บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุ

4.1.1 ทางกายภาพ

4.1.1.1 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(Portland Cement) เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย(NS-FA) และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย(S-FA) ด้วยการแทนที่ในน้ำมันก๊าดตามมาตรฐาน ASTM C188-95 เปรียบเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งเป็นการศึกษาของ อุดม หงษ์ประธานพร (2532) ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากกว่าเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะของวัสดุแต่ละชนิดมีผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน จากตารางที่ 4.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยลิกไนต์มีสารประกอบ อลูมินา (Al_2O_3) คัลเซียม (CaO) และเหล็ก (Fe_2O_3) มากกว่าเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีความถ่วงจำเพาะสูงเมื่อเทียบกับสารประกอบอื่นๆ ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยจะส่งผลต่อความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาและก้อนคอนกรีตบล็อก

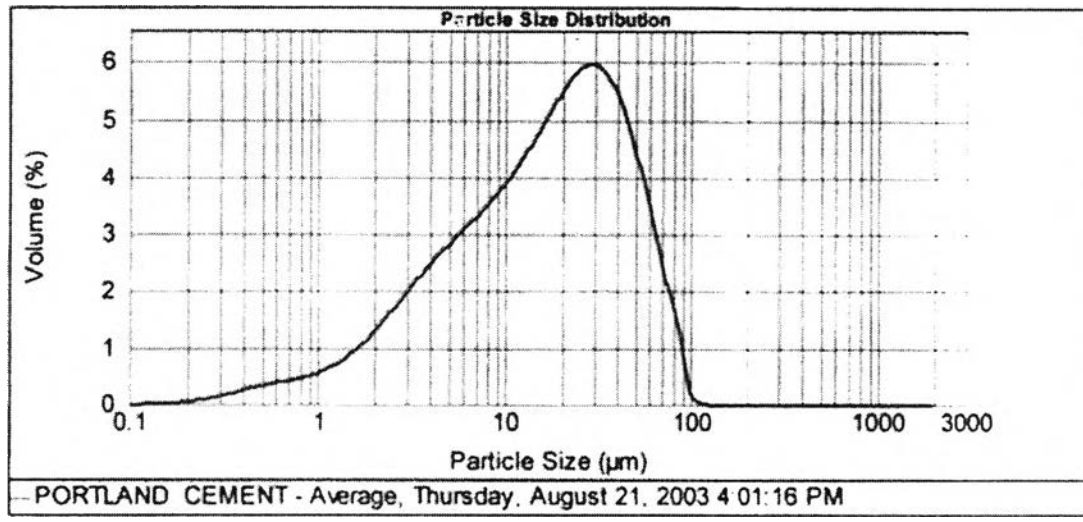
ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยลิกไนต์

ชนิดของตัวอย่าง	ความถ่วงจำเพาะ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)	3.13
เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย (NS-FA)	2.42
เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย (S-FA)	2.30
เถ้าลอยลิกไนต์	2.56

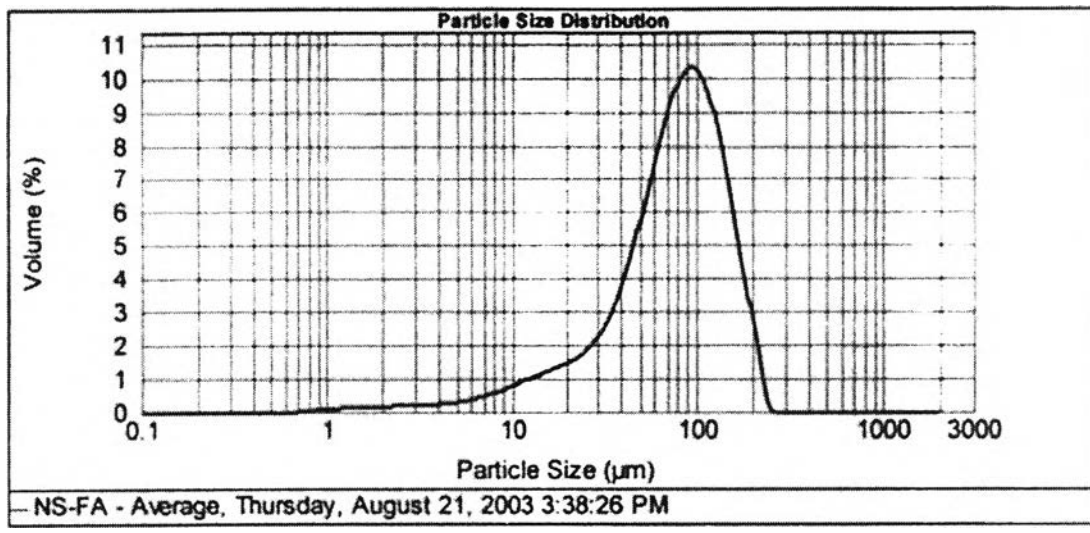
หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์เถ้าลอยลิกไนต์เป็นการศึกษาของอุดม หงษ์ประธานพร (2532)

4.1.1.2 การกระจายตัวของอนุภาค

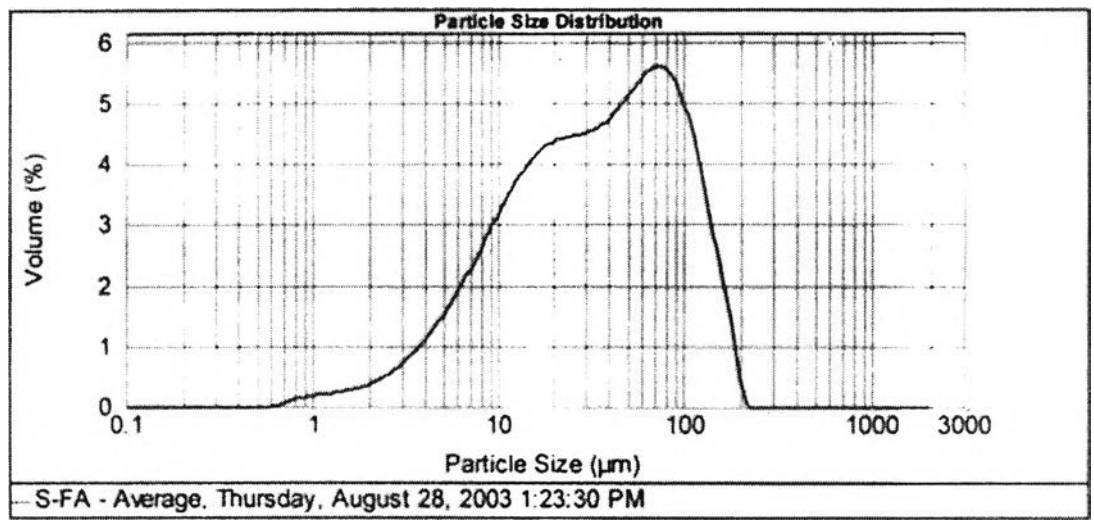
การวัดการกระจายตัวอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย หาโดยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer) แสดงในรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 พบว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.20-100 ไมโครเมตร เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยมีขนาดอนุภาคประมาณ 1.00-250 ไมโครเมตร และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.50-200 ไมโครเมตร รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวและกระจายตัวสะสมของขนาดอนุภาค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยมีการกระจายแคบกว่าเถ้าลอยที่คัดแยกมูลฝอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในตารางที่ 4.2 แสดงขนาดอนุภาคสะสมที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 50 และ 90 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีขนาดที่เล็กกว่าเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่ไม่คัดแยกมูลฝอย ตามลำดับ



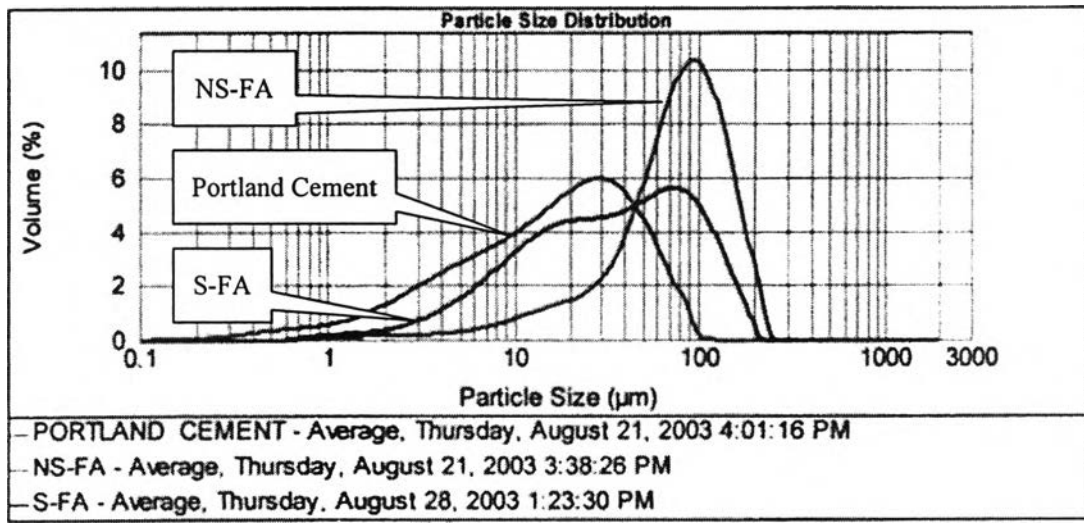
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์



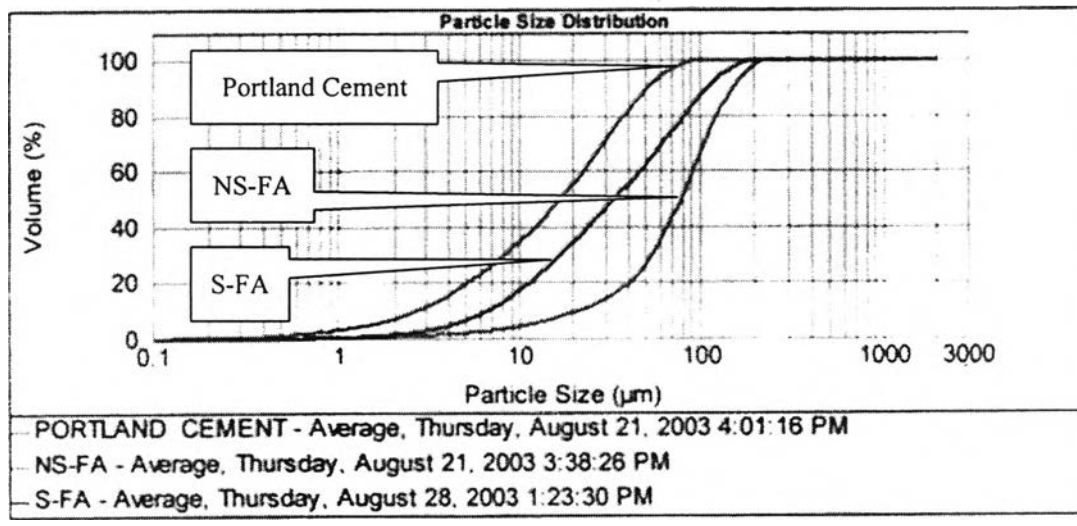
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการกระจายตัวสะสมของขนาดอนุภาคสะสมโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

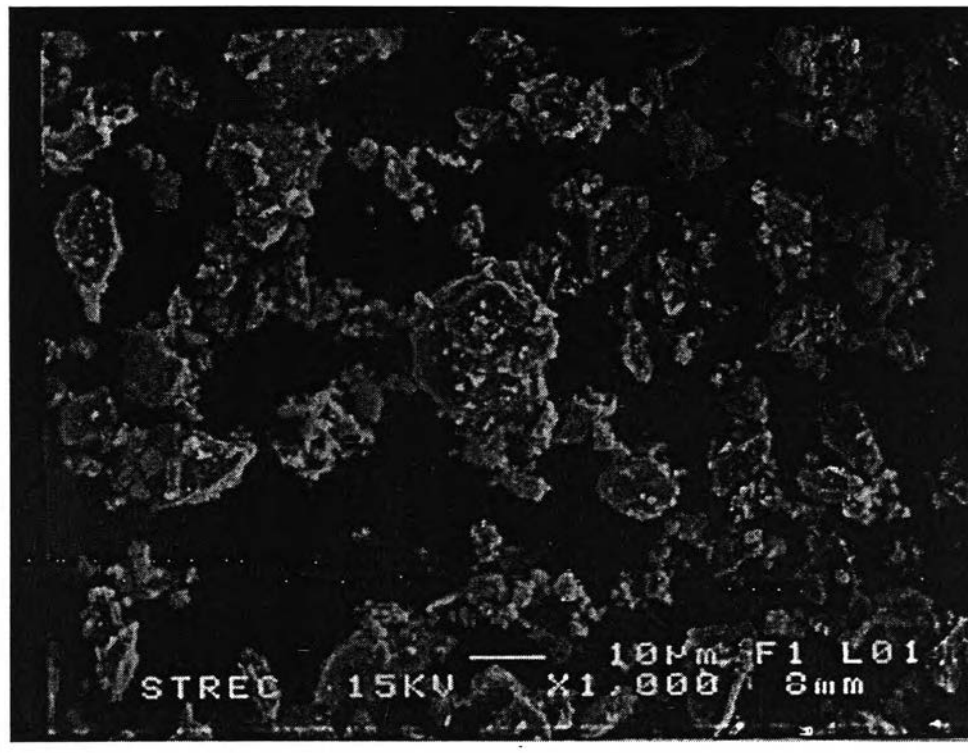
ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

ลำดับที่	คุณสมบัติ	ชนิดของวัสดุ		
		Portland Cement	NS-FA	S-FA
1	$d_{10\%}$ (ไมโครเมตร)	2.733	21.615	6.757
2	$d_{50\%}$ (ไมโครเมตร)	17.139	79.230	34.036
3	$d_{90\%}$ (ไมโครเมตร)	51.957	153.053	111.652

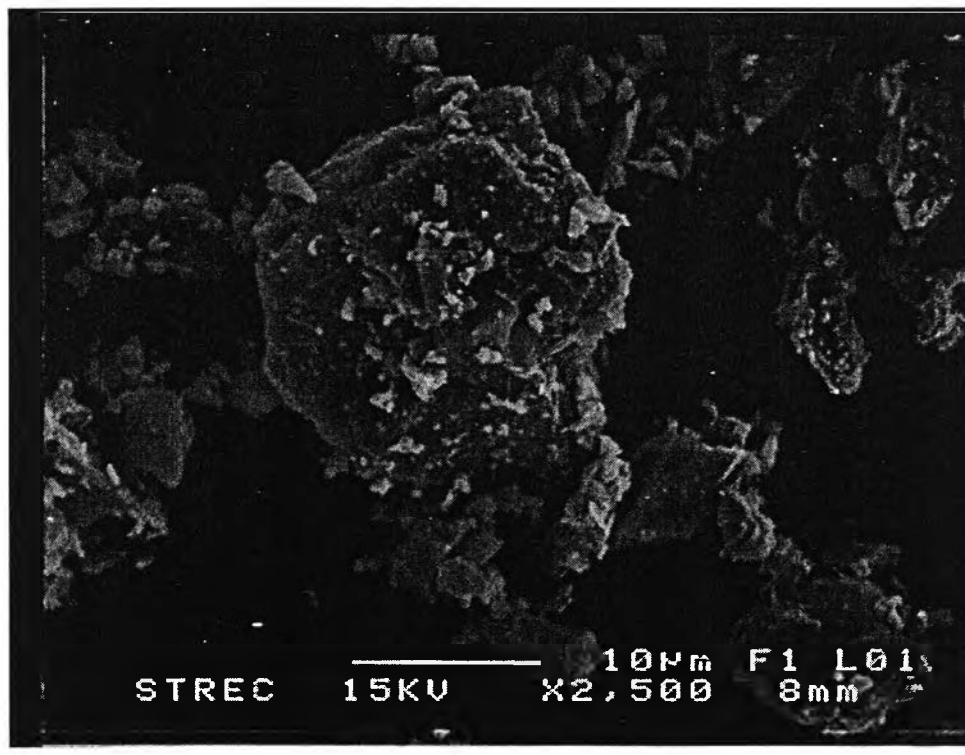
4.1.1.3 ลักษณะอนุภาค

การหาลักษณะอนุภาค โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) เพื่อสังเกตลักษณะของอนุภาคของตัวอย่างต่างๆ รูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่กำลังขยาย 1,000 และ 2,500 เท่า รูปที่ 4.7 (ก) และ(ข) แสดงลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยและไม่ผ่านกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำที่กำลังขยาย 2,500 และ 7,500 เท่า รูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยก มูลฝอยที่กำลังขยาย 25 และ 150 เท่า รูปที่ 4.9 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่กำลังขยาย 150 และ 550 เท่า

จากรูปที่ 4.6 (ข) จะเห็นได้ว่าอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีลักษณะรูปทรงเป็นก้อนที่มีทรงเหลี่ยมค่อนข้างชัดเจน ผิวค่อนข้างเรียบและมีละอองเล็กๆ เกาะอยู่รอบๆ ส่วนเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกและไม่ผ่านกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำตามรูป 4.7 (ข) มีลักษณะเป็นปุยขนาดเล็กมากที่มีความพรุนคล้ายฟองน้ำ สำหรับเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยก ตามรูปที่ 4.8 (ข) และ 4.9 (ข) มีรูปร่างไม่แน่นอน มีลักษณะผิวพรุนคล้ายกับอนุภาคเล็กจำนวนมากมาจับตัวกันก้อนที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นมีผลมาจากการที่ปูนขาวแห้ง (CaO) ที่ถูกพ่นไปรวมกับละอองฝุ่นร้อน (Flue gas) เพื่อจับก๊าซพิษและถูกทำให้ไม่ฟุ้งกระจายระหว่างการขนส่งด้วยกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำ ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนและเมื่อน้ำระเหยจนทำให้เกิดรูพรุนดังกล่าว โดยที่เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยซึ่งรูพรุนเหล่านี้จะมีผลต่อการที่เถ้าลอยจะดูดซึมน้ำมากกว่าอนุภาคที่มีลักษณะผิวเรียบ

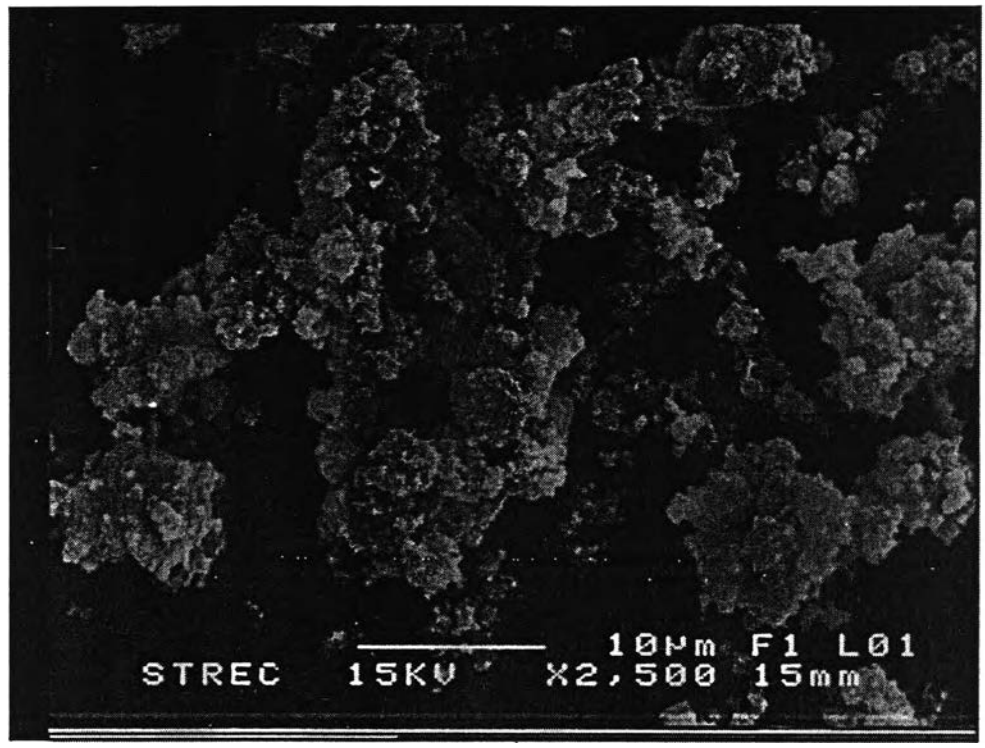


(ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

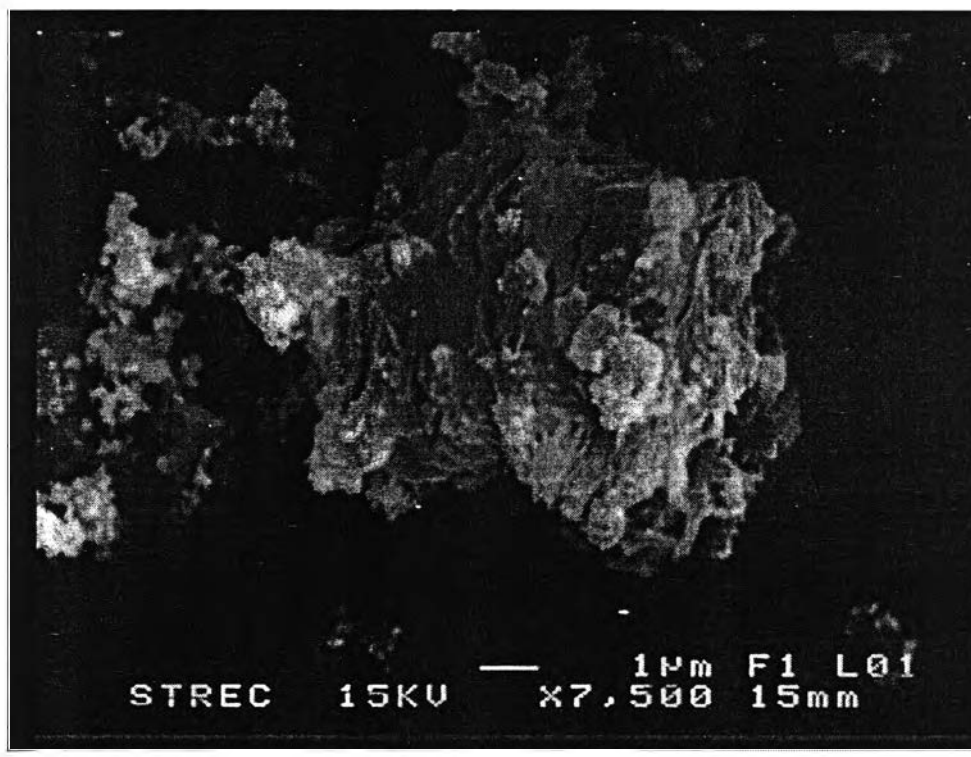


(ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

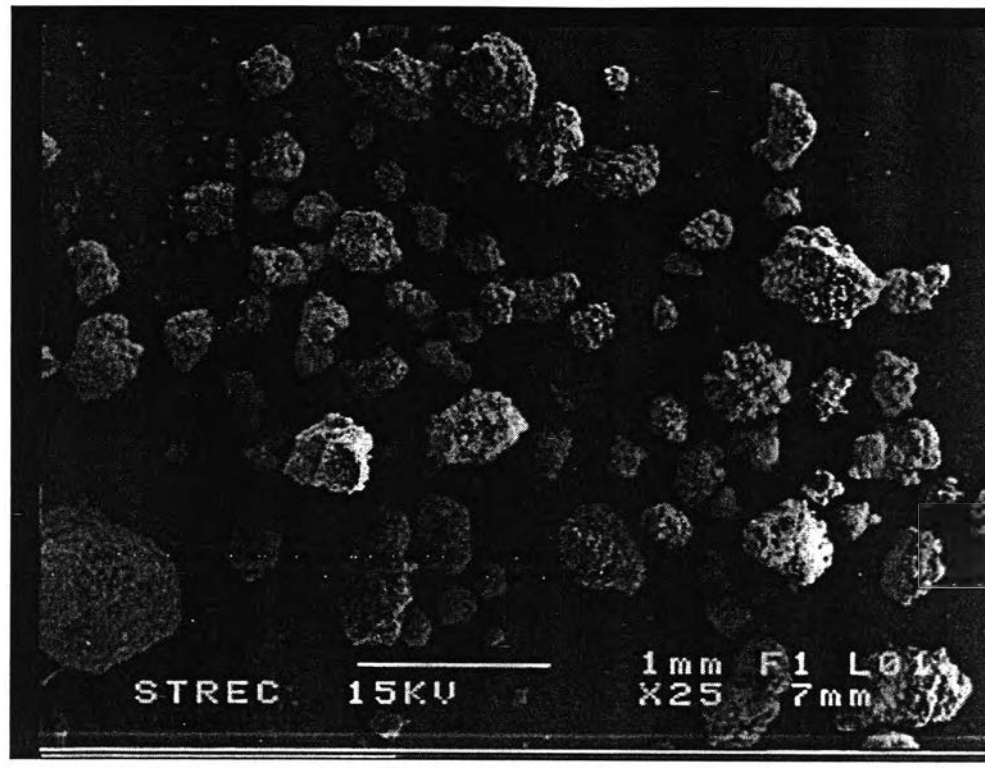


(ก) เถ้าลอยที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำ ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า

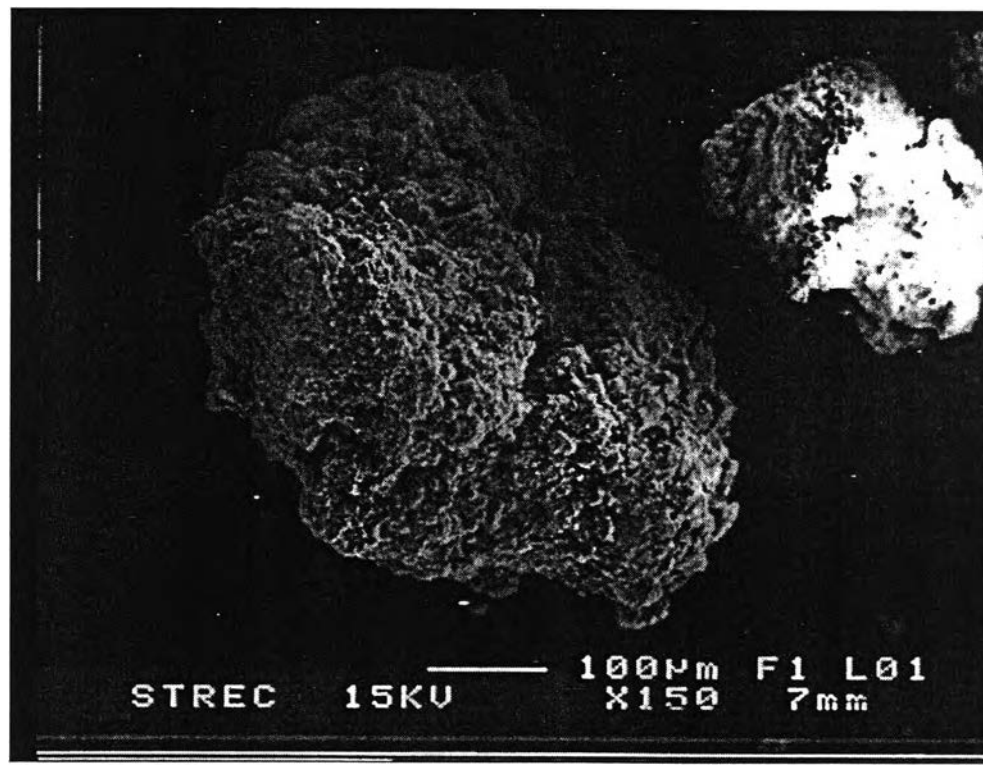


(ข) เถ้าลอยที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำ ที่กำลังขยาย 7,500 เท่า

รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย และไม่ผ่านกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำ



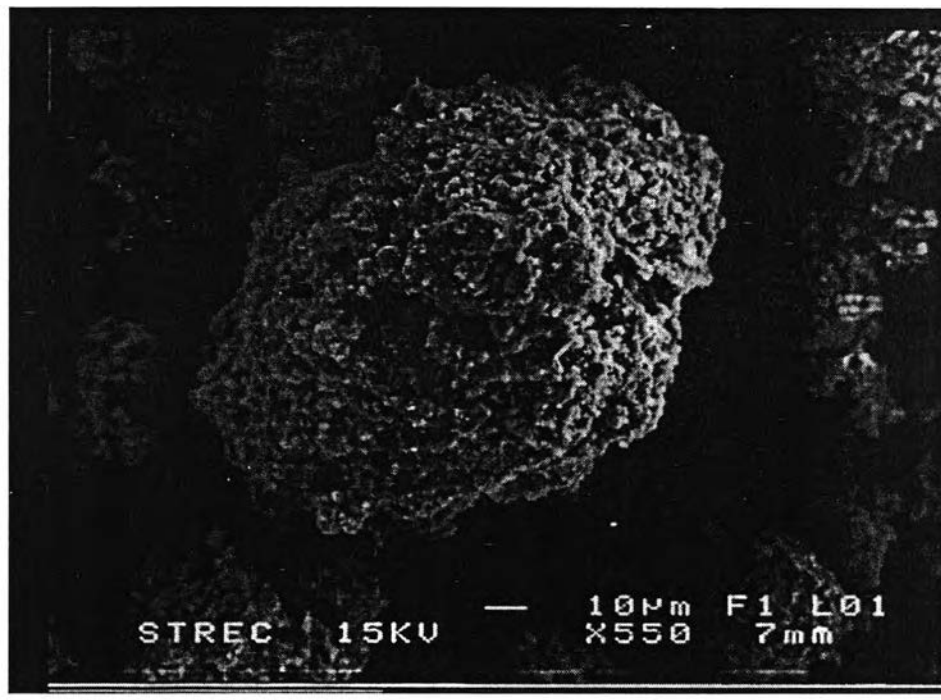
(ก) เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่กำลังขยาย 25 เท่า



(ข) เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่กำลังขยาย 150 เท่า

รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

(ก) เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่กำลังขยาย 150 เท่า



(ข) เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่กำลังขยาย 550 เท่า

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.1.2 ลักษณะทางเคมี

4.1.2.1 ส่วนประกอบทางเคมี

การหาส่วนประกอบทางเคมีโดยวิธี X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy ของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งเป็นการศึกษาของอุดม หงษ์ประธานพร (2532) และเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยซึ่งเป็นการศึกษาของ Sancharoen (2003) แสดงในตารางที่ 4.3

ผลรวมของสารประกอบออกไซด์ อลูมิเนียม เหล็ก และซิลิกา ($AI_2O_3 + Fe_2O_3 + SiO_2$) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เท่ากับร้อยละ 28.54 78.27 8.64 และ 5.46 โดยน้ำหนักตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบกับการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 618 – 96 ตามตารางที่ 4.4 จะพบว่าเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน

ส่วนคัลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่มีในเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เท่ากับ ร้อยละ 34.83 และ 36.63 ตามลำดับ เนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพอากาศของโรงเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตได้ใช้ปูนขาวแห้ง (CaO) พ่นเพื่อบำบัดแก๊สพิษ ซึ่งคัลเซียมที่มีอยู่ในเถ้าลอยจะทำปฏิกิริยาน้ำ (H_2O) ซึ่งก็คือปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) เกิดเป็นคัลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$:CH) มีคุณสมบัติเป็นด่างช่วยป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กเสริมและอาจทำปฏิกิริยาต่อไปอีกกับวัสดุที่มีธาตุซิลิกาและอลูมินาผสมอยู่

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่ามีปริมาณของคลอไรด์ (Cl) ในเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ในปริมาณเท่ากับร้อยละ 27.80 และ 24.44 โดยน้ำหนัก โดยที่คลอไรด์ (Cl) ในเถ้าลอยเกิดจากการเผาวัสดุประเภทพลาสติก การที่มีปริมาณลดลงเนื่องจากผลของการคัดแยกมูลฝอยประเภทพลาสติกก่อนกระบวนการเผา ซึ่งการลดลงของคลอไรด์(Cl) จะส่งผลดีต่อส่วนผสมคอนกรีตเนื่องจากเป็นการลดการเกิดสนิมเหล็ก

ค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss On Ignition ; LOI) คือสารอินทรีย์ในรูปคาร์บอนหรือน้ำที่ถูกจับเป็น Hydrated product ที่มีในอยู่เถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่า LOI เท่ากับร้อยละ 12.44 และ 10.80 โดยน้ำหนัก ค่า LOI หรือสารอินทรีย์ที่อยู่ในเถ้าลอยเมื่อทำการผสมเพื่อทำมอร์ตาจะเป็นตัวดูดน้ำและสารเพิ่มคุณสมบัติคอนกรีต (Additive) ทำให้น้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลดลง เป็นผลให้กำลังต้านแรงอัดต่ำลง

ตารางที่ 4.3 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

ลำดับที่	สารประกอบ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	เถ้าลอยลิกไนต์	NS-FA	S-FA
1	Al_2O_3	5.42	28.27	2.08	1.51
2	CaO	63.82	11.92	34.36	36.63
3	CuO	-	0.05	0.05	0.00
4	Fe_2O_3	2.92	14.57	0.68	0.69
5	K_2O	0.46	2.48	5.27	6.43
6	MgO	1.50	2.13	1.30	1.51
7	MnO	-	0.11	0.03	0.00
8	Na_2O	0.26	-	3.70	7.33
9	PbO	-	0..04	0.15	0.00
10	SiO_2	20.2	35.43	5.88	3.26
11	SnO_2	-	-	0.13	0.00
12	SrO	-	0.09	0.13	0.00
13	TiO_2	-	0.38	0.39	0.42
14	ZnO	-	0.01	0.58	0.38
15	SO_3	2.55	2.35	4.15	5.42
16	P_2O_5	-	-	0.95	1.18
17	Cl	-	-	27.80	24.44
18	Rb	-	-	0.00	0.00
19	Br	-	-	0.00	0.00
20	LOI	-	-	12.44	10.80
	Total	97.13	97.83	100.00	100.00

หมายเหตุ : 1) ผลการวิเคราะห์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะ เป็นข้อมูลจาก อุดม หงษ์ประธานพร (2532)

2) ผลการวิเคราะห์ของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย เป็นข้อมูลจาก Sancharoen (2003)

3) "-" ไม่มีข้อมูลในงานวิจัย

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย (ASTM C618-96)

คุณสมบัติ	Class N	Class F	Class C	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	เถ้าลอยลิกไนต์	เถ้าลอยไม่คัดแยกมูลฝอย	เถ้าลอยที่คัดแยกมูลฝอย
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ % ต่ำสุด	70.0	70.0	50.0	28.54	78.27	8.64	5.46
SO_3 % สูงสุด	4.0	5.0	5.0	2.55	2.35	4.15	5.42
Moisture Content % สูงสุด	3.0	3.0	3.0	-	-	22.68	11.08
LOI % สูงสุด	10.0	6.0	6.0	-	-	12.44	10.80

หมายเหตุ : 1) ผลการวิเคราะห์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะ เป็นข้อมูลจาก อุดม หงษ์ประธานพร (2532)

2) ผลการวิเคราะห์ของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย เป็นข้อมูลจาก Sancharoen (2003)

3) "-" ไม่มีข้อมูลในงานวิจัย

4.1.2.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย

การทดสอบปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งได้จากวิธีสกัดสาร ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) โดยปริมาณโลหะหนักที่สนใจได้แก่ Ag Ba Cd Cr และ Pb ให้ผลดังตารางที่ 4.5 พบว่าทั้งเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย มีปริมาณโลหะหนักทุกค่าที่ทำการวัดไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ปริมาณของตะกั่ว (Pb) อยู่ในระดับที่ควรให้ความสำคัญในการป้องกันไม่ให้กระทบต่อสิ่งแวดล้อมแม้ว่าจะไม่เกินค่าที่กำหนดก็ตาม ส่วน As Hg และ Se จากการตรวจสอบเบื้องต้นมีปริมาณน้อยมาก รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก และในการทดลองไม่ได้ทำการวัด

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโลหะหนักและพีเอช (pH) ในน้ำชะละลายเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

ลำดับที่	ชนิดวัสดุ	ปริมาณโลหะหนัก (mg/L)					พีเอช (pH)
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb	
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00	
1	NS-FA	< 0.001	0.467	< 0.001	0.030	2.001	11.99
2	S-FA	< 0.001	0.519	< 0.001	< 0.001	2.152	11.98

หมายเหตุ : NS-FA คือ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

S-FA คือ เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.2 ผลการศึกษาหาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยโดยการทำให้เป็นก้อน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ โดยใช้เถ้าลอยจากกระบวนการเผาที่คัดแยกและไม่คัดแยกมูลฝอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ100 โดยอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์+เถ้าลอย) ต่อทราย เท่ากับ 1 : 2.75 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 และระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง 28 วัน ทดสอบหาความหนาแน่น ค่ากำลังต้านแรงอัด พีเอช (pH) และปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายจากก้อนมอร์ตา โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลและวัสดุไม่ใช้แล้ว และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกน้ำหนักเพื่อเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

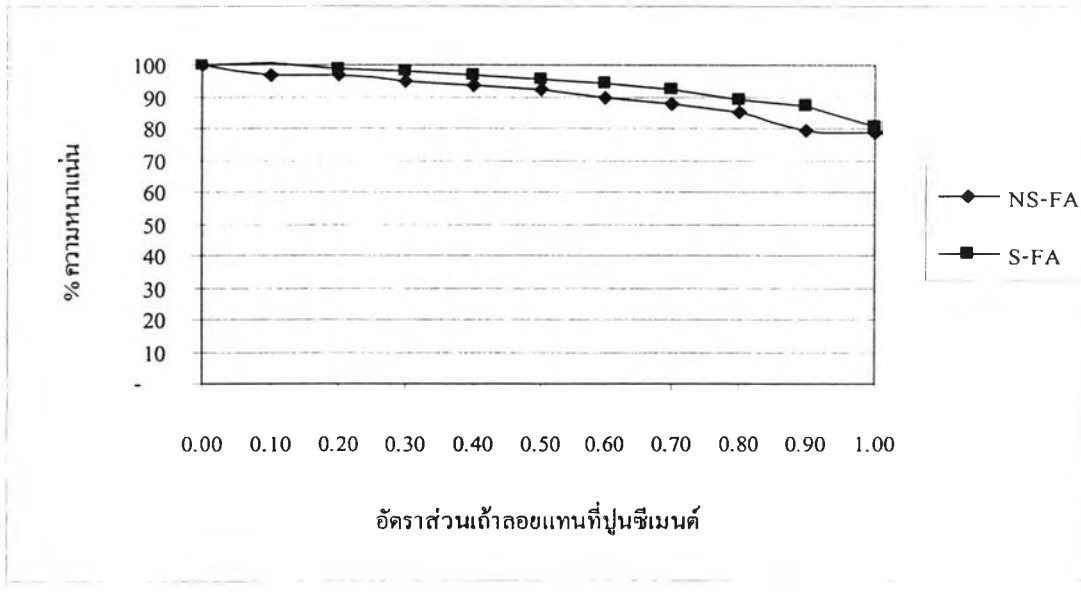
4.2.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 แสดงในตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความหนาแน่นของมอร์ตาเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ กับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย เท่ากับร้อยละ 100 97 97 95 94 92 90 88 85 79 และ 79 ตามลำดับ และก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ เปรียบเทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย เท่ากับร้อยละ 100 101 99 98 97 95 94 92 89 87 และ 81 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งผลจากการเพิ่มอัตราการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสานทำให้ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 1.15 ตัน/ลบ.ม. พบว่าทุกอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.6 ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่อัตราส่วนต่างๆ ของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ (%)	ความหนาแน่นของมอร์ตา (kg / cu.m.)	
		NS-FA	S-FA
1	0	2,146	2,083
2	10	2,075	2,096
3	20	2,074	2,060
4	30	2,037	2,048
5	40	2,013	2,021
6	50	1,980	1,988
7	60	1,930	1,961
8	70	1,888	1,916
9	80	1,827	1,850
10	90	1,698	1,810
11	100	1,691	1,682

หมายเหตุ : NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ กับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

4.2.2 กำลังต้านแรงอัด

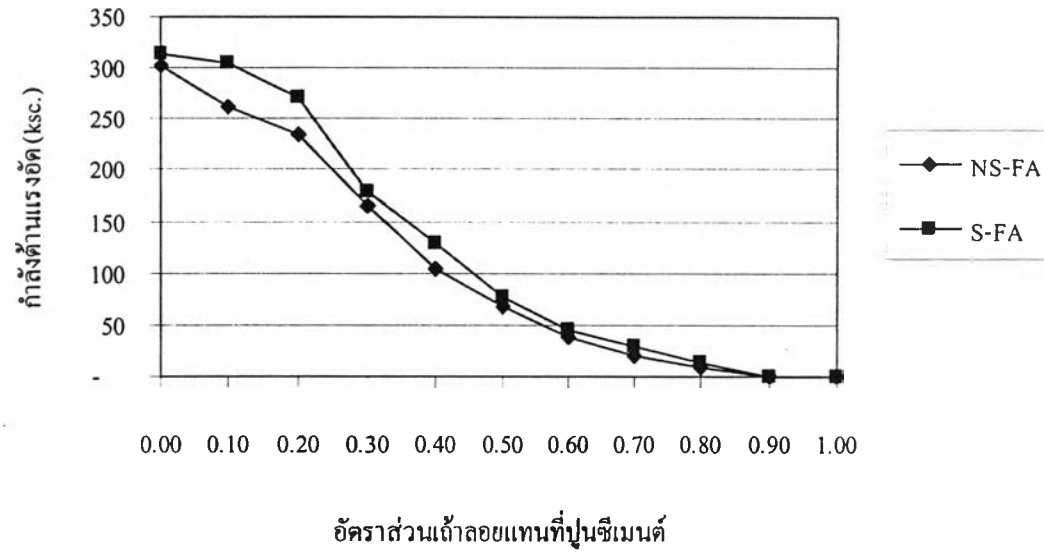
ค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการร้อยละ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ100 แสดงในตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ กับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย เท่ากับร้อยละ 100 87 77 55 34 23 13 7 3 0 และ 0 ตามลำดับ และก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ เปรียบเทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย เท่ากับร้อยละ 100 96 86 57 41 25 15 9 4 0 และ 0 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสานทำให้ค่ากำลังต้านแรงอัดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยจะมีค่ากำลังต้านแรงอัดดีกว่าก้อนตัวอย่างที่ใช้เถ้าลอยที่ไม่ได้มีการคัดแยกมูลฝอย

ตารางที่ 4.7 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่อัตราส่วนต่างๆ ของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสาน

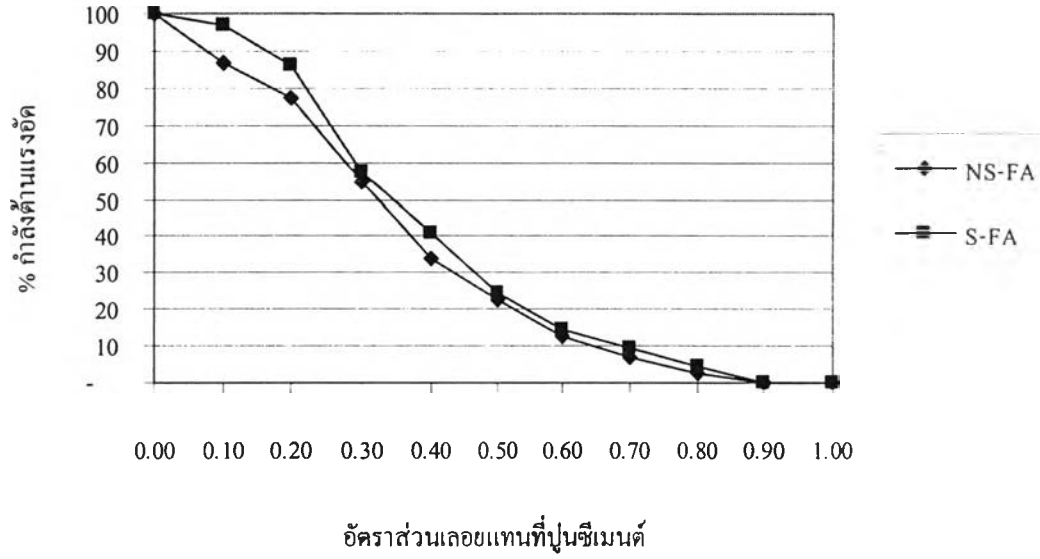
ลำดับที่	อัตราส่วนของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ (%)	กำลังต้านแรงอัดของมอร์ตา (ksc.)	
		NS-FA	S-FA
1	0	302	314
2	10	363	304
3	20	234	271
4	30	165	179
5	40	103	128
6	50	68	78
7	60	38	46
8	70	20	29
9	80	8	13
10	90	0	0
11	100	0	0

หมายเหตุ : NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.11 กำลังต้านแรงอัดของ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ



รูปที่ 4.12 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราการแทนที่ต่างๆ เทียบกับกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

4.2.3 **พีเอช (pH)**

จากการตรวจวัดพีเอช (pH)ในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่ามีค่าระหว่าง 12.00-12.28 โดยมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสาน โดยที่น้ำชะละลายจากมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยจะมีค่าสูงกว่าน้ำชะละลายจากมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยเล็กน้อย

ตารางที่ 4.8 พีเอช (pH) ในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่อัตราส่วนต่างๆ

ลำดับที่	อัตราส่วนของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ (%)	พีเอช (pH)	
		NS-FA	S-FA
1	0	12.07	12.28
2	10	12.12	12.27
3	20	12.14	12.25
4	30	12.12	12.27
5	40	12.12	12.22
6	50	12.09	12.21
7	60	12.07	12.20
8	70	12.03	12.20
9	80	12.05	12.21
10	90	12.06	12.22
11	100	12.03	12.21

หมายเหตุ : NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.2.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย

เมื่อทำการทดสอบปริมาณโลหะหนัก Ba Ag Cd Cr และPb ในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าอัตราการเพิ่มของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในวัสดุประสาน ทำให้ปริมาณของตะกั่ว (Pb) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แบเรียม (Ba) การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการแทนที่ไม่มีผลต่อโลหะหนักในน้ำชะละลาย โครเมียม (Cr) การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์มีผลให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายจากก้อนมอร์ตามีแนวโน้มลดลง ส่วนเงิน (Ag) และแคดเมียม (Cd) มีปริมาณน้อยจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ซึ่งปริมาณโลหะหนักทุกค่าที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราส่วนการแทนที่ต่างๆ

ลำดับที่	ส่วนผสม	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	NS-FA	< 0.001	0.622	0.006	0.059	1.931
2	NS-FA 00	< 0.001	0.424	< 0.001	0.101	0.013
3	NS-FA 10	< 0.001	0.686	< 0.001	0.008	0.066
4	NS-FA 20	< 0.001	0.651	< 0.001	0.009	0.047
5	NS-FA 30	< 0.001	0.401	< 0.001	0.050	0.040
6	NS-FA 40	< 0.001	0.487	< 0.001	0.039	0.176
7	NS-FA 50	< 0.001	0.501	< 0.001	0.033	0.190
8	NS-FA 60	< 0.001	0.681	< 0.001	0.021	0.121
9	NS-FA 70	< 0.001	0.857	< 0.001	0.026	0.099
10	NS-FA 80	< 0.001	0.781	< 0.001	0.012	0.111
11	NS-FA 90	< 0.001	0.590	< 0.001	0.008	0.170
12	NS-FA 100	< 0.001	0.491	< 0.001	0.001	0.364

หมายเหตุ : NS-FA คือ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

NS-FA XX คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่อัตราส่วนการแทนที่ต่างๆ

ลำดับที่	ส่วนผสม	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	S-FA	< 0.001	0.578	< 0.001	0.099	2.07
2	S-FA 00	< 0.001	0.424	< 0.001	0.101	0.013
3	S-FA 10	< 0.001	0.438	< 0.001	0.033	0.034
4	S-FA 20	< 0.001	0.501	< 0.001	0.011	0.033
5	S-FA 30	< 0.001	0.601	< 0.001	0.0.10	0.062
6	S-FA 40	< 0.001	0.672	< 0.001	0.011	0.057
7	S-FA 50	< 0.001	0.731	< 0.001	0.010	0.056
8	S-FA 60	< 0.001	0.657	< 0.001	0.006	0.243
9	S-FA 70	< 0.001	0.620	< 0.001	< 0.001	0.218
10	S-FA 80	< 0.001	0.654	< 0.001	0.012	0.260
11	S-FA 90	< 0.001	0.703	< 0.001	0.006	0.234
12	S-FA 100	< 0.001	0.723	< 0.001	0.012	0.281

หมายเหตุ : S-FA คือ เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

S-FA XX คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน

การทดลองนี้ทำการเลือกอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเถ้าลอยมากที่สุดในวัสดุประสาน ซึ่งให้ค่ากำลังต้านแรงอัดที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57 – 2530) และผ่านมาตรฐานสำหรับสมบัติของสารพิษ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ซึ่งอัตราส่วนผสมที่คัดเลือกมาทดลองได้แก่ อัตราส่วนเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 นำมาทดลองโดยการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์+เถ้าลอย) (water to binder ratio : w / b) เท่ากับ 0.40 0.50 0.60 และ 0.70 โดยการควบคุมอัตราส่วนวัสดุประสาน : ทราย เท่ากับ 1:2.75 และระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ทำการทดสอบหาความหนาแน่น ค่ากำลังต้านแรงอัด ปริมาณโลหะหนัก

และพีเอช (pH) ในน้ำสกัดมาตรฐาน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยก และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยก ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

4.3.1 <u>ความหนาแน่น</u>

ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 0.50 0.60 และ 0.70 ของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย แสดงในตารางที่ 4.11 พบว่าความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มีค่ามากกว่าก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 4.13 เมื่อทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย กับก้อนมอร์ตาไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.40 เป็นร้อยละ 95 และ 95 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 เป็นร้อยละ 94 และ 92 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.60 เป็นร้อยละ 99 และ 98 และที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.70 เป็นร้อยละ 91 และ 93

จากการเปรียบเทียบแต่ละอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจะพบว่าความหนาแน่นของก้อนมอร์ตามีค่าสูงสุดที่ 0.60 0.50 0.40 และ 0.70 ตามลำดับ ทั้งก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของ เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

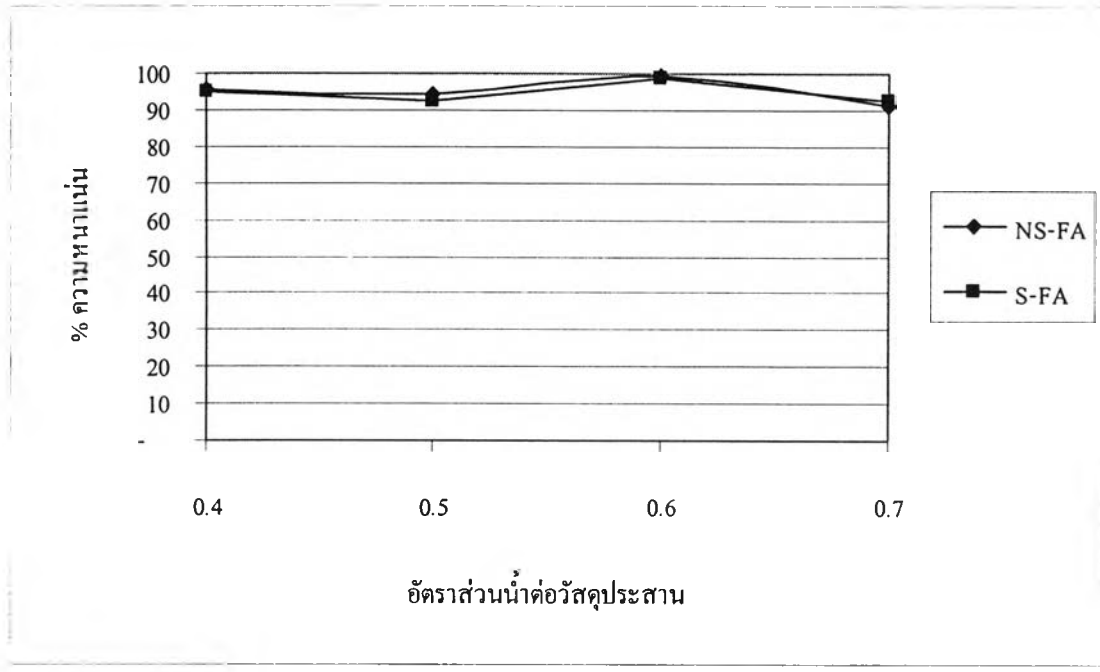
ตารางที่ 4.11 ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ

ลำดับที่	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ความหนาแน่น (kg/cu.m.)		
		Blank	NS-FA	S-FA
1	0.40	2,118	2,021	2,006
2	0.50	2,168	2,044	2,003
3	0.60	2,103	2,092	2,071
4	0.70	2,199	2,011	2,037

หมายเหตุ : Blank คือ ก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.13 ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยเทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

4.3.2 <u>กำลังต้านแรงอัด</u>

การเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.40 0.50 0.60 และ 0.70 ทำให้ค่ากำลังต้านแรงอัดของของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ดังแสดงในตารางที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบก้อนมอร์ตาทั้ง 3 ชนิดพบว่าค่ากำลังต้านแรงอัดที่อัตราส่วน 0.50 0.60 0.70 และ 0.40 มีค่ามากเรียงตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่ไม่การคัดแยกมูลฝอยกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 เป็นร้อยละ73 และ 82 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 เป็นร้อยละ 43 และ 53 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 เป็นร้อยละ 57 และ 63 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.70 เป็นร้อยละ 59 และ 63 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

และจะพบว่าค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่ามากกว่าก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย โดยค่ากำลังต้านแรงอัดเป็นร้อยละ 58 และ 65 ของกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

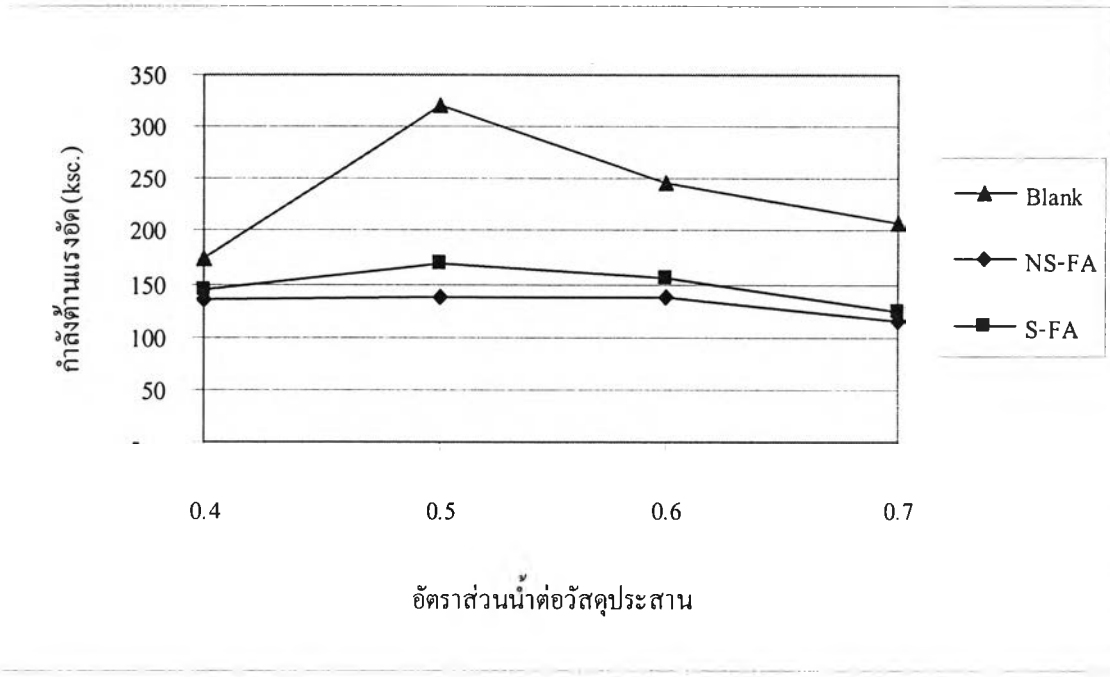
ตารางที่ 4.12 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ

ลำดับที่	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	กำลังต้านแรงอัด (ksc.)		
		Blank	NS-FA	S-FA
1	0.40	175	127	144
2	0.50	320	137	168
3	0.60	245	139	155
4	0.70	197	116	124

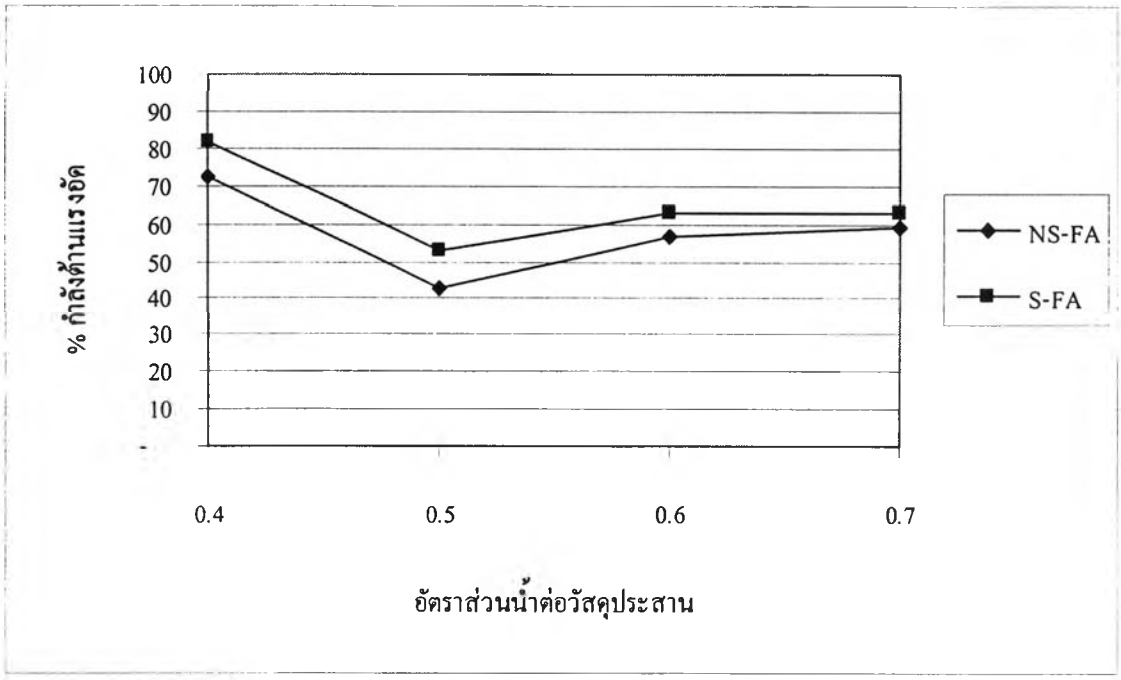
หมายเหตุ : Blank คือ ก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.14 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.15 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยเทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

4.3.3 พีเอช (pH)

การตรวจวัดค่าพีเอช(pH)ในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาของก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลต่อพีเอช เมื่อเปรียบเทียบน้ำชะละลายจากก้อนมอร์ตาทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าระดับพีเอชใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.13 พีเอช (pH) ในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ

ลำดับที่	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	พีเอช (pH)		
		Blank	NS-FA	S-FA
1	0.40	12.13	12.26	12.26
2	0.50	12.22	12.27	12.27
3	0.60	12.23	12.24	12.27
4	0.70	12.22	12.26	12.27

หมายเหตุ : Blank คือ ก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย
NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.3.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย

เมื่อทำการชะละลายของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ด้วยน้ำสกัดมาตรฐานและทำการวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectrometer ซึ่งโลหะหนักที่ทำการวัดได้แก่ Ag Ba Cd Cr และ Pb ซึ่งมีผลดังตารางที่ 4.14 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่าก้อนมอร์ตาทั้ง 3 ชนิด มีค่า Ag และ Cd ต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ส่วน Ba Cr และ Pb ไม่มีผลเปลี่ยนมากนัก ทั้งของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

ตารางที่ 4.14 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ

ลำดับที่	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	0.40	< 0.001	0.584	< 0.001	0.017	0.048
2	0.50	< 0.001	0.697	< 0.001	0.016	0.022
3	0.60	< 0.001	0.762	< 0.001	0.017	0.011
4	0.70	< 0.001	0.799	< 0.001	0.018	0.021

ตารางที่ 4.15 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ

ลำดับที่	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	0.40	< 0.001	0.538	< 0.001	< 0.001	0.372
2	0.50	< 0.001	0.850	< 0.001	< 0.001	0.417
3	0.60	< 0.001	0.809	< 0.001	< 0.001	0.413
4	0.70	< 0.001	0.781	< 0.001	< 0.001	0.577

ตารางที่ 4.16 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ

ลำดับที่	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	0.40	< 0.001	0.516	< 0.001	< 0.001	0.569
2	0.50	< 0.001	0.694	< 0.001	< 0.001	0.377
3	0.60	< 0.001	0.753	< 0.001	< 0.001	0.403
4	0.70	< 0.001	0.780	< 0.001	< 0.001	0.533

4.4 ผลการศึกษาระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง

การทดลองนี้ทำการหล่อก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ในอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์ 30% อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มที่มีต่อก้อนมอร์ตาในแต่ละด้าน ได้แก่ ความหนาแน่น ค่ากำลังต้านแรงอัด ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย และพีเอชของน้ำชะละลาย สามารถสรุปได้ดังนี้

4.4.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่ระยะเวลาการบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน ของมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้ อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ให้ผลดังตารางที่ 4.17 จะพบว่าระยะเวลาการบ่มไม่มีผลต่อความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาทั้ง 3 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยก และก้อนมอร์ตาที่มีการคัดแยกมูลฝอย กับก้อนมอร์ตามาตรฐานที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่ระยะเวลาการบ่ม 1 วัน คิดเป็นร้อยละ 97 และ 98 ที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน คิดเป็นร้อยละ 96 และ 94 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน คิดเป็นร้อยละ 94 และ 94 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน คิดเป็นร้อยละ 96 และ 97 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน คิดเป็นร้อยละ 96 และ 96 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งสามารถคิดเป็นความหนาแน่นเฉลี่ยร้อยละ 96 และ 96 ของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

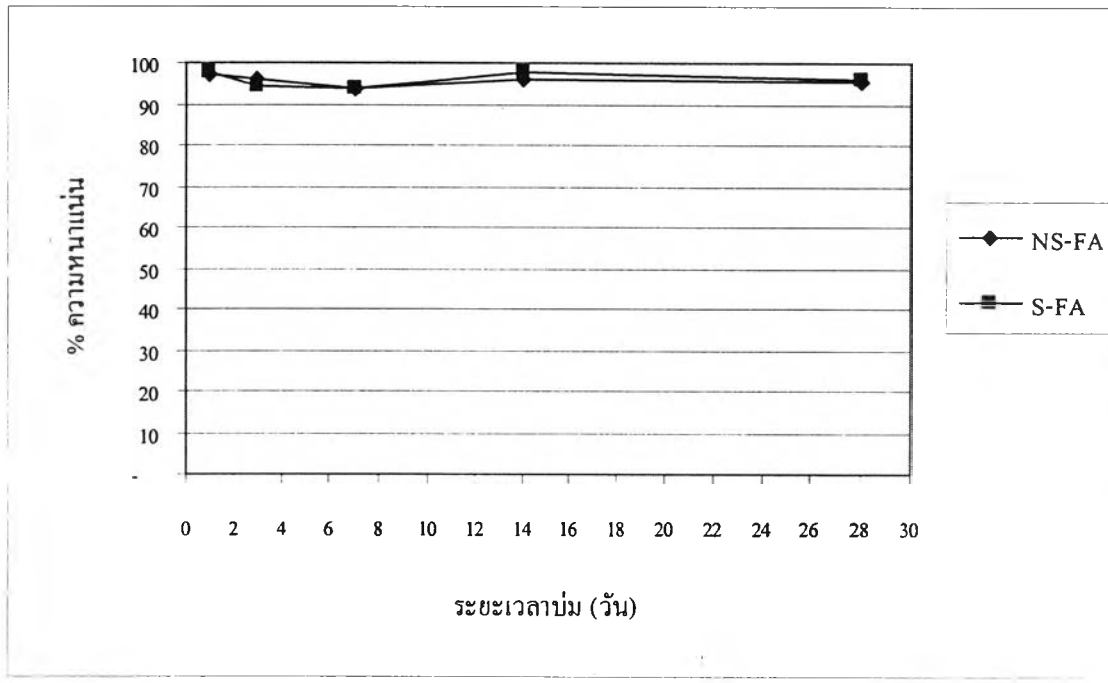
ตารางที่ 4.17 ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความหนาแน่น (kg/cu.m.)		
		Blank	NS-FA	S-FA
1	1	2,084	2,020	2,039
2	3	2,136	2,045	2,017
3	7	2,127	1,993	1,995
4	14	2,078	2,000	2,025
5	28	2,180	2,086	2,093

หมายเหตุ : Blank คือ ก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 4.16 ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย แ ละก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

4.4.2 <u>กำลังต้านแรงอัด</u>

การเปลี่ยนระยะเวลาการบ่มก้อนมอร์ตาที่ระยะเวลา 1 3 7 14 และ 28วัน ค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ดังแสดงในตารางที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มีค่ามากกว่าก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 4.17 เมื่อเปรียบเทียบค่ารับกำลังอัดเป็นร้อยละที่ระยะเวลาบ่มของก้อนตัวอย่าง 1 3 7 14 และ 28 เทียบกับระยะเวลาบ่ม 28 วัน ของก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย เท่ากับ 50 63 77 93 และ 100 ของก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย เท่ากับ 49 59 76 95 และ 100 ของก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยก เท่ากับ 47 60 72 89 และ 100 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18

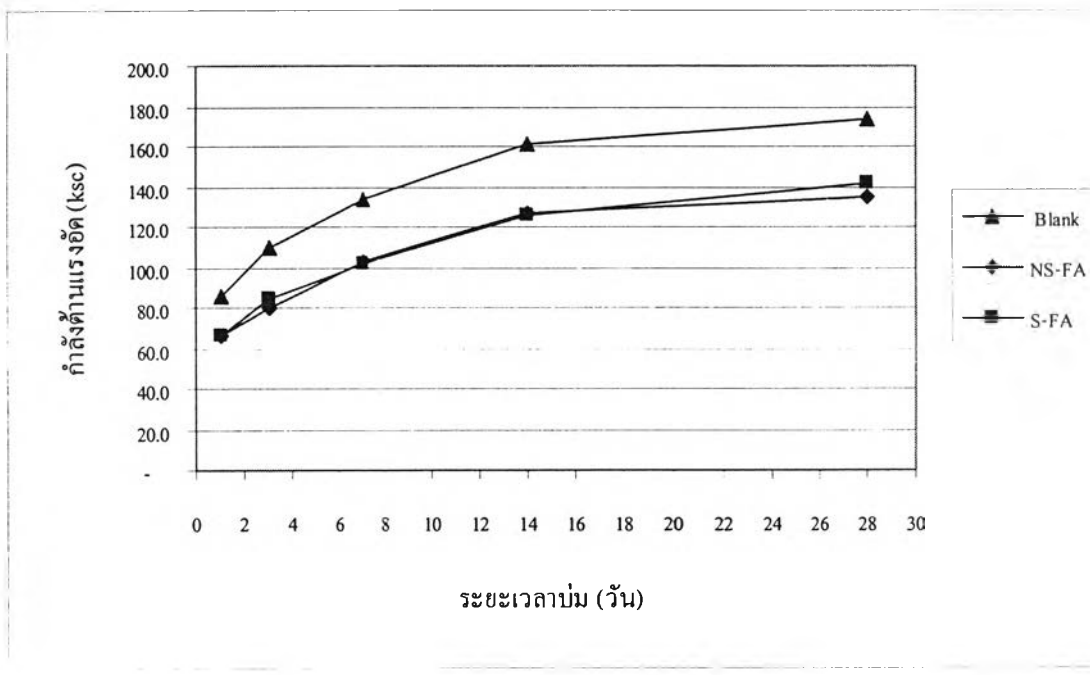
ตารางที่ 4.18 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	กำลังต้านแรงอัด (ksc.)		
		Blank	NS-FA	S-FA
1	1	86	66	67
2	3	109	80	85
3	7	134	103	102
4	14	161	127	126
5	28	173	135	142

หมายเหตุ : Blank คือ ก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

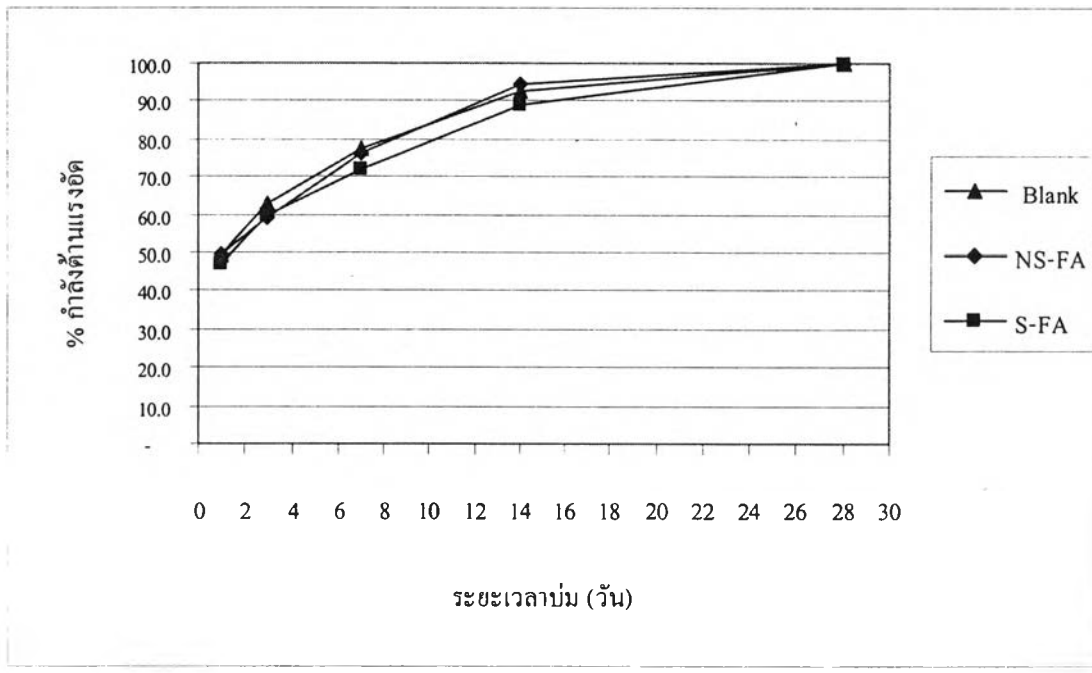
S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย



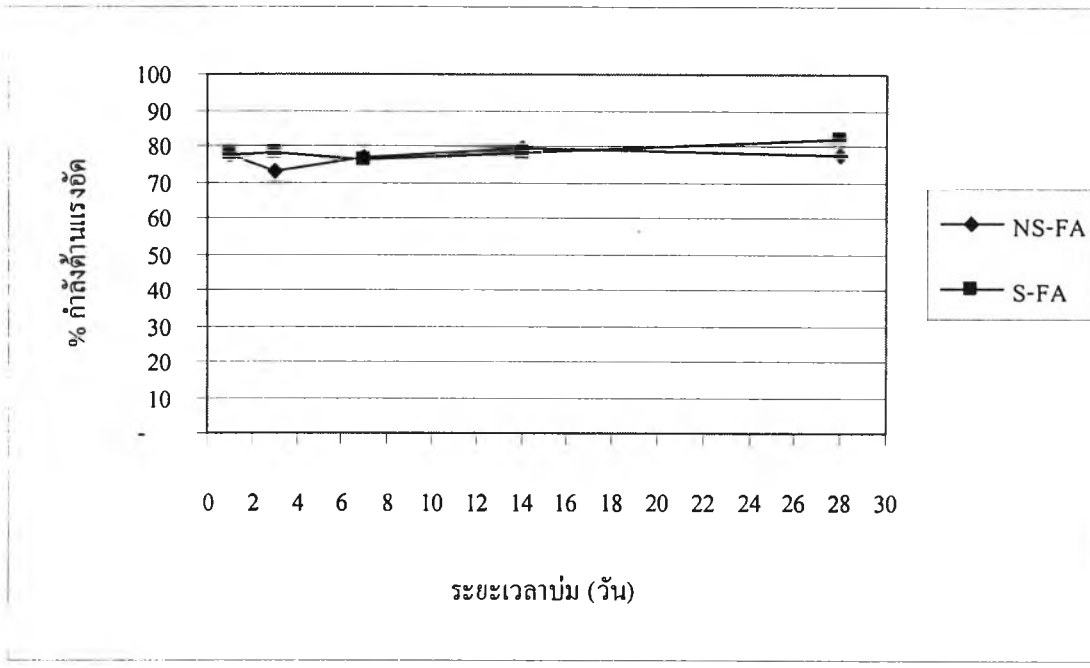
รูปที่ 4.17 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่ระยะเวลาบ่มก้อนตัวอย่าง 1 วัน คิดเป็นร้อยละ 77 และ 78 ที่ระยะเวลาบ่มก้อนมอร์ตา 3 วัน คิดเป็นร้อยละ 73 และ 78 ที่ระยะเวลาบ่มก้อนมอร์ตา 7 วัน คิดเป็นร้อยละ 77 และ 76 ที่ระยะเวลาบ่มก้อนมอร์ตา 14 วัน คิดเป็นร้อยละ 79 และ 78 ที่ระยะเวลาบ่มก้อนมอร์ตา 28 วัน คิดเป็นร้อยละ 78 และ 82 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

จะพบว่าค่ากำลังต้านแรงอัดก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกมูลฝอยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 77 และ 78 เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย



รูปที่ 4.18 กำลังต้านแรงอัดของก้อนก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ เทียบกับกำลังต้านแรงอัดที่ 28 วัน



รูปที่ 4.19 กำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เทียบกับก้อนก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

4.4.3 พีเอช (pH)

การตรวจวัดค่าพีเอชจากการชะละลายของน้ำสกัดมาตรฐาน ที่ระยะเวลาการบ่มก้อนมอร์ตา 1 3 7 14 และ 28 วัน ของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกมูลฝอย ดังแสดงในตารางที่ 4.19 จะพบว่าระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่างไม่ทำให้ค่าพีเอชของก้อนมอร์ตาเปลี่ยนแปลง โดยที่พีเอชของน้ำชะละลายของก้อนมอร์ตาทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.19 พีเอช (pH) ของน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ชนิดของก้อนตัวอย่าง		
		Blank	NS-FA	S-FA
1	1	12.25	12.22	12.22
2	3	12.27	12.22	12.23
3	7	12.26	12.19	12.22
4	14	12.27	12.22	12.22
5	28	12.27	12.22	12.21

หมายเหตุ : Blank คือ ก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย
NS-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-FA คือ ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.4.4 <u>ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย</u>

เมื่อทำการชะละลายของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ ด้วยน้ำสกัดมาตรฐานและทำการวัดปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP) ซึ่งโลหะหนักที่ทำการวัดได้แก่ Ag Ba Cd Cr และ Pb ซึ่งมีผลดังตารางที่ 4.20 4.21 และ 4.22 จะเห็นได้ว่าก้อนมอร์ตาทั้ง 3 ชนิด ปริมาณ Ag และ Cd ต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ส่วน Ba Cr และ Pb ค่าที่สามารถตรวจวัดได้ไม่มีแนวโน้มที่เห็นเด่นชัดเมื่อเทียบกับระยะเวลาการบ่มก้อนมอร์ตา ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาบ่มก้อนมอร์ตาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนัก ทั้งของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย

ตารางที่ 4.20 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	1	< 0.001	0.671	< 0.001	0.012	0.020
2	3	< 0.001	0.641	< 0.001	0.012	0.024
3	7	< 0.001	0.738	< 0.001	0.011	0.011
4	14	< 0.001	0.697	< 0.001	0.011	0.042
5	28	< 0.001	0.426	< 0.001	0.010	0.049

ตารางที่ 4.21 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	1	< 0.001	0.742	< 0.001	0.008	0.187
2	3	< 0.001	0.678	< 0.001	0.003	0.160
3	7	< 0.001	0.668	< 0.001	0.001	0.181
4	14	< 0.001	0.747	< 0.001	0.000	0.194
5	28	< 0.001	0.608	< 0.001	0.003	0.164

ตารางที่ 4.22 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	1	< 0.001	0.622	< 0.001	0.008	0.199
2	3	< 0.001	0.622	< 0.001	0.006	0.171
3	7	< 0.001	0.649	< 0.001	0.003	0.270
4	14	< 0.001	0.662	< 0.001	0.001	0.606
5	28	< 0.001	0.592	< 0.001	0.008	0.039

4.5 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วนของคอนกรีตบล็อก

ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมบางส่วนของวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อก โดยทำการเปรียบเทียบวัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งกำหนดอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเถ้าลอยมากที่สุดในวัสดุประสาน ซึ่งให้ค่ากำลังต้านแรงอัดที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57 – 2530) และผ่านมาตรฐานสำหรับสมบัติของสารพิษ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) จากการศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนัก (การทดลองที่ 2) ซึ่งส่วนผสมที่คัดเลือกมาทดลองได้แก่ อัตราส่วนเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 และกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่ให้ค่ากำลังต้านแรงอัดสูงสุดจากผลการศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน (การทดลองที่ 3) ซึ่งใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อส่วนผสมละเอียด เท่ากับ 1 ต่อ 2.75 ซึ่งส่วนผสมละเอียดที่ใช้ในการทำคอนกรีตบล็อกเป็นหินฝุ่นจากโรงโม่หิน ทำการทดลองที่โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก ทำการทดสอบที่ระยะเวลา 7 14 และ 28 วัน ให้ผลดังนี้

4.5.1 น้ำหนักก้อนคอนกรีตบล็อก

น้ำหนักก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่ระยะเวลา 7 14 และ 28 วัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.23 ซึ่งก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่าก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอยตามลำดับ เพียงเล็กน้อย และที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำหนักก้อนคอนกรีตบล็อกจะมีน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการเก็บก้อนคอนกรีตในอุณหภูมิห้องปริมาณน้ำในก้อนคอนกรีตจะระเหยออกไปตลอดเวลา

ตารางที่ 4.23 น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักก้อนคอนกรีตบล็อก /ก้อน (kg)		
		B-B	NS-B	S-B
1	7	7.43	7.40	7.37
2	14	7.40	7.23	7.37
3	28	7.33	7.13	7.30

หมายเหตุ : B-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย
NS-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.5.2 กำลังต้านแรงอัด

ค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอย ที่ระยะเวลา 7 14 และ 28 วัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.24 ซึ่งจะพบว่าก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่ากำลังต้านแรงอัดไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57–2530) ที่กำหนดค่ากำลังต้านแรงอัดสุทธิไว้ที่ 14 เมกกะปาสคาล หรือประมาณ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามกำลังต้านแรงอัดก้อนคอนกรีตบล็อกดังกล่าวสามารถใช้งานเป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 58–2530) ที่กำหนดค่ากำลังต้านแรงอัดสุทธิไว้ที่ 2.5 เมกกะปาสคาล หรือประมาณ 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สาเหตุที่กำลังต้านแรงอัดลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนมวลละเอียดจากทรายเป็นหินฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ต้องการน้ำน้อยกว่าส่วนผสมที่ใช้ทราย ดังนั้นน้ำส่วนเกินจึงทำให้ส่วนผสมเหลว ส่งผลให้ก้อนคอนกรีตบล็อกมีกำลังต้านแรงอัดลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่ารับกำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอยเทียบกับก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ที่ระยะเวลา 7 วัน คิดเป็นร้อยละ 51 และ 60 ที่ระยะเวลา 14 วัน คิดเป็นร้อยละ 61 และ 65 ที่ระยะเวลา 28 วัน คิดเป็นร้อยละ 51 และ 58 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 54 และ 61 ของกำลังต้านแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ดังนั้นหากต้องการเพิ่มกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 30 ให้สามารถผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57–2530) ควรมีการปรับลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้เหมาะสมเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินออกไป ซึ่งจะทำให้คอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้มีกำลังต้านแรงอัดมากขึ้น

ตารางที่ 4.24 กำลังต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลา (วัน)	ค่ารับกำลังอัด (ksc.)		
		B-B	NS-B	S-B
1	7	171	88	102
2	14	176	107	114
3	28	223	113	130

หมายเหตุ : B-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย
NS-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ที่มีการคัดแยกมูลฝอย
พื้นที่หน้าตัดสุทธิคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 143.8 ตารางเซนติเมตร

4.5.3 พีเอช (pH)

จากการตรวจวัดพีเอช (pH)ในน้ำชะละลายก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอย ดังแสดงในตารางที่ 4.25 พบว่ามีค่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก้อนตัวอย่างมอร์ตา ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนมวลรวมละเอียดจากทรายมาเป็นหินฝุ่น

ตารางที่ 4.25 พีเอช (pH) ของน้ำชะละลายคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ

ลำดับที่	ชนิดของคอนกรีตบล็อก	พีเอช (pH)
1	B-B	11.94
2	NS-B	11.87
3	S-B	11.97

หมายเหตุ : B-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย
NS-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.5.4 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย

เมื่อทำการทดสอบปริมาณโลหะหนัก Ba Ag Cd Cr และ Pb ในน้ำชะละลายก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอย ดังแสดงในตารางที่ 4.26 คอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ชนิดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสำหรับสมบัติของสารพิษ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

ตารางที่ 4.26 ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะคอนกรีตบล็อกชนิดต่างๆ

ลำดับที่	ชนิดคอนกรีตบล็อก	ปริมาณโลหะหนัก (mg/l)				
		Ag	Ba	Cd	Cr	Pb
	ค่ามาตรฐาน	< 5.00	< 100.00	< 1.00	< 5.00	< 5.00
1	B-B	< 0.001	0.768	< 0.001	0.022	0.262
2	NS-B	< 0.001	0.449	< 0.001	0.063	0.523
3	S-B	< 0.001	0.406	< 0.001	0.037	0.147

หมายเหตุ : B-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย
NS-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย
S-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.5.5 การดูดกลืนน้ำ

การดูดกลืนน้ำเป็นการทดสอบการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเป็นร้อยละของวัสดุแห้ง หลังจากแช่ไว้ในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนดตาม มอก. 243-2520 จากการทดลองค่าดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอย เท่ากับร้อยละ 5.95 4.98 และ 2.11 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.27 ซึ่งน้อยกว่าที่กำหนดไว้ใน มอก. 57 – 2530

ตารางที่ 4.27 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตชนิดต่างๆ

ลำดับที่	ชนิดคอนกรีตบล็อก	การดูดกลืนน้ำ (%)
1	B-B	5.95
2	NS-B	4.98
3	S-B	2.11

หมายเหตุ : B-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

NS-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย

S-B คือ ก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ที่มีการคัดแยกมูลฝอย

4.5.6 <u>การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อค</u>

เปรียบเทียบรายละเอียดประมาณการค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน โดยใช้ส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าลอย เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 10 20 และ 30 ซึ่งให้ค่ากำลังต้านแรงอัดในระดับที่ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57 – 2530) ใช้อัตราส่วน วัสดุประสาน : หินฝุ่น : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.75 : 0.50 โดยน้ำหนัก โดยคิดค่าแรง ค่าพลังงานและค่าดำเนินการ 20 % ของค่าวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าลอย ซึ่งมีค่าใช้จ่ายประมาณ 1.00 บาท / ก้อน และใช้ค่าดังกล่าวเป็นค่าแรง ค่าพลังงานและค่าดำเนินการของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยคิดให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมเถ้าลอยทั้งสองชนิดเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4.28 และ 4.29 จะพบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน เท่ากับ 5.98 บาท เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน และเท่ากับ 5.53 5.07 และ 4.62 บาท ราคาที่แสดงไม่ได้รวมผลประโยชน์ในด้านที่สามารถลดการลงทุนในการสร้างบ่อฝังกลบเถ้าลอย หากไม่ได้เถ้าลอยเอามาใช้ประโยชน์

ตารางที่ 4.28 ราคาวัสดุเพื่อประมาณการค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน

ส่วนประกอบ	ราคา (บาท/หน่วย)	น้ำหนัก/หน่วย (กก.)	ราคา (บาท/กก.)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	130 บาท/ถุง	50 กก.	2.6
หินฝุ่น	200 บาท/ลบ.ม.	2,500 กก.	0.080
น้ำ	10 บาท/ลบ.ม.	1,000 กก.	0.01
เถ้าลอย	-	-	-

ตารางที่ 4.29 ประมาณการค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน เมื่อใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบ	คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมเถ้าลอย		คอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมผสมเถ้าลอยร้อยละ 10		คอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมผสมเถ้าลอยร้อยละ 20		คอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมผสมเถ้าลอยร้อยละ 30	
	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ราคา (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	1.76	4.58	1.59	4.13	1.41	3.67	1.24	3.22
หินฝุ่น	4.85	0.39	4.85	0.39	4.85	0.39	4.85	0.39
น้ำ	0.88	0.01	0.88	0.01	0.88	0.01	0.88	0.01
เถ้าลอย	-	-	0.18	-	0.35	-	0.53	-
ค่าแรง ค่าพลังงาน และค่าดำเนินการ ประมาณ 20 % ของค่าวัสดุ	-	1.00	-	1.00	-	1.00	-	1.00
รวมราคา (บาท)	-	**5.98**	-	**5.53**	-	**5.07**	-	**4.62**

หมายเหตุ : น้ำหนักก้อนคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 7.50 กก. / ก้อน