	64	20.4	1	3.14

ตารางที่ 4.8 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุหาลานและเตียงและกันฝุ่น

KHON KAEN HIGHWAY					STRUCTURAL ENGINEERING 1993				
Sample No.	Weight of sample in oven-dry condition (gm)	Weight of sample in saturated surface-dry condition (gm)	Test Temperature (c)	Water of specific gravity (GT)	Weight of bottle (Specific Gravity) + Material + Water (gm)	Specific Gravity	Average (Specific Gravity)	Average (Specific Gravity) at 30 c	
Lime	99.5		60	0.983	791.6	2.506			
			47	0.989	786.3	2.639	2.583	2.566	
			33	0.995	798.4	2.605			
Hot bin 1	227.7		37	0.993	879.3	2.663			
passing			36	0.994	877.5	2.688			
no.200			35	0.994	878.9	2.626	2.659	2.65	
Hot bin 1	485.1	490.1	48	0.989	1042.6	2.745			
retained			38	0.993	1044.2	2.741			
no.200			24	0.997	1045.6	2.721	2.736	2.729	
Hot bin 2	473.5	483.1	55	0.986	1034.9	2.616			
passing			49	0.988	1036.7	2.62			
no.4			37	0.993	1036.4	2.592	2.609	2.592	

ค่าความถ่วงจำเพาะ ของวัสดุมวลรวมที่ทำได้นี้ จะนำมาวิเคราะห์หาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมผสมผสาน ตามอัตราส่วนของขนาดไล่เรียงของมวลรวมที่ใช้ในการออกแบบแอสฟัลท์คอนกรีต

4.1.3 ผลการทดสอบหาค่าความสึกหรอ เป็นการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion Testing Machine มวลรวมที่นำมาใช้ทดสอบต้องไม่เล็กกว่าตะแกรง เบอร์ 8 ตารางที่ 4.9 แสดงค่าสึกหรอมีค่าเท่ากับ 26.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงสำหรับวัสดุชั้นผิวทาง ซึ่งต้องไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.9 การทดสอบหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม

Abrasion Test of Coarse Aggregate By Los Angeles Machine			
Material Cold BIN 3/4"			
Source Plant	Road 23 ทางเลี่ยงเมืองบึงบอ (km.39+600RT)		
Grading B	Number of revolutions 500		
Number of Abrasive charger 11	Weight of charger 4560 gm.		
KHON KAEN HIGHWAY		STRUCTURAL ENGINEERING 1993	
Sieve Size		Accumulative	
passing	retained	Weight of sample	
19	12.5	2500	
12.5	9.5	2500	
Original weight of sample (W1)		5000	gm.
Weight of sample (W2)		3695	gm.
Loss (W1-W2)		1305	gm.
Percentage of wear $((W1 - W2)/W1) \times 100$		26.1	%

4.1.4 ผลการทดสอบค่าความทนทาน สำหรับมวลรวมละเอียด ตัวอย่างที่นำมาทดสอบต้องผ่านตะแกรงขนาด $3/8$ นิ้ว และมวลรวมหยาบ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบต้องประกอบด้วยวัสดุที่คัดส่วนละเอียดออกไปแล้ว (ผ่านเบอร์ 4) ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความทนทานของวัสดุมวลรวมละเอียดและหยาบมีค่าเท่ากับ 3.82 และ 0.49 เบอร์เซนส์ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงโดยส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ไม่เกินร้อยละ 9

4.1.5 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความแบน เป็นวิธีการหาค่าความแบนของวัสดุมวลรวมหยาบ โดยหาน้ำหนักของวัสดุที่มีความหนาของด้านแบนน้อยกว่า $3/5$ เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้นดังตารางที่ 4.11

4.1.6 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีความยาว เป็นวิธีการหาค่าดัชนีความยาวของวัสดุมวลรวมหยาบ โดยหาน้ำหนักของวัสดุที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่า ของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้น

4.1.7 ผลการทดสอบหาค่าทรายสมบูรณ์ เป็นการหาฝุ่นหรือวัสดุประเภทดินเหนียว ที่ผสมอยู่ในวัสดุมวลรวมละเอียด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.12 ค่าทรายสมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 80 เบอร์เซนส์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนดไว้ว่าต้องไม่น้อยกว่า 50 เบอร์เซนส์

ตารางที่ 4.10 การทดสอบความทนทานของวัสดุมวลและใยและพยาง

KHON KAEN HIGHWAY				STRUCTURAL ENGINEERING 1993				
Sample	Sieve size		Sample of percent retained (gm.)	Weight of Sample before test (gm.)	Weight of Sample after test (gm.)	Weight of Sample lost (gm.)	Sample of percent lost to compare with weight Sample before test	Average Adjusted percent Weight of Sample lost
	Pass. ea. sieve (gm.)	Ret. ea. sieve (gm.)						
fined Aggregate	No.100	—	22.3	—	—	—	—	—
	No.50	No.100	7.4	—	—	—	—	—
	No.30	No.50	11.1	100	95.2	4.8	4.8	0.53
	No.16	No.30	23.7	100	94.3	5.7	5.7	1.35
	No.8	No.16	20	100	93.7	6.3	6.3	1.26
	No.4	No.8	15.5	100	95.6	4.4	4.4	0.68
Total			100	400	—	—	—	3.82
Coarse Aggregate	3/4"	3/8"	95.6	1000	995.4	4.6	0.46	
	3/8"	No.4	4.4	300	296.7	3.3	1.1	
Total			100	1300	—	—	—	0.49

ตารางที่ 4.11 การทดสอบค่าดัชนีความแบนของวัสดุมวลรวมหยาบ

ตารางนี้ความแบน (Flakiness Index)

Material HOT BIN 2

Source Plant Road 23 ทางเลี่ยงเมืองบารบือ

KHON KAEN HIGHWAY			STRUCTURAL ENGINEERING 1993		
Sive size	Width of	Weight	Weight	Total	Flakiness Index
U.S.Standard	Slot sive	Retained	Passing	Weight	$((Y/(X+Y))*100$
Square Opening	(m.m.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	% (Percent)
(m.m.)		X	Y	X+Y	
3/8"-#4		761	761	1522	50
TOTAL		761	761	1522	50

Material HOT BIN 3

Source Plant Road 23 ทางเลี่ยงเมืองบารบือ

KHON KAEN HIGHWAY			STRUCTURAL ENGINEERING 1993		
Sive size	Width of	Weight	Weight	Total	Flakiness Index =
U.S.Standard	Slot sive	Retained	Passing	Weight	$((Y/(X+Y))*100$
Square Opening	(m.m.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	% (Percent)
(m.m.)		X	Y	X+Y	
3/4"-1/2"		42	18	60	30
1/2"-3/8"		1689	909	2598	34.99
3/8"-#4		826	464	1290	35.97
TOTAL		2557	1391	3948	35.23

Material HOT BIN 4

Source Plant Road 23 ทางเลี่ยงเมืองบารบือ

KHON KAEN HIGHWAY			STRUCTURAL ENGINEERING 1993		
Sive size	Width of	Weight	Weight	Total	Flakiness Index =
U.S.Standard	Slot sive	Retained	Passing	Weight	$((Y/(X+Y))*100$
Square Opening	(m.m.)	(gm.)	(gm.)	(gm.)	% (Percent)
(m.m.)		X	Y	X+Y	
3/4"-1/2"		1930	845	2775	30.45
1/2"-3/8"		482	201	683	29.43
3/8"-#4		9	3	12	25
TOTAL		2421	1049	3470	30.23

ตารางที่ 4.12 การทดสอบหาค่าทรายสมมูลย์

Sand Equivalent Test

Material HOT BIN 1

Source Plant Road 23 ทางเลี่ยงเมืองบารบ่อ

KHON KAEN HIGHWAY				STRUCTURAL ENGINEERING 1993
Sample No.	Description of Sample	Sand Reading	Clay Reading	S.E. = (Sand Reading/Clay Reading)*100
1	hot bin 1	3.5	4.5	78
2	hot bin 1	3.8	4.7	81
Average Percent Sand Equivalent				80

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

4.2.1 ผลการจัดเรียงขนาดของมวลรวมแต่ละจัดให้มีการเรียงขนาดใกล้เคียงกับขีดจำกัดของกรมทางหลวงดังแสดงใน ตารางที่ 2.2 การเรียงขนาดแต่ละ เป็นแบบ Binder Course เป็นส่วนผสมที่มีการเรียงขนาดแน่น สำหรับใช้ในงานผิวทาง และใช้วิธีทดสอบทำ ในการผสมมวลรวมแต่ละ ตารางที่ 4.13 แสดงขนาดของวัสดุมวลรวม ที่นำมาใช้ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต และรูปที่ 4.1 แสดงการเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมซึ่งอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ขนาดใหญ่ที่สุดของวัสดุมวลรวมที่ใช้มีขนาด 3/4 นิ้ว อัตราส่วนของมวลรวมนี้จะนำไปใช้ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีตต่อไป

ตารางที่ 4.13 แสดงขนาดของวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้สำหรับส่วนผสม
แอสฟัลท์คอนกรีต

Sieve	Lime/ Cement	% Passing						Tolerant Limit
		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Comb'd.	Desired	
1"								
3/4"				100	100	100	100	100
1/2"				98.4	21.5	91.9	87-97	80-100
3/8"			100	32.3	0.7	76.6	72-82	
#4		100	32.7	1.1	0.2	53.4	48-58	44-74
#8		85.9	1.6	0.3	0.1	39.2	34-44	28-58
#16		62.3	0.4	0.2		28.1	24-32	
#30		41.4	0.3			18.7	15-23	
#50		27.5				12.4	8-16	5-21
#100		18.6				8.4	5-11	
#200		12.3				5.5	4-8	2-10

อัตราส่วนของมวลรวม (โดยน้ำหนัก) : Bin 1 : Bin 2 : Bin 3 : Bin 4
= 45 : 25 : 20 : 10

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรด 60-70

4.3.1 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่อยู่ในสภาพที่กึ่งแข็ง เป็นอัตราส่วนของมวลของวัสดุที่มีปริมาตรตามกำหนด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน และอุณหภูมิเดียวกัน ตารางที่ 4.14 แสดงการหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของแอสฟัลท์ซีเมนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นใกล้เคียงกันทั้งหมด ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ของแอสฟัลท์ทั่ว ๆ ไป ระหว่าง 0.95 - 1.05 และแอสฟัลท์ที่กึ่งแข็งที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 ค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้นี้จะนำไปใช้ออกแบบแอสฟัลท์คอนกรีตโดยใช้การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาตรของแอสฟัลท์ประสิทธิภาพ (Percent Total Volume of Effective Asphalt)

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของ
แอสฟัลท์ซีเมนต์

ลำดับที่	1	2	3
ขวด ถ.พ. เบอร์	196	196	196
อุณหภูมิ (C)	25	25	25
น้ำหนักขวด ถ.พ. (กรัม) , A	33.52	33.51	33.52
น้ำหนักขวด ถ.พ. + น้ำ (กรัม) , B	66.86	66.85	66.84
น้ำหนักขวด ถ.พ. + แอสฟัลท์ (กรัม) , C	55.65	57.00	58.31
น้ำหนักขวด ถ.พ. + น้ำ + แอสฟัลท์ (กรัม) , D	67.22	67.29	67.62
ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์ $= (C-A) / [B-A - (D-C)^2]$	1.02	1.02	1.02
ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม/ซม. ³) , w_w	1.00	1.00	1.00
ความหนาแน่นของแอสฟัลท์ = ถ.พ. * w_w	1.02	1.02	1.02

4.3.2 ผลการทดสอบหาค่าการทะลวง ค่าการทะลวงหมายถึง ระยะทางที่เข็มมาตรฐาน ซึ่งถูกกดด้วยน้ำหนัก 100 กรัม จมลงในแอสฟัลท์ในเวลา 5 วินาที ในขณะที่แอสฟัลท์มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยจัดระยะทางที่เข็มจมในหน่วยของ 0.1 มิลลิเมตร ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบค่าการทะลวงของแอสฟัลท์ซีเมนต์ซึ่งมีค่าการทะลวงเท่ากับ 69 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดมาตรฐานทั่วไปคือ อยู่ระหว่าง 60-70

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการหาค่าการทะลวง (Penetration)
ของแอสฟัลท์ซีเมนต์

KHON KAEN HIGHWAY			STRUCTURAL ENGINEERING 1993		
Sample	Penetration				
	1	2	3	Average	Temperature (C)
AC	69	69	69	69	25

4.3.3 ผลการทดสอบหาค่าความหนืดแบบคิเนแมติก ค่าความหนืดแบบคิเนแมติกแสดงคุณสมบัติการไหล วิธีนี้ใช้หาค่าความข้นเหลวของแอสฟัลท์ซีเมนต์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งในการตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุที่ขนส่งจากแหล่งผลิต ความหนืดแบบคิเนแมติกเป็นอัตราส่วนระหว่างความหนืดต่อความหนาแน่นของของเหลว เป็นการวัดความต้านทานการไหลของของเหลวภายใต้แรงโน้มถ่วง ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบ

ค่าความหนืดแบบคิเนแมติกของแอสฟัลท์ซีเมนต์ ค่าความหนืดของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของ ASPHALT INSTITUTE ซึ่งกำหนดค่าไว้ไม่น้อยกว่า 200 เซนติสโตค (cst) ซึ่งสามารถดำเนินการไหลได้เมื่อนำไปใช้เป็นชั้นผิวทางแล้ว

ตารางที่ 4.16 แสดงผลค่าความหนืดแบบคิเนแมติกของแอสฟัลท์ซีเมนต์

KHON KAEN HIGHWAY			STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
อุณหภูมิ (C)	Asphalt Cement					
	60	80	100	120	135	140
ค่าคงที่ของการเปรียบเทียบ ของผลลดแก้ค่าความหนืด (C),cst/s	10	10	1.0	0.3	0.3	0.1
เวลาที่ใช้ในการไหล (t),s	10440.5	1403.4	3403	2910	1316.7	2200
ความหนืดแบบคิเนแมติก cst = c t	104405	14034	3403	873	395	220

4.3.4 ผลการทดสอบหาจุดความไหม เป็นวิธีใช้วัสดุผลิตภัณฑ์เมื่อได้รับความร้อน หรือถูกเปลวไฟเผาได้สภาวะควบคุมของห้องทดลอง ตารางที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบหาจุดความไหม พบว่าแอสฟัลท์ซีเมนต์มีจุดความไหมเฉลี่ยเท่ากับ 330 องศาเซลเซียส จุดความไหมของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของ ASPHALT INSTITUTE มีจุดความไหมไม่ต่ำกว่า 232 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.17 แสดงผลจุดความไหมของแอสฟัลท์ซีเมนต์

KHON KAEN HIGHWAY		STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sample	Test No.				Average Temp. (c)
	1	2	3	4	
Asphalt Cement	330	330	330	330	330

4.3.5 ผลการทดสอบการละลาย ของวัสดุแอสฟัลท์ในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Solubility in CCl_4 (C_2HCl_4)) วิธีการนี้เป็นการหาการละลายของวัสดุ แอสฟัลท์ ซึ่งอาจมีสารอื่นเจือปนอยู่เล็กน้อยหรือไม่เลยในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบการละลายของวัสดุแอสฟัลท์ซีเมนต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของสารที่ละลายมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของ ASPHALT INSTITUTE คือมีค่าไม่ต่ำกว่า 99.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบการละลายของวัสดุแอสฟัลท์ซีเมนต์
และแอสฟัลท์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพ

ตัวอย่าง	แอสฟัลท์ซีเมนต์ (AC)
น้ำหนักขวดและตัวอย่าง (กรัม)	85.950
น้ำหนักขวด (กรัม)	83.935
น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	2.015
น้ำหนักถ้วยและวัตถุที่ไม่ละลายใน C_2HCL_3 (กรัม)	28.034
น้ำหนักวัตถุที่ไม่ละลายใน C_2HCL_3 (กรัม)	0.005
สารที่ไม่ละลายใน C_2HCL_3 (%)	0.248
สารที่ละลายใน C_2HCL_3 (%)	99.752

4.3.6 ผลการทดสอบหาค่าการบีดตัว วิธีการทดสอบนี้ใช้วัสดุคุณสมบัติรับแรงดึงของแอสฟัลท์ซีเมนต์ และใช้วิธีการบีดตัว ตามข้อกำหนดตารางที่ 4.19 แสดงผลการทดสอบค่าการบีดตัว พบว่าตัวอย่างที่กำหนดไว้ของ ASPHALT INSTITUTE มีค่าไม่น้อยกว่า 100 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการหาค่าการยึดตัวของแอสฟัลท์ซีเมนต์

KHON KAEN HIGHWAY		STRUCTURAL ENGINEERING 1993		
Sample	Ductility (cm.)			
	1	2	3	
Asphalt Cement	>100	>100	>100	

4.4 ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์โดยวิธีมาร์แชลล์

ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ดังตารางที่ 4.20

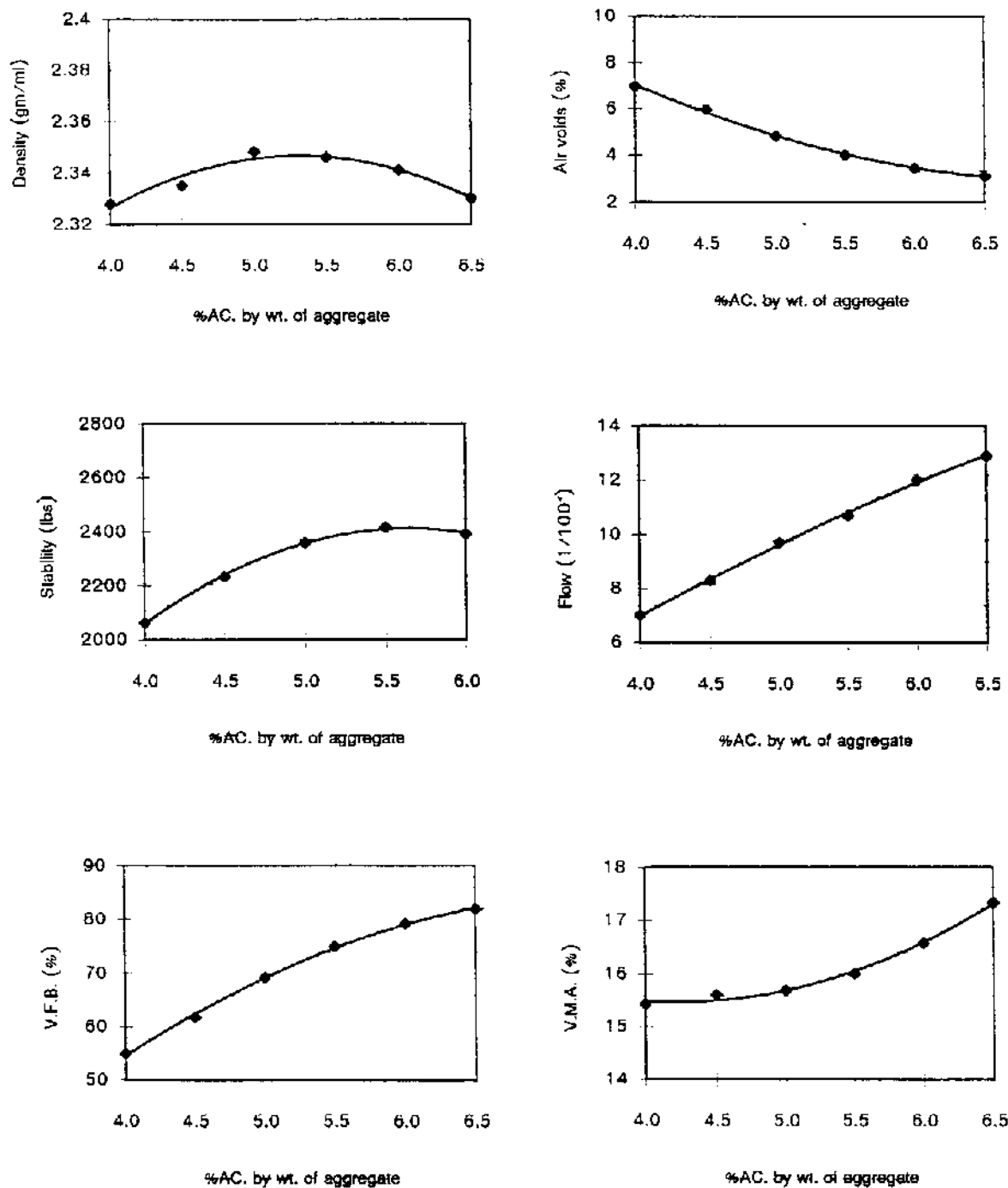
4.4.1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่น จากรูปที่ 4.2 ความแน่นของตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีต ที่บดอัดแล้วมีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีความแน่นสูงสุด หลังจากนั้นเมื่อเริ่มลดลง ความปริมาณแอสฟัลท์ที่เพิ่มขึ้น จากเส้นกราฟความแน่นกับปริมาณแอสฟัลท์ในช่วงแรกการเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรง โดยที่ปริมาณแอสฟัลท์ที่เพิ่มเข้าไปทำหน้าที่เคลือบเม็ดหิน และเข้าไปแทนที่ในช่องว่างระหว่างเม็ดหิน (VMA) มากขึ้น ทำให้คอนกรีตแอสฟัลท์มีความแน่นสูงขึ้น และเมื่อปริมาณของแอสฟัลท์เพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งปริมาณของแอสฟัลท์มากกว่าช่องว่างระหว่างเม็ดหิน เป็นเหตุทำให้เม็ดหินคลุกแยกห่างออกจากกัน และทำให้ปริมาณของส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น อันเป็นสาเหตุให้ความแน่นลดลง จากกราฟความแน่นสูงสุด ปริมาณแอสฟัลท์เท่ากับ 5.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมวลรวม

4.4.2 กราฟแสดงค่าเสถียรภาพ จากรูปที่ 4.2 ค่าเสถียรภาพและความแน่นของตัวอย่าง มีความสัมพันธ์กันโดยตรงเมื่อค่าความแน่นเพิ่ม ค่าเสถียรภาพก็เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าความแน่นลดลงค่าเสถียรภาพก็ลดลงตามไปด้วย จากกราฟค่าเสถียรภาพสูงสุด มีปริมาณแอสฟัลท์เท่ากับ 5.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมวลรวม

ตารางที่ 4.20 แสดงการออกแบบส่วนผสมมวลสารเคลือบผิวที่คำนวณได้ (ต่อ)

Mix Proportion 45:25:20:10										By Weight				Pan. Grade AC 80-70				Sp. Gr. AC (Gac) 1.02			
Composition, number of blows each and 75										Avg. Sp. Gr. App and Filter (Gagl) 2.647				Butumen Absorption (x) 0.30 percent							
% AC by Wgt of Agg	b	% AC by Wgt of Max	c	% Lf AC by Wgt of Max	d	Spec Hgt in	Weight - Grams		in water	Bulk Vol. ml f-g	Bulk Den. g/ml a/h	Volume - % Total		VMA %	Air Void % i-j	VFB %	Stability - Lbs		Flow 1/100'		
							in air	sat. wt. dry				AC c/Gac	Agg (100-b) Gag				MEAS.	Actual			
5.50		5.21		5.22			1259.60	1260.20	g	537.0	2.346						2530.00	2416.50	10.5		
							1259.80	1260.30		537.0	2.346						2531.50	2418.00	11.0		
							1259.70	1260.00		537.0	2.346						2532.00	2415.00	11.5		
							1259.50	1260.10		537.1	2.345						2533.00	2415.90	10.5		
							1259.80	1260.20		536.9	2.346						2532.00	2415.00	10.0		
Average										Average		11.995	84.007	15.603	3.998	75.004		2416	10.7		
6.00		5.66		5.72			1263.50	1263.80		539.5	2.342						2495.50	2385.60	12.0		
							1264.00	1264.20		540.1	2.340						2495.00	2390.00	11.5		
							1265.20	1265.50		541.6	2.336						2496.00	2395.00	12.5		
							1263.60	1264.00		539.8	2.341						2495.90	2396.60	11.5		
							1262.50	1262.80		538.6	2.344						2497.00	2396.50	12.5		
Average										Average		13.119	60.424	18.576	3.458	79.140		2393	12.0		
6.50		6.10		6.22			1269.20	1269.50		545.5	2.327						2445.00	2345.80	13.0		
							1268.50	1268.70		543.6	2.334						2450.00	2345.20	12.5		
							1268.10	1268.30		544.4	2.331						2449.50	2350.00	12.5		
							1268.80	1269.00		545.0	2.328						2450.10	2348.50	13.0		
							1269.20	1269.40		544.4	2.331						2449.60	2349.50	13.5		
Average										Average		14.206	82.561	17.339	3.134	81.928		2349	12.9		

4.4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ ช่องว่างอากาศในคอนกรีตแอสฟัลท์ มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับความแน่นและสามารถคำนวณได้จากค่าความแน่น โดยตรง จากกราฟเมื่อเฉลี่ยช่องว่างอากาศเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ (ข้อกำหนด 3-5 เปอร์เซ็นต์) ได้ปริมาณแอสฟัลท์เท่ากับ 5.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์
แบบมาร์แชลล์

จากปริมาณแอสฟัลท์ที่พิจารณาจากกราฟทั้ง 3 มาหาค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณแอสฟัลท์เหมาะสมสูงสุดได้เท่ากับ 5.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมวลรวม จากตารางที่ 4.21 พบว่าปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสมสูงสุดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในเกณฑ์กำหนดของ ASPHALT INSTITUTE ตามตารางที่ 2.2 และ 2.3 เมื่อเป็นวัสดุชั้นผิวทางมีปริมาณการจราจรหนาแน่น และขนาดโค่งสูงสุดของวัสดุรวมเท่ากับ 3/4 นิ้ว

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบแอสฟัลท์ที่เหมาะสมสูงสุด
กับคุณสมบัติคอนกรีตแอสฟัลท์

KHON KAEN HIGHWAY	STRUCTURAL ENGINEERING 1993
ปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสมสูงสุด (เปอร์เซ็นต์) คุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีต	5
1. ความหนาแน่น (Density), กรัม/ลบ.ซม.	2.348
2. ช่องว่างอากาศ (Air Void), เปอร์เซ็นต์	4.8
3. เสถียรภาพ (Stability), ปอนด์	2360
4. การเคลื่อนตัว (Flow), 1/100"	9.7
5. ช่องว่างที่ถูกแทนที่โดยแอสฟัลท์ (Voids Filled with Asphalt), เปอร์เซ็นต์	69.22
6. ช่องว่างระหว่างมวลรวม (VMA), เปอร์เซ็นต์	15.68

4.4.4 การวิเคราะห์เตรียมตัวอย่างคอนกรีตแอสฟัลท์แบมมาร์แชลล์ โดยมีส่วนผสมของปูนขาวปริมาณตั้งแต่ 1.0 - 3.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วทดสอบหาคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ผสมปูนขาว และซีเมนต์ ที่ปริมาณต่าง ๆ

KHON KAEN HIGHWAY			STRUCTURAL ENGINEERING 1993			
Sample	Stability (ปอนด์), Lbs	Flow 1/100"	Air Voids (%)	Bulk Density gm/ml	V.F.B (%)	V.M.A. (%)
AC (5%)	2360	9.7	4.83	2.348	69.22	15.68
AC+0.5% Lime	2396	10.6	7.46	2.318	59.15	18.25
AC+0.25% Cement	2667	9.2	0.55	2.453	95.40	11.88
AC+1.0% Lime	2412	11.6	6.63	2.331	62.07	17.49
AC+0.5% Cement	2870	10.5	0.39	2.457	96.72	11.74
AC+1.5% Lime	2463	12.4	5.15	2.342	67.90	16.06
AC+1.0% Cement	3280	13	0.12	2.460	98.97	11.49
AC+2.0% Lime	2557	13.4	4.33	2.380	71.74	15.32
AC+1.5% Cement	3183	13.8	0.07	2.481	99.35	11.45
AC+2.5% Lime	2615	14.4	3.31	2.390	77.08	14.44
AC+2.0% Cement	2987	14.7	0.03	2.482	99.77	11.40
AC+3.0% Lime	2592	15.2	2.54	2.404	81.48	13.74
AC+2.5% Cement	2947	15.5	0.02	2.463	99.84	11.40
AC+3.5% Lime	2455	16	1.99	2.418	84.98	13.25

จากตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบ คุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

1. เสถียรภาพ (Stability) จากผลการทดสอบเสถียรภาพเห็นได้อย่างเด่นชัดว่า แอสฟัลท์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวปริมาณ 2.50 เปอร์เซ็นต์ และซีเมนต์ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของมวลรวม มีค่าเสถียรภาพสูงสุด และที่ปริมาณปูนขาวมากกว่า 2.50 เปอร์เซ็นต์ ค่าเสถียรภาพมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณของปูนขาวเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าเสถียรภาพมีแนวโน้มลดลง

เมื่อปริมาณของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เสถียรภาพของปูนซีเมนต์ประเภท 1 ที่สูงสุด ต่อแอสฟัลท์คอนกรีตธรรมดาจะมากกว่า 38.98 เปอร์เซ็นต์ และเสถียรภาพของปูนซีเมนต์ประเภท 1 ที่สูงสุด ต่อแอสฟัลท์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาว จะมากกว่า 25.43 เปอร์เซ็นต์

จากค่าเสถียรภาพที่ได้ จะสันนิษฐานได้ว่า ปูนซีเมนต์ที่ผสมเข้าไปในนั้นจะทำหน้าที่อุดช่องว่างอากาศแทนฝุ่นและเเย็ดเป็นส่วนมาก และสารประกอบของปูนซีเมนต์ที่ผสมเข้าไปในนั้นไม่ได้ทำปฏิกิริยากับแอสฟัลท์ซีเมนต์และวัสดุอื่น ๆ แต่อย่างใด หรือมีพฤติกรรมด้านสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของการบดอัดตามข้อกำหนดที่ $150 \pm 5^{\circ}\text{C}$

2. การเคลื่อนตัว (Flow) จากผลการทดสอบการเคลื่อนตัว เห็นได้อย่างเด่นชัดว่าแอสฟัลท์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์และปูนขาวที่ปริมาณต่าง ๆ กัน และแอสฟัลท์คอนกรีตธรรมดามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10 - 0.16 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ASPHALT INSTITUTE และมาตรฐานของกรมทางหลวง

3. ช่องว่างอากาศ (Air voids) จากผลการคำนวณ เห็นได้อย่างเด่นชัดว่าแอสฟัลท์คอนกรีตธรรมดามีค่าช่องว่างอากาศสูงกว่า คอนกรีตแอสฟัลท์ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์และปูนขาว จะเห็นได้ว่าช่องว่างอากาศจะลดลงตามปริมาณ ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของปูนซีเมนต์และปูนขาว ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ASPHALT INSTITUTE และมาตรฐานของกรมทางหลวง คือ 3.10 - 6.5 เปอร์เซ็นต์

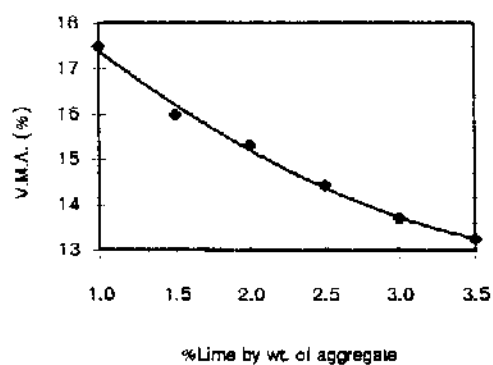
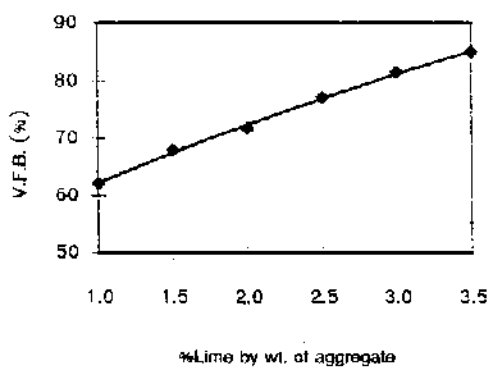
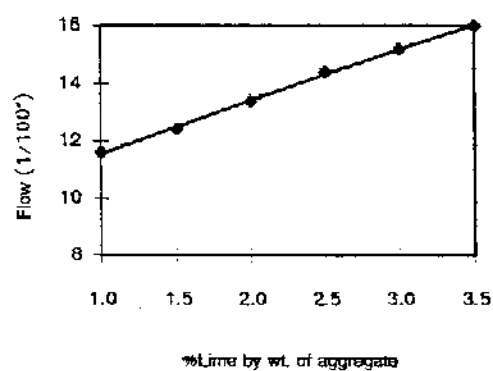
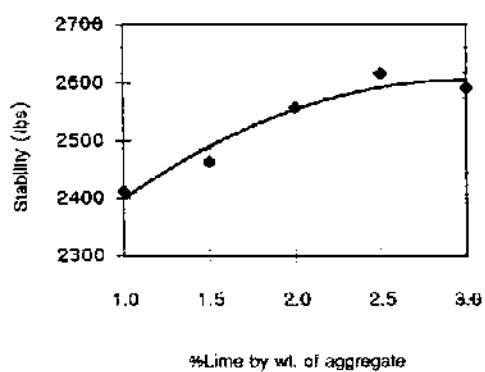
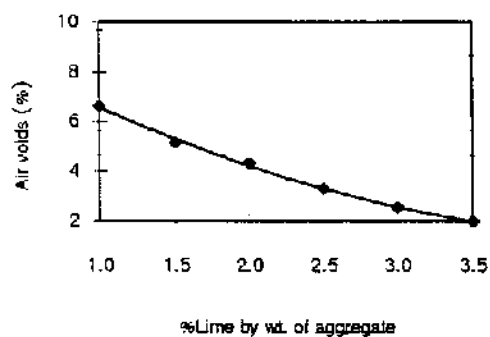
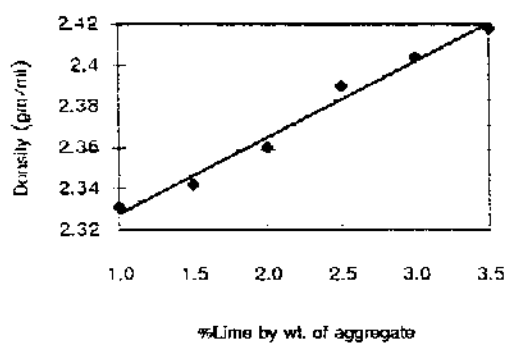
4. ความแน่น (Density) จากผลการคำนวณเห็นได้เด่นชัดว่าแอสฟัลท์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์มีความแน่นสูงกว่าแอสฟัลท์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาว และ แอสฟัลท์คอนกรีตธรรมดาทั้งหมด และมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของปูนซีเมนต์ ที่เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

5. เปอร์เซนต์ช่องว่างในมวลรวม (% V.M.A.) ผลจากการคำนวณเห็นได้อย่างเด่นชัดว่าคอนกรีตแอสฟัลท์ธรรมดาที่มีค่าเปอร์เซนต์ช่องว่างในมวลรวม สูงกว่าคอนกรีตแอสฟัลท์ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์และปูนขาว จะเห็นได้ว่าเปอร์เซนต์ช่องว่างในมวลรวมจะลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของปูนซีเมนต์ และปูนขาวซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 14.25 - 15.64 เปอร์เซนต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASPHALT INSTITUTE และมาตรฐานของกรมทางหลวง คือไม่ต่ำกว่า 13 เปอร์เซนต์

6. V.F.B.(Voids Filled with Bitumen) จากผลการคำนวณเห็นได้อย่างเด่นชัดว่า คอนกรีตแอสฟัลท์ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ มี V.F.B. สูงกว่าแอสฟัลท์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวและแอสฟัลท์ธรรมดาทั้งหมด และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ

ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ผสมปูนขาวโดยวิธีมาร์แชลล์ แสดงได้ในตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์
ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมปูนขาว



ตารางที่ 4.24 แสดงการออกแบบส่วนผสมมวลปริมาตรของวัสดุเบสและฟิลเลอร์ (ต่อ)

Pen Grade AC 50-70										Sp. Gr. AC (Gac) 1.02									
Avg Sp. Gr. Agg. and Filler (Gag) 2.647										Bitumen Absorption (x) 0.30 percent									
By Weight										Flow									
Compaction number of blows per inch 75																			
% AC by Wgt. of Agg.	% AC by Wgt. of Mix	% Bit. by Wgt. of Mix	Wgt. of Bit. by Wgt. of Mix	Wgt. of Agg. by Wgt. of Mix	Wgt. of Filler by Wgt. of Mix	Wgt. of Water by Wgt. of Mix	Wgt. of Air by Wgt. of Mix	Wgt. of Sol. by Wgt. of Mix	Wgt. of Dry by Wgt. of Mix	Bulk Vol. (in ³)	Bulk Den. (g/m ³)	Volume (in ³)	Volume (in ³)	VMA (%)	Air Void (%)	VFB (%)	Stability - Lbs. MEAS.	Stability - Lbs. Actual	Flow (1/100")
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
5.00	4.76	4.71	4.71	1263.80	1265.20	751.00	513.90	2.462	2.462	513.90	2.462	513.90	513.90	11.300	0.026	99.776	2060	2060	14.3
12.0%				1263.80	1265.10	751.00	513.90	2.462	2.462	513.90	2.462	513.90	513.90	11.300			2060	2060	14.3
15.0%				1263.80	1265.10	751.00	513.90	2.462	2.462	513.90	2.462	513.90	513.90	11.300			2060	2060	15.0
5.00	4.76	4.71	4.71	1264.70	1265.60	752.20	513.60	2.462	2.462	513.60	2.462	513.60	513.60	11.303	0.016	99.843	2040	2040	14.7
12.0%				1264.70	1265.50	752.40	513.50	2.463	2.463	513.50	2.463	513.50	513.50	11.303			2040	2040	15.5
15.0%				1264.70	1265.50	752.20	513.50	2.463	2.463	513.50	2.463	513.50	513.50	11.303			2040	2040	15.0
5.00	4.76	4.71	4.71	1265.50	1266.60	752.70	513.90	2.463	2.463	513.90	2.463	513.90	513.90	11.317	0.015	99.873	2060	2060	16.0
12.0%				1265.50	1266.70	752.90	514.00	2.463	2.463	514.00	2.463	514.00	514.00	11.317			2060	2060	16.0
15.0%				1265.50	1266.60	752.80	514.00	2.463	2.463	514.00	2.463	514.00	514.00	11.317			2060	2060	17.0
5.00	4.76	4.71	4.71	1266.40	1267.20	753.00	514.20	2.463	2.463	514.20	2.463	514.20	514.20	11.312	0.015	99.873	2047	2047	16.0
12.0%				1266.40	1267.30	753.20	514.10	2.464	2.464	514.10	2.464	514.10	514.10	11.312			2047	2047	15.6
15.0%				1266.40	1267.20	753.20	514.10	2.464	2.464	514.10	2.464	514.10	514.10	11.312			2047	2047	16.5
5.00	4.76	4.71	4.71	1267.70	1268.70	753.20	514.50	2.464	2.464	514.50	2.464	514.50	514.50	11.303	0.003	99.974	2050	2050	17.0
12.0%				1267.70	1268.70	753.20	514.50	2.464	2.464	514.50	2.464	514.50	514.50	11.303			2050	2050	17.0
15.0%				1267.70	1268.70	753.20	514.50	2.464	2.464	514.50	2.464	514.50	514.50	11.303			2050	2050	18.4

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์
ปรับปรุงคุณภาพโดยผสมปูนซีเมนต์

