

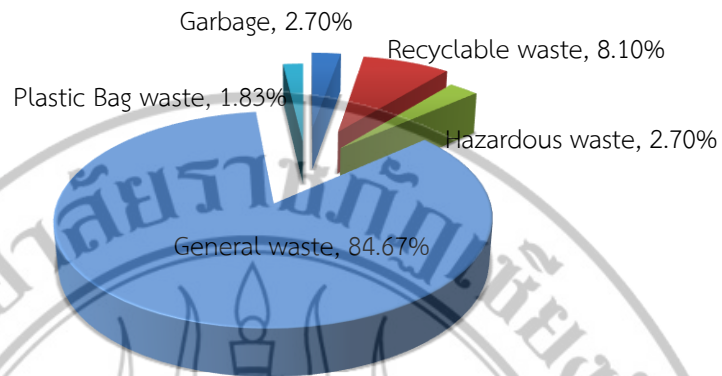
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากการศึกษางานวิจัยการใช้ขยะถุงพลาสติกเพิ่มความเสถียรภาพให้กับถนนยางพาราสามารถวิเคราะห์แยกตามประเด็นที่ศึกษาได้ดังนี้ 1) ปริมาณขยะถุงพลาสติกที่เกิดขึ้นในชุมชนในช่วงเวลาศึกษา 2) การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพาราเอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดา กับพาราเอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกในปริมาณขยะถุงพลาสติกที่เหมาะสมในการนำไปสร้างถนน และ 3) การสร้างถนนพาราเอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกต้นแบบในชุมชน

4.1 ปริมาณขยะถุงพลาสติกที่เกิดขึ้นในชุมชน

ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของขยะถุงพลาสติกที่เกิดขึ้นในชุมชนหมู่ที่ 5 บ้านทุ่ง ต.อ่าวนาง อ.เมืองกระบี่ จ.กระบี่ และพื้นที่ข้างเคียงในช่วงเดือนธันวาคม 2559 ถึง เดือนมีนาคม 2560 โดยการสังเกตแบบมีส่วนร่วม (Participant Observation) พบว่าชุมชนหมู่ที่ 5 บ้านทุ่ง มีประชากรอาศัยอยู่ประมาณ 1,776 คนหรือ 1,309 ครัวเรือน มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นประมาณ 3,000 กิโลกรัม/วัน (โดยเฉลี่ย 1.69 กก./คน/วัน หรือ 2.29 กก./ครัวเรือน/วัน) แยกออกเป็น ขยะอันตราย (Hazardous Waste) 2.7 % ขยะรีไซเคิลที่คัดแยก (Recyclable Waste) 8.1% ขยะสดที่นำไปใช้ประโยชน์ (Garbage) 2.7 % และขยะทั่วไป (General Waste) 86.5% ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ชุมชนหมู่ที่ 5 บ้านทุ่ง และพื้นที่ข้างเคียงได้ดำเนินการกำจัดขยะอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยมีการคัดแยกขยะรีไซเคิลเพื่อนำไปขายสร้างรายได้และนำขยะสดไปทำปุ๋ยหมักชีวภาพในชุมชนแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แต่ยังคงพบว่ายังมีปริมาณขยะถุงพลาสติกจำนวนหนึ่งยังไม่ได้ถูกคัดแยกออกจะปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณขยะถุงพลาสติกที่เกิดขึ้นในชุมชนจึงได้มีการรณรงค์ให้ชุมชนคัดแยกขยะที่ต้นทางโดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะประเภทถุงพลาสติกเพื่อนำมาทำเป็นถนนหรือลานกิจกรรมภายในชุมชน ทำให้ได้ปริมาณขยะถุงพลาสติกที่สามารถคัดแยกออกมาได้จำนวน 200 กิโลกรัม จากประชาชนที่สนใจเข้าร่วมกิจกรรม การคัดแยกขยะที่ต้นทาง จำนวน 40 ครัวเรือน หรือประมาณ 0.042 กิโลกรัม/ครัวเรือน/วัน คิดเป็นปริมาณ 1.83% ของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ปริมาณขยะถุงพลาสติกที่เกิดขึ้นในชุมชนในช่วง ธ.ค.59 – มี.ค.60



รูปที่ 4.2 น้ำหมักชีวภาพจากขยะสดและขยะรีไซเคิลในชุมชน



รูปที่ 4.3 การคัดแยกและรวบรวมขยะรีไซเคิลในชุมชน

4.2 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดากับพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก

วัสดุที่ใช้ในการสร้างก้อนตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาคูณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดา และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก มีหลักๆ 3 อย่างด้วยกันคือ ขยะถุงพลาสติก ยางพารา แอสฟัลต์ซีเมนต์ และวัสดุมวลคละ (หิน) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้



รูปที่ 4.4 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบก้อนตัวอย่างพาราแอสฟัลต์คอนกรีต

ขยะถุงพลาสติกที่ใช้เป็นขยะได้จากการคัดแยกเอาออกจากขยะมูลฝอยของชุมชนเป้าหมาย และพื้นที่ใกล้เคียงทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่เป็น ถุงหิ้ว (T-shirt Bag) มีเนื้อบางใสหรือขาวขุ่นผลิตจากโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความหนาแน่น 0.95-0.97 จุดหลอมเหลวประมาณ 130 °C ทำความสะอาดแล้วนำไปตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 0.30 – 0.50 เซนติเมตร เพื่อเตรียมไว้เป็นส่วนผสมเพิ่มในยางแอสฟัลติกคอนกรีตต่อไป

ยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นยางตามข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (ทล.ก.409/2556) ซึ่งเป็นยางที่เหมาะสมสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้นแบบประเทศไทย และเป็นยางที่ใช้ในงานทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย มีค่าเพนิเทรชัน (Penetration) ที่ 25 °C น้ำหนักกด 100 g. เวลา 5 วินาทีประมาณ 50 – 70 มีความแน่น Density at 25 °C, (g /cm³) เท่ากับ 1.02 มีจุดวาบไฟ Flash point (Cleveland open cup) > 220 °C และปริมาณที่ใช้ประมาณ 4.0 – 8.0 % โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมคละเรียงขนาด

วัสดุมวลรวมคละเรียงขนาดที่ใช้ในการออกแบบพาราแอสฟัลติกคอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกในงานวิจัยนี้ คือหินแกรนิตจากโรงโม่หินภายใน จ.กระบี่ ซึ่งเป็นวัสดุมวลรวมที่มีแหล่งอยู่ใกล้ชุมชนพื้นที่เป้าหมายที่สุด เพื่อง่ายในการลำเลียงจัดส่งมายังแปลงทดลองสาธิต ประกอบไปด้วย

Bin#1 Mineral Filler size 0.075 mm.	=	42 %
Bin#2 Fine Aggregate size 9.525 mm.	=	25 %
Bin#3 Coarse Aggregate size 12.70 mm	=	18 %
Bin#4 Coarse Aggregate size 19.05 mm	=	15 %

4.2.1 การออกแบบพาราแอสฟัลต์คอนกรีตแบบธรรมดา

การออกแบบพาราแอสฟัลต์คอนกรีตแบบธรรมดา (Job Mix Formula) เป็นการคละขนาดของวัสดุรวมต่อปริมาณยางแอสฟัลต์ที่เหมาะสม ตามมาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติสำหรับงานทาง (ทล.ม.416/2556) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.) แล้วนำไปทดสอบเสถียรภาพกับการไหล (Stability - Flow Test) และวิเคราะห์ความหนาแน่นกับช่องว่างภายในส่วนผสม (Density - Voids Analysis) ของส่วนผสมพาราแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้อุปกรณ์และวิธีการตามมาตรฐาน ASTM D 1559 หรือ AASHTO T 245 ซึ่งแนะนำการหาปริมาณพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ สูงสุดในส่วนผสม ให้พิจารณาจากกราฟแสดงผล 5 กราฟ ในรูปที่ 4.5 คือ Percent Air Void (AV), Marshall Stability, Flow Values, Density and Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) เป็นสำคัญ โดยจะหาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศกับเปอร์เซ็นต์พาราแอสฟัลต์เป็นหลัก กำหนดไว้ว่า ร้อยละของช่องว่างอากาศจะต้องอยู่ระหว่างร้อยละ 3 - 5 ดังนั้นเลือกใช้ที่ร้อยละ 4 ส่วนค่าของตัวแปรอื่น ๆ เช่น กราฟแสดงความคงตัว และกราฟแสดงความหนาแน่นจะพิจารณาที่ปริมาณยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์เดียวกัน ให้อยู่ในช่วงตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษารูปแบบพาราแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดาในตารางที่ 4.1 และ 4.2 และ กราฟรูปที่ 4.5 ประกอบ พบว่าค่าช่องว่างอากาศที่ 4 เปอร์เซ็นต์ จะได้ปริมาณยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้งานเท่ากับ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ได้ค่าความเสถียรภาพของพาราแอสฟัลต์คอนกรีต เท่ากับ 12.7 kN, ค่าการไหล เท่ากับ 3.17 mm., ค่า VMA เท่ากับ 15.0 และค่าความหนาแน่น เท่ากับ 2.469 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ ทล.ม.416/2556 ของกรมทางหลวงกำหนดไว้ ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษารูปแบบส่วนผสมพาราแอสฟัลต์คอนกรีต (Para AC)

Mix Proportion Filler : Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 = 42:25:18:15 (By Weight)						Pen.Grade AC 60/70			
Avg.Sp.Gr. Aggregate and Filler (Gag) = 2.765						Sp.Gr.AC (Gac) = 1.02			
Compaction ,number of blows each end = 75						Asphalt Absortion (x) = 0.25			
No.of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Wgt. of Toal Agg. (a)	4.50			5.00			5.50		
% AC by Wgt. of Mix (b)	4.31			4.76			5.21		
% Eff AC Wgt. of Mix (C) :b-x(100-b)/100	4.07			4.52			4.97		
Spec. Heigth mm. (d)	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5
Density Test									
Wt. in Air gm (e)	1246.5	1255.3	1252.6	1250.9	1254.0	1254.0	1261.9	1257.4	1255.8
Wt. Sat.Surface Dry gm (f)	1248.4	1257.3	1253.3	1251.6	1255.2	1254.8	1263.2	1258.0	1257.2
Wt in Water gm (g)	740.8	745.8	743.1	744.9	747.3	746.7	754.1	750.6	750.4
Bulk Volume gm/ml (h) ; f-g	507.6	511.5	510.2	506.7	507.9	508.1	509.1	507.4	506.8

Bulk Density gm/ml (i) : e/h	2.456	2.454	2.455	2.469	2.469	2.468	2.479	2.478	2.478
Average Density (l)	2.455			2.469			2.478		
Volds Analysis									
Volume AC % Total (j) : c * l / Gac	9.8			10.9			12.1		
Volume Agg. % Total (k) : 100-b)* l / Gag	85.0			85.0			85.0		
VMA % (l) ; 100 - k	15.0			15.0			15.0		
Air Voids % (m) ; l-j	5.2			4.1			2.9		
VFA % (n) ; 100.j/l	65.3			72.7			80.7		
Stability									
Means lbs	2790	2780	2740	2640	2800	2790	2820	2830	2780
Adjust lbs	2900	2780	2740	2750	2910	2900	2820	2940	2890
Average Stability lbs (N)	2810			2850			2880		
Flow Mean 1/100"	11	12	12	13	13	12	14	13	14
Average Flow 1/100" (0.25 mm)	12			13			14		

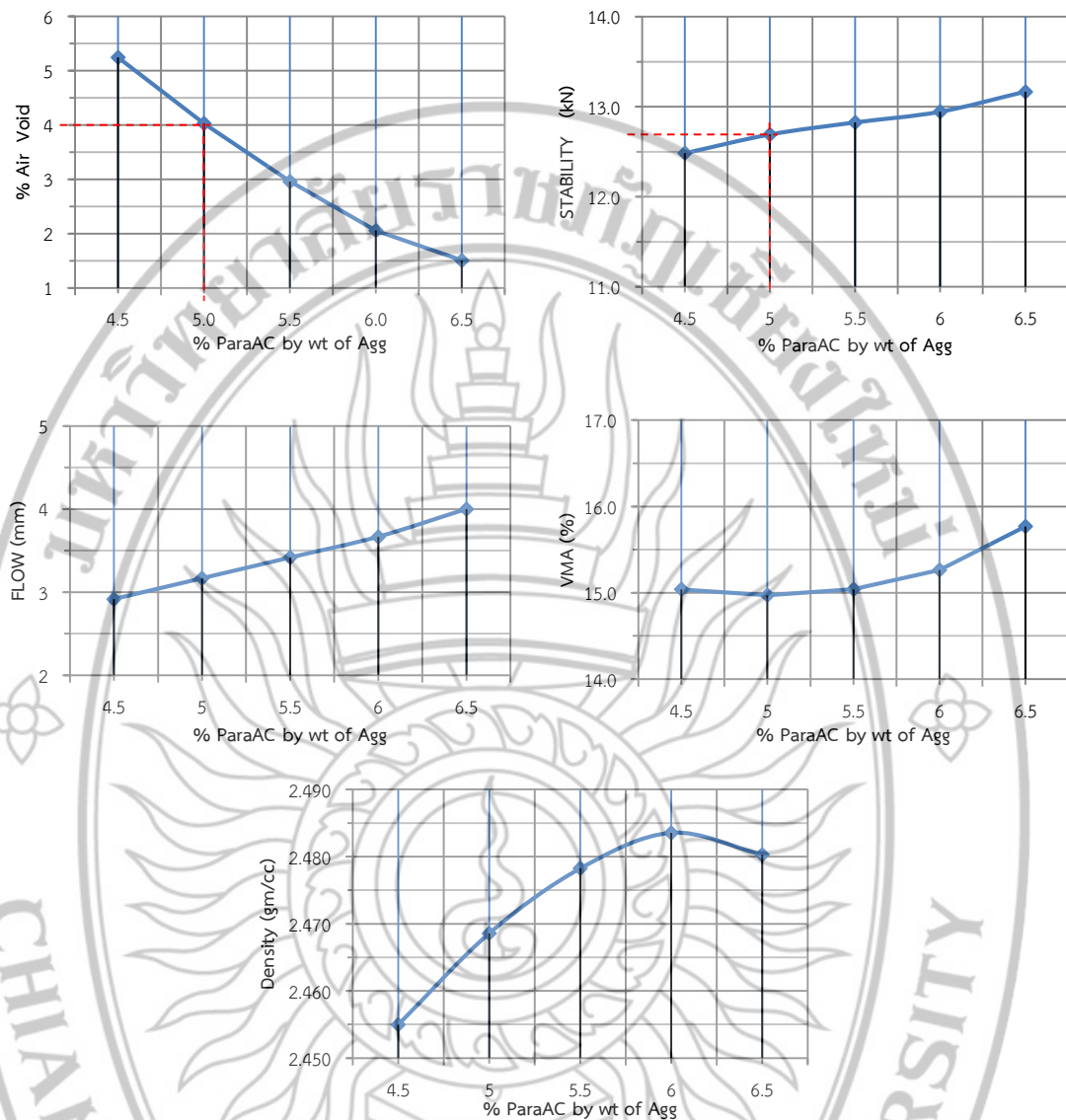
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาการออกแบบส่วนผสมพาราเอสฟัลต์คอนกรีต (Para AC) (ต่อ)

Mix Proportion Filler : Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4	= 42:25:18:15 (By Weight)						Pen.Grade AC 60/70			
Avg.Sp.Gr. Aggregate and Filler (Gag)	= 2.765						Sp.Gr.AC (Gac) =1.02			
Compaction ,number of blows each end	= 75						Asphalt Absortion (x) = 0.25			
No.of Sample	1	2	3	1	2	3				
% AC by Wgt. of Toal Agg. (a)	6.00			6.50						
% AC by Wgt. of Mix (b)	5.66			6.10						
% Eff AC Wgt. of Mix (C) :b-x(100-b)/100	5.42			5.87						
Spec. Heigth mm. (d)	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5				
Density Test										
Wt. in Air gm (e)	1253.0	1250.1	1247.3	1257.0	1268.0	1250.5				
Wt. Sat.Surface Dry gm (f)	1253.6	1251.0	1248.7	1258.3	1268.6	1251.6				
Wt in Water gm (g)	749.1	747.5	746.6	751.7	757.1	747.5				
Bulk Volume gm/ml (h) ; f-g	504.5	503.5	502.1	506.6	511.5	504.1				
Bulk Density gm/ml (i) : e/h	2.484	2.483	2.484	2.481	2.479	2.481				
Average Density (l)	2.484			2.480						
Volds Analysis										
Volume AC % Total (j) : c * l / Gac	13.2			14.3						

Volume Agg. % Total (k) : 100-b)* I / Gag	84.8			84.2					
VMA % (l) ; 100 - k	15.2			15.8					
Air Viods % (m) ; l-j	2.0			1.5					
VFA % (n) ; 100.j/l	86.8			90.5					
Stability									
Means lbs	2850	2800	2750	2870	2880	2900			
Adjust lbs	2960	2910	2860	2980	2880	3020			
Average Stability lbs (N)	2910			2960					
Flow Mean 1/100"	15	15	14	16	16	16			
Average Flow 1/100 in. (0.25 mm)	15			16					

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาการออกแบบส่วนผสมพาราแอสฟัลต์คอนกรีต (Para AC)

Sample Group	1	2	3	4	5
DENSITY	2.455	2.469	2.478	2.484	2.480
% Air Void	5.2	4.0	3.0	2.1	1.5
STABILITY (kN)	12.5	12.7	12.8	12.9	13.2
FLOW (mm.)	2.92	3.17	3.42	3.67	4.00
VMA (%)	15.0	15.0	15.0	15.3	15.8
% ParaAC by Wgt of Agg	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดา กับเปอร์เซ็นต์พาราแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของวัสดุรวม

ตารางที่ 4.3 ข้อกำหนดแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (ทล.-ม. 416/2556)

DH-S 416/2013 Wearing Course 9.5 mm. D = 25 – 35 mm.	Heavy Traffic	
	Surface & Base	
	Min.	Max.
Compaction (number of blows)	75	
Stability (kN)	> 9.8 kN	-
Flow (mm.)	2.25	4.25
Percent Air Voids	3%	5%

Density (gm / cc)	> 98% (Lab)
Percent Voids in Mineral Aggregate	> 15 (Maximum Aggregate Size 9.5 mm, AV =4.0)

4.2.2 การออกแบบพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก

นำเอาสัดส่วนของวัสดุรวมคละกับปริมาณยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ (5.0 % โดยน้ำหนัก) ที่ได้จากข้อที่ 4.2.1 มาออกแบบส่วนผสมสำหรับพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก เพื่อให้ได้พาราแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและถูกต้องตามข้อกำหนดของงาน (Job Mix Formula) โดยนำเอาขยะถุงพลาสติกตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 5 mm. มาผสมเพิ่มลงไปเ็นยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตในปริมาณ 0% 5% 10% 15% 20% และ 25% ควบคุมให้ปริมาณยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์คงที่ จากนั้นนำไปทดสอบในเครื่องมือของมาร์แชลล์เพื่อหาทดสอบหาค่าช่องอากาศว่าง , ความเสถียรภาพ, ค่าการไหล, ค่าช่องว่างระหว่างวัสดุรวม และ ค่าความหนาแน่น ได้ผลทดสอบดังนี้ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาออกแบบพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก (Para AC+PW)

Mix Proportion Filler : Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 = 42:25:18:15 (By Weight)							Pen.Grade AC 60/70		
Avg.Sp.Gr. Aggregate and Filler (Gag) = 2.765							Sp.Gr.AC (Gac) =1.02		
Compaction ,number of blows each end = 75							Asphalt Absortion (x) = 0.25		
% PW by Wgt. of Para AC	0% Plastic Waste			5% Plastic Waste			10% Plastic Waste		
No.of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Wgt. of Toal Agg. (a)	5.00			5.00			5.00		
% AC by Wgt. of Mix (b)	4.76			4.76			4.76		
% Eff AC Wgt. of Mix (C) :b-x(100-b)/100	4.52			4.52			4.52		
Spec. Heigth mm. (d)	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5
Density Test									
Wt. in Air gm (e)	1250.9	1254	1254	1249.8	1253.4	1254	1251.9	1256.3	1257
Wt. Sat.Surface Dry gm (f)	1251.6	1255.2	1254.8	1250	1254.8	1254.7	1253.5	1256.5	1257.5
Wt in Water gm (g)	744.9	747.3	746.7	741.6	745.6	744.6	742.7	743.7	744.1
Bulk Volume gm/ml (h) ; f-g	506.7	507.9	508.1	508.4	509.2	510.1	510.8	512.8	513.4

Bulk Density gm/ml (i) : e/h	2.469	2.469	2.468	2.458	2.462	2.458	2.451	2.450	2.448
Average Density (l)	2.469			2.459			2.450		
Voids Analysis									
Volume AC % Total (j) : c * l / Gac	10.9			10.9			10.9		
Volume Agg. % Total (k) : 100-b)* l / Gag	85.0			84.7			84.4		
VMA % (l) ; 100 - k	15.0			15.3			15.6		
Air Voids % (m) ; l-j	4.0			4.4			4.8		
VFA % (n) ; 100.j/l	73.1			71.3			69.5		
Stability									
Means lbs	2640	2800	2790	2900	2990	2940	3090	3050	3100
Adjust lbs	2750	2910	2900	3020	2990	2940	3090	3050	3100
Average Stability lbs (N)	2853			2983			3080		
Flow Mean 1/100"	13	13	12	14	13	14	15	15	14
Average Flow 1/100" (0.25 mm)	13			14			15		

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาก่อนแบบพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก (Para AC+PW) (ต่อ)

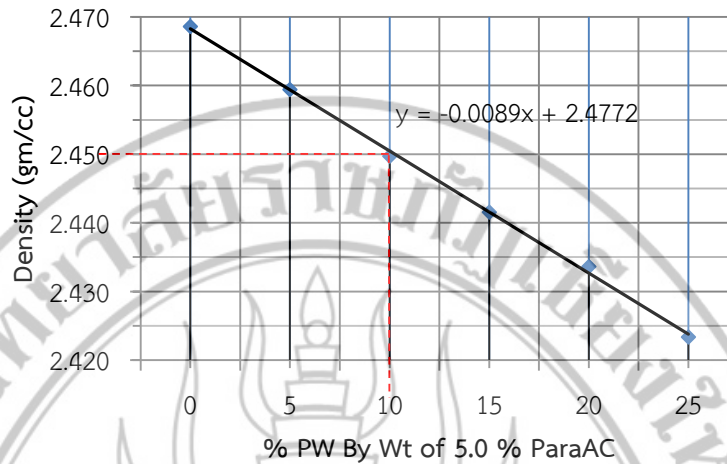
Mix Proportion Filler : Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 = 42:25:18:15 (By Weight)						Pen.Grade AC 60/70			
Avg.Sp.Gr. Aggregate and Filler (Gag) = 2.765						Sp.Gr.AC (Gac) =1.02			
Compaction ,number of blows each end = 75						Asphalt Absortion (x) = 0.25			
% PW by Wgt. of Para AC	15% Plastic Waste			20% Plastic Waste			25% Plastic Waste		
No.of Sample	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Wgt. of Toal Agg. (a)	5.00			5.00			5.00		
% AC by Wgt. of Mix (b)	4.76			4.76			4.76		
% Eff AC Wgt. of Mix (C) :b-x(100-b)/100	4.52			4.52			4.52		
Spec. Heigth mm. (d)	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5
Density Test									
Wt. in Air gm (e)	1258.8	1251.8	1251.8	1262.2	1267	1253.6	1265.5	1263.4	1261.5
Wt. Sat.Surface Dry gm (f)	1259.5	1252.3	1252	1263.4	1267.5	1254.4	1266	1264	1262.1
Wt in Water gm (g)	744	739.5	739.3	744.6	746.8	739.5	743.7	742.8	741.5
Bulk Volume gm/ml (h) ; f-g	515.5	512.8	512.7	518.8	520.7	514.9	522.3	521.2	520.6
Bulk Density gm/ml (i) : e/h	2.442	2.441	2.442	2.433	2.433	2.435	2.423	2.424	2.423
Average Density (l)	2.442			2.434			2.423		
Voids Analysis									
Volume AC % Total (j) : c * l / Gac	10.8			10.8			10.7		
Volume Agg. % Total (k) : 100-b)* l / Gag	84.1			83.8			83.5		

VMA	% (l) ; 100 - k	15.9			16.2			16.5		
Air Viods	% (m) ; l-j	5.1			5.4			5.8		
VFA	% (n) ; 100.j/l	68.1			66.7			65.0		
Stability										
	Means lbs	3140	3100	3120	3210	3160	3190	3300	3260	3220
	Adjust lbs	3140	3100	3120	3210	3160	3190	3300	3260	3220
Average Stability lbs (N)		3120			3187			3260		
Flow Mean 1/100”		16	16	16	17	17	16	18	17	18
Average Flow 1/100 in. (0.25 mm)		16			17			18		

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาออกแบบพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติก (Para AC+PW)

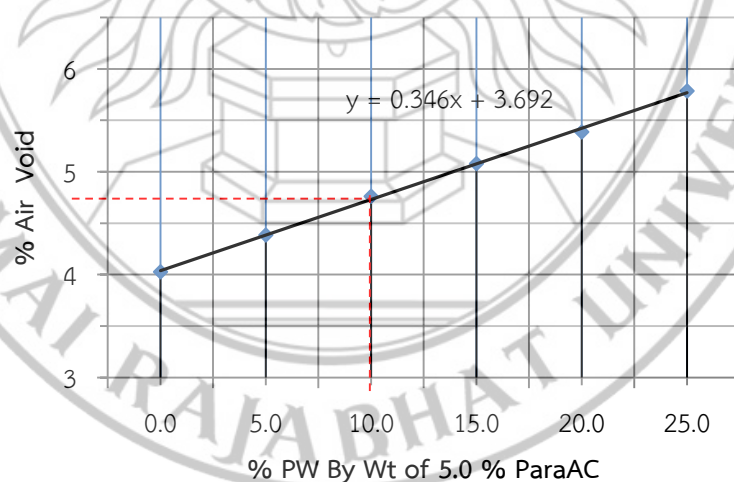
Sample Group	1	2	3	4	5	6
% ParaAC by Wgt of Agg	5%	5%	5%	5%	5%	5%
DENSITY	2.469	2.459	2.450	2.442	2.434	2.423
% Air Void	4.0	4.4	4.8	5.1	5.4	5.8
STABILITY (kN)	12.7	13.3	13.7	13.9	14.2	14.5
FLOW (mm)	3.2	3.4	3.7	4.0	4.2	4.4
VMA (%)	15.0	15.3	15.6	15.9	16.2	16.5
% PW By Wt of 5.0 % ParaAC	0	5	10	15	20	25

ความหนาแน่น(Density) ของยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกจะแปรผกผันกับปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ผสมลงไปดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อผสมขยะถุงพลาสติกเพิ่มขึ้นในจำนวนตั้งแต่ 0% 5% 10% 15% 20% และ 25% จะทำให้ค่าความหนาแน่นของยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกลดลงเท่ากับ 2.469, 2.459, 2.450, 2.442, 2.434 และ 2.423 ตามลำดับและมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มขยะถุงพลาสติกลงไปอีกเท่านั้น หรือมากกว่า 98 % ของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตแบบธรรมดา ในปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ 25 % ทั้งนี้เพราะขยะถุงพลาสติกที่นำเอามาผสมเพิ่มเข้าเป็นพลาสติกจำพวก LDPE ที่มีความแน่น (Density) ประมาณ 0.92 – 0.94 ส่วนยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นยาง AC 60/70 ผสมกับยางธรรมชาติ ที่มีความแน่นประมาณ 1.02 ดังนั้นยังเพิ่มขยะถุงพลาสติกเข้าไปมาก ยิ่งทำให้ความแน่นโดยรวมของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกลดลง



รูปที่ 4.6 ค่าความหนาแน่นกับปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ผสมในยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต

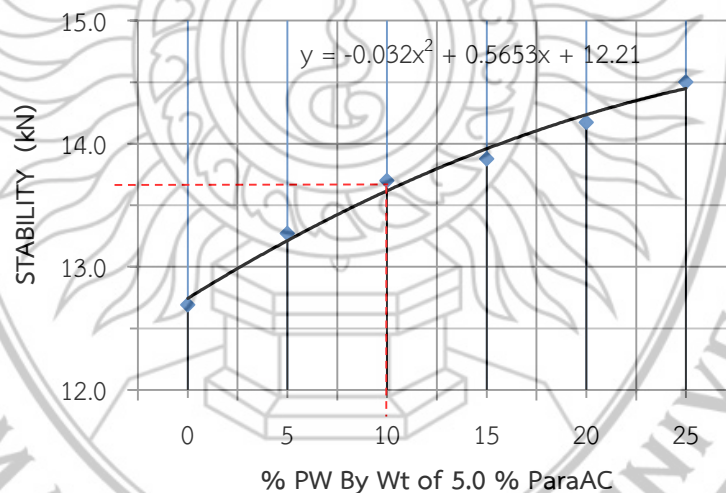
ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ของผิวทางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องให้มีปริมาณให้เพียงพอ เพราะปริมาณช่องว่างอากาศมีผลต่อความคงทน (Durability) และการใช้งานของผิวทางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต หากปริมาณช่องว่างอากาศมีน้อยจะช่วยป้องกันน้ำและอากาศซึมผ่านเข้าไปทำลายพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ไว้ทำให้ผิวทางมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น แต่ถ้าปริมาณช่องว่างอากาศมีน้อยเกินไปจะทำให้พาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ทะลักขึ้นมาบนผิวทางเกิดการเยิ้ม (Bleeding) นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดควรออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างอากาศ 3% - 5% ขึ้นอยู่กับปริมาณและน้ำหนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่างอาจออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างได้มากกว่า ประมาณ 4% - 7%



รูปที่ 4.7 ค่าช่องว่างอากาศกับปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ผสมในยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต

จากกราฟรูปที่ 4.7 พบว่าค่าช่องว่างอากาศ (Air Voids) ของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขี้เถ้าปลาสติก จะแปรผันตรงกับปริมาณขี้เถ้าปลาสติกที่ผสมลงไป เมื่อผสมขี้เถ้าปลาสติกเพิ่มขึ้นในจำนวนตั้งแต่ 0% 5% 10% 15% 20% และ 25% จะทำให้ค่าช่องว่างอากาศของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขี้เถ้าปลาสติกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.0% 4.4% 4.8% 5.1% 5.4% และ 5.8% ตามลำดับและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย ทั้งนี้เพราะปริมาณขี้เถ้าปลาสติกที่ใส่ลงไปในห้องตัวอย่างทดสอบเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขี้เถ้าปลาสติกลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ส่งผลให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ขี้เถ้าปลาสติกจะมีผลโดยตรงต่อความเสถียรภาพของถนน (Marshall Stability) ซึ่งมีแนวโน้มจะสูงขึ้นโดยตลอด ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้าปลาสติกเข้าไปในแอสฟัลต์คอนกรีตตั้งแต่ 0 - 25% พบว่าเมื่อผสมขี้เถ้าปลาสติกลงในพาราแอสฟัลต์คอนกรีตสูงสุดในปริมาณ 25% โดยน้ำหนักของพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะทำให้ค่าความเสถียรภาพสูงขึ้นถึง 14.5 kN มากกว่าพาราแอสฟัลต์คอนกรีตแบบธรรมดาที่มีค่าเสถียรภาพเพียง 12.7 kN และสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง (ทล.ม.416/2556) ที่กำหนดไว้ต้องมีค่ามากกว่า 9.8 kN

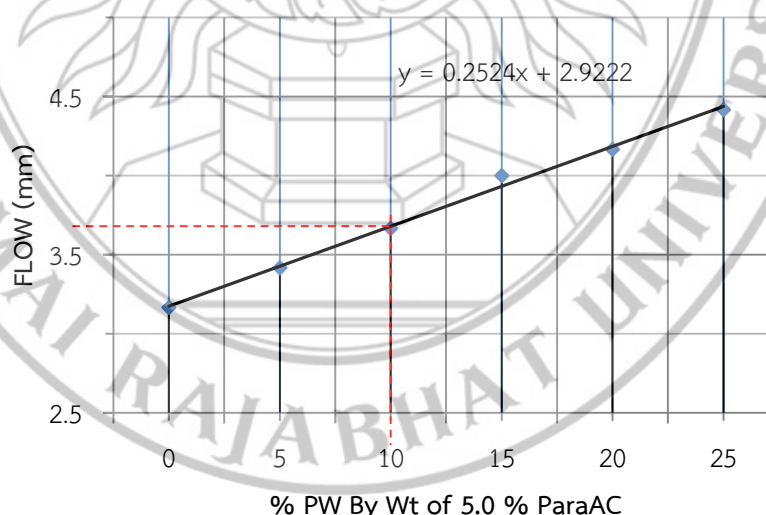


รูปที่ 4.8 ความเสถียรภาพกับปริมาณขี้เถ้าปลาสติกที่ผสมในพาราแอสฟัลต์คอนกรีต

ถนนที่มีความเสถียรภาพสูงจะสามารถรับน้ำหนักการจราจรได้สูงขึ้นโดยไม่เกิดรอยล้อ ไม่เป็นคลื่นหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ในลักษณะอื่น ๆ และมีแรงยึดเกาะ (Cohesion) ระหว่างเม็ดของวัสดุรวมรวมมากขึ้น ลดปัญหาการหลุดร่อนของวัสดุรวมรวม ส่งผลให้ถนนมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ประหยัดงบประมาณในการซ่อมบำรุงประจำปีหรือประจำปี แต่

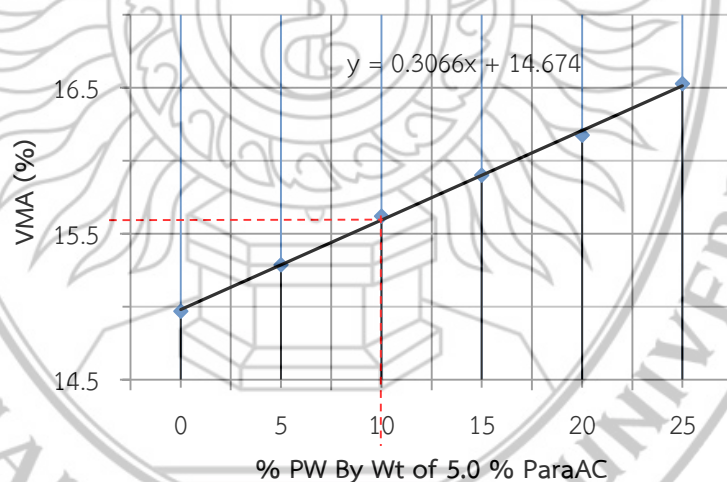
การออกแบบถนนให้มีความเสถียรภาพสูงควรพิจารณาถึงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมทางอื่น ๆ ตามมาด้วย เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนดไว้

ค่าการไหล (Flow Values) และ ความเสถียรภาพของถนน (Marshall Stability) จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าถนนมีความแข็งแรงและรองรับน้ำหนักจากการจราจรได้ตามที่กำหนด ซึ่งทั้งสองค่าจะถูกทดสอบในเครื่องมือทดสอบของมาร์แชลล์ไปพร้อมกับค่าความเสถียรภาพ โดยทั้งสองค่าจะแปรผันตรงกับปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ผสมลงไปดังแสดงใน รูปที่ 4.8 และ 4.9 เมื่อผสมขยะถุงพลาสติกเพิ่มขึ้นในจำนวนตั้งแต่ 0% 5% 10% 15% 20% และ 25% จะทำให้ค่าการไหลเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.2, 3.4, 3.7, 4.0, 4.2 และ 4.4 ตามลำดับ และ มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าการไหลของยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะถุงพลาสติกที่ปริมาณ 5% - 20% ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยที่กำหนดไว้ให้ คืออยู่ในช่วง 2.25 mm. – 4.25 mm. หากค่าการไหลมีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ถนนยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตมีแนวโน้มจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการสูญเสียรูปร่างอย่างฉาบ หรือที่เรียกว่าเกิดร่องล้อ หากค่าการไหลมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ถนนยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตมีแนวโน้มจะเป็นวัสดุเปราะ ทำให้แตกหักเสียหายได้ง่ายเมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกเข้ามากระทำ



รูปที่ 4.9 ค่าการไหลกับปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ผสมในยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต

ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA) คือ ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในพาราแอสฟัลต์คอนกรีตหลังการบดอัดแล้ว ซึ่งช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bitumen, VFB) ด้วยโดยที่ช่องว่างระหว่างมวลรวม (VMA) คือ ปริมาตรช่องว่างสำหรับปริมาตรของพาราแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ ซึ่งหมายถึง ปริมาตรพาราแอสฟัลต์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปสมกับปริมาตรพาราแอสฟัลต์ส่วนที่ดูดซึมเข้าไปในเม็ดวัสดุมวลรวม สำหรับปริมาตรช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของพาราแอสฟัลต์ประสิทธิภาพคือ ปริมาตรช่องว่างอากาศดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้น หากออกแบบส่วนผสมให้พาราแอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาตรช่องว่างเท่ากันแล้ว พาราแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความคงทนต่อการใช้งานนานกว่าพาราแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า อธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า การที่วัสดุมวลรวมมีค่า VMA สูง ย่อมหมายถึง มีปริมาตรช่องว่างสำหรับพาราแอสฟัลต์มากทำให้ฟิล์มพาราแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มวัสดุมวลรวมหนาซึ่งทำให้พาราแอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนต่ออายุการใช้งานยืนยาว การออกแบบส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้พาราแอสฟัลต์ผสมน้อยซึ่งประหยัดแต่ไม่ควรกระทำเพราะจะทำให้ผิวทางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทนลดลง



รูปที่ 4.10 ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมกับปริมาณขยะพลาสติกที่ผสมในยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต

ผลจากการนำขยะพลาสติกผสมลงไปในพาราแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวนตั้งแต่ 0% 5% 10% 15% 20% และ 25% โดยน้ำหนักของยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ พบว่าค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม มีแนวโน้มสูงขึ้น แปรผันตรงกับน้ำหนักของขยะพลาสติกผสมลงไป ดังรูปที่ 4.10 นั้นหมายถึงพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกมีช่องว่างเหลืออยู่เพียงพอสำหรับพาราแอสฟัลต์

ซีเมนต์ให้เป็นฟิล์มวัสดุเชื่อมประสานรอบ ๆ แต่ละอนุภาคหนาพอที่จะทำให้มีการยึดตัวได้โดยไม่แตก ซึ่งตามมาตรฐานกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย ในตารางที่ 4.3 แนะนำไว้ว่า ค่า % VMA ควรมีค่าสูงกว่า 15 % ซึ่งเมื่อพิจารณาผลจากกลุ่มตัวอย่างที่ 6 ชุด พบว่าเมื่อผสมขี้เถ้าปลาสติกที่ 5% ขึ้นไป จะทำให้ค่า % VMA ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด

จากกราฟรูปที่ 4.6 ถึง รูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.3 สามารถพิจารณาเลือกใช้ปริมาณขี้เถ้าปลาสติกที่ 10 % โดยน้ำหนักของยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ มาใช้ในงานสร้างถนนพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขี้เถ้าปลาสติกต้นแบบในชุมชนได้ โดยถนนยังมีค่าช่องว่างอากาศอยู่ในช่วง 3 – 5% นั่นคือ 4.8 % และมีความเสถียรภาพสูงถึง 13.7 kN สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้เพียง 9.8 kN นอกจากนี้ยังมีค่าการไหลเท่ากับ 3.7 mm. และค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมเท่ากับ 15.6% ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยกำหนดไว้ทั้งสิ้น จึงเหมาะที่จะนำไปสร้างถนนต้นแบบในชุมชน

4.3 การสร้างถนนพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขี้เถ้าปลาสติกต้นแบบในชุมชน

นำขี้เถ้าปลาสติกที่ได้จากการคัดแยกในชุมชนหมู่ที่ 5 บ้านทุ่ง ต.อ่าวนาง อ.เมืองกระบี่ จ.กระบี่ และพื้นที่ข้างเคียง มาสร้างเป็นถนนต้นแบบโดยรอบลานกิจกรรมภายในองค์การบริหารส่วนตำบลอ่าวนาง พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1,200 ตร.ม. โดยแบ่งเป็นพื้นที่สำหรับสร้างถนนต้นแบบ 334 ตร.ม. และมีความหนา 5 ซม. โดยพิจารณาจากผลการวิจัยข้อที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งมีวัสดุที่ใช้ดังนี้คือ

- 1) ยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ประมาณ จำนวน 2 ตัน (ผสมน้ำยางพารา 5.0% โดยน้ำหนักของยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70)
- 2) วัสดุมวลคละร้อนโดยน้ำหนัก (Mix Proportion Hot Bin = 42 : 25 : 18 : 15) โดยมี
 - หินขนาด 3/4" จำนวน 16.8 ตัน
 - หินขนาด 1/2" จำนวน 10 ตัน
 - หินขนาด 3/8" จำนวน 7.2 ตัน
 - หินฝุ่น จำนวน 6 ตัน
- 3) ขี้เถ้าปลาสติกที่ได้จากการคัดแยกในชุมชนเป้าหมายจำนวน 200 kg. (10% โดยน้ำหนักของยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์)

มีขั้นตอนการสร้างถนนยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขี้เถ้าปลาสติกจะเหมือนกับการก่อสร้างถนนแบบปกติทุกอย่างโดยเริ่มตั้งแต่งานปรับระดับและบดอัดชั้นดินเดิม งานขึ้นพื้นทาง งานรองผิวทาง จนถึงงานไพรโมคท (Prime Coat) แต่จะแตกต่างกันที่ขั้นตอนงานผิวทางซึ่งต้องผสมขี้เถ้าปลาสติกที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 5 mm. ลงไปในปริมาณที่ออกแบบทดลองไว้ใน

ห้องปฏิบัติการ คือ 10% โดยน้ำหนักของยางพาราแอสฟัลต์ซีเมนต์ หรือประมาณ 200 kg. โดยใส่ลงไปเครื่องจักรปูผิวถนนดังรูปที่ 4.11 หรือผสมลงไปกองวัสดุผิวทางที่ร้อนแล้วผสมด้วยแรงงานคน ในกรณีที่เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้ดังรูปที่ 4.12 แต่ต้องควบคุมให้ขยะถุงพลาสติกมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงและควบคุมให้อุณหภูมิของยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีตขณะดำเนินการก่อสร้างต้องไม่ต่ำกว่า 140 °C เพื่อให้มีปริมาณความร้อนเพียงพอที่จะหลอมละลายขยะถุงพลาสติกที่เพิ่มเติมลงไปจนเป็นเนื้อเดียวกับยางพาราแอสฟัลต์คอนกรีต ปรับเกลี่ยให้ได้ความหนา 5 cm. แล้วทำการบดอัดแน่นโดยเครื่องจักรกลงานทาง โดยควบคุมความหนาแน่นขณะดำเนินการบดอัดให้มีค่าไม่น้อยกว่า 98% ของความหนาแน่นในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 4.13 เมื่อดำเนินการก่อสร้างเสร็จจึงเปิดถนนใช้งานตามปกติแล้วมีการเจาะสำรวจหลังการใช้งานผ่านไปแล้วพบว่า ความหนาแน่นของถนนจริงมีค่าเท่ากับ 2.454 ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นในห้องปฏิบัติ มีค่าเท่า 2.450 ที่ปริมาณขยะถุงพลาสติกที่ 10%



รูปที่ 4.11 การผสมขยะถุงพลาสติกในเครื่องจักรปูถนน



รูปที่ 4.12 การผสมขยะถุงพลาสติกด้วยแรงงานคน



รูปที่ 4.13 การบดอัดถนนด้วยเครื่องจักร