

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การทดสอบสมบัติของผงถ่านไฟฉายที่ใช้แล้ว

การวิจัยนี้ใช้ผงถ่านไฟฉาย ซึ่งบรรจุในก้อนถ่านไฟฉายประเภทคาร์บอน-สังกะสี ขนาดใหญ่ที่ใช้แล้ว โดยรวบรวมจากสถานีขนถ่ายอื้อนุชช่วงเดือน ก.พ.-มี.ค. 2540 ประมาณ 500 ก้อน โดยพบว่ากว่าร้อยละ 90 เป็นถ่านไฟฉาย B06 ซึ่งเป็นถ่านไฟฉายที่มีปริมาณการผลิตและการใช้งานสูงสุดเมื่อเทียบกับถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่น โดยพบว่ามีสมบัติต่างๆ ดังนี้

5.1.1 สมบัติทางกายภาพ

โดยทำการทดสอบเฉพาะถ่านไฟฉาย B06 ขนาดใหญ่ เมื่อนำมาแกะออกพบว่าภายในประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 5.1 โดยประกอบด้วยส่วนที่เป็นโลหะร้อยละ 27.0, ส่วนที่เป็นพลาสติกร้อยละ 2.7, กระดาษร้อยละ 0.2, แท่งคาร์บอนร้อยละ 5.8 และผงถ่านไฟฉายร้อยละ 64.3 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบต่างๆ ภายในก้อนถ่านไฟฉาย

ตารางที่ 5.1 ร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนประกอบต่างๆ ภายในก้อนถ่านไฟฉาย

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
โลหะ	27.0
พลาสติก	2.7
กระดาษ	0.2
แท่งคาร์บอน	5.8
ผงถ่านไฟฉาย	64.3

เมื่อนำผงถ่านไฟฉาย B06 มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น, ความถ่วงจำเพาะ และการกระจายขนาดคละ ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

5.1.1.1 ปริมาณความชื้น

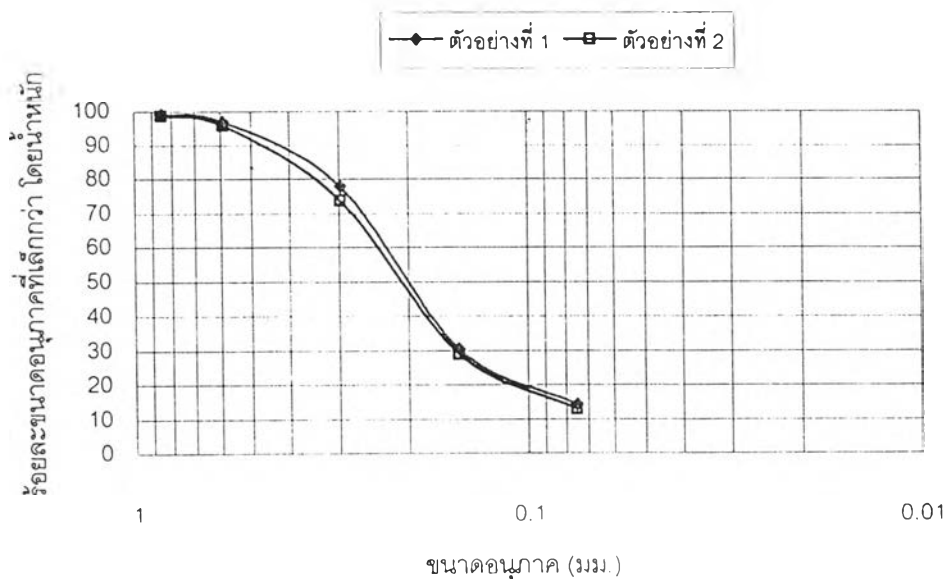
ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2216-92 พบว่าผงถ่านไฟฉายมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 3.7

5.1.1.2 ความถ่วงจำเพาะ

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 854-58 พบว่าผงถ่านไฟฉายมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 3.03

5.1.1.3 การกระจายขนาดคละ

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 422-63 พบว่าผงถ่านไฟฉายมีการกระจายขนาดดังแสดงในรูปที่ 5.2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.2 มม.



รูปที่ 5.2 การกระจายขนาดคละของผงถ่านไฟฉาย

5.1.2 สมบัติทางเคมีของผงถ่านไฟฉาย

ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของผงถ่านไฟฉายยี่ห้อต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักต่างๆ ในผงถ่านไฟฉาย และทดสอบการชะละลายวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดตามวิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม(ประกาศกรมโรงงาน ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2531) ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

5.1.2.1 ปริมาณโลหะหนักในผงถ่านไฟฉาย

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผงถ่านไฟฉาย ด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม แสดงในตารางที่ 5.2 พบว่าถ่านไฟฉายยี่ห้อ B06 มีปริมาณแคดเมียมสูงสุด คือ 77.19 มก./กก., ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B10 มีปริมาณปรอทสูงสุด คือ 80.56 มก./กก., ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B03 มีปริมาณแมงกานีสสูงสุด คือ 259.24 ก./กก., ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B08 มีปริมาณตะกั่วสูงสุด คือ 0.88 ก./กก. และถ่านไฟฉายยี่ห้อ B04 มีปริมาณสังกะสีสูงสุด คือ 258.25 ก./กก. ส่วนอาร์เซนิกและโครเมียม ตรวจพบในปริมาณที่ต่ำมาก นอกจากนี้พบว่ามีปริมาณคลอไรด์ระหว่าง 121.8-192.5 ก./กก. ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผงถ่านไฟฉายยี่ห้อต่างๆ

ยี่ห้อ	As (มก./กก.)	Cd (มก./กก.)	Cr (มก./กก.)	Hg (มก./กก.)	Mn (ก./กก.)	Pb (ก./กก.)	Zn (ก./กก.)	Cl (ก./กก.)
B01	0.26	8.82	-	1.20	239.36	0.11	97.14	121.8
B02	1.79	56.78	-	6.12	197.18	0.46	216.19	124.5
B03	-	10.17	-	1.12	259.24	0.11	151.27	155.5
B04	-	58.75	-	4.36	228.16	0.60	258.25	172.8
B05	-	60.50	-	0.51	229.62	0.80	225.76	137.3
B06	1.21	77.19	-	41.09	156.58	0.17	158.97	169.9
B07	0.06	31.05	-	0.54	211.13	0.42	208.07	131.1
B08	1.55	28.89	-	0.85	174.62	0.88	196.90	124.5
B09	0.30	3.20	-	0.82	236.64	0.83	229.86	192.6
B10	0.92	18.13	-	80.56	186.20	0.19	206.19	164.0

หมายเหตุ - = น้อยมาก

5.1.2.2 การทดสอบการชะละลาย

จากการนำผงถ่านไฟฉายยี่ห้อต่างๆ มาทดสอบการชะละลายตามวิธีการสกัดสารในประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 5.3 พบว่า ผงถ่านไฟฉายส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทสารมีพิษ เนื่องจากมีความเข้มข้นของแคดเมียมและปรอทสูงเกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 พ.ศ. 2531) ซึ่งกำหนดให้แคดเมียมไม่เกิน 1.00 มก./ล. และปรอทไม่เกิน 0.20 มก./ล. จากตารางที่ 5.3 พบว่าถ่านไฟฉายยี่ห้อ B06 มีความเข้มข้นของแคดเมียมสูงสุด คือ 3.79 มก./ล. ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B10 มีความเข้มข้นของปรอทสูงสุด คือ 4.42 มก./ล. ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B07 มีความเข้มข้นของแมงกานีสสูงสุด คือ 1121.67 มก./ล. ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B01 มีความเข้มข้นของสังกะสีสูงสุด คือ 2195.07 มก./ล. ส่วนความเข้มข้นของอาร์เซนิก, โครเมียม และตะกั่ว ตรวจพบในปริมาณที่ต่ำมาก

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการชะละลายวิเคราะห์ความเข้มข้น
ของโลหะหนักในน้ำสกัดในผงถ่านไฟฉายยี่ห้อต่างๆ

ยี่ห้อ	As (มก./ล.)	Cd (มก./ล.)	Cr (มก./ล.)	Hg (มก./ล.)	Mn (มก./ล.)	Pb (มก./ล.)	Zn (มก./ล.)
B01	1.0	0.21	< 0.06	3.3	161.28	< 0.1	2195.07
B02	3.9	1.34	< 0.06	7.0	350.68	< 0.1	372.93
B03	< 0.2	1.47	< 0.06	207.8	685.11	< 0.1	893.60
B04	0.8	1.65	< 0.06	2.3	462.92	< 0.1	1382.77
B05	< 0.2	1.70	< 0.06	1.0	991.22	< 0.1	214.70
B06	1.7	3.79	< 0.06	1236.7	2.16	< 0.1	313.17
B07	1.0	2.23	< 0.06	3.5	1121.67	< 0.1	1668.43
B08	2.5	0.67	< 0.06	2.3	41.78	< 0.1	267.70
B09	1.5	0.02	< 0.06	3.3	1.70	< 0.1	1681.17
B10	1.6	0.74	< 0.06	4422.3	25.49	< 0.1	440.20
มาตรฐาน (มก./ล.)*	< 5.00	< 1.00	< 5.00	< 0.20		< 5.00	

* ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531)

เนื่องจากผงถ่านไฟฉายส่วนใหญ่จึงจัดอยู่ในประเภทสารมีพิษ (ยกเว้นผงถ่านไฟฉายยี่ห้อ B01, B08 และ B09) จึงจำเป็นต้องนำไปทำลายฤทธิ์ต่อไป จากตารางที่ 5.3 พบว่าผงถ่านไฟฉายยี่ห้อ B06 มีความเข้มข้นของแคดเมียมสูงสุด เท่ากับ 3.79 มก./ล. และความเข้มข้นของปรอท เท่ากับ 1.237 มก./ล. รวมทั้งมีปริมาณการผลิตและการใช้งานสูงกว่าถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นๆ ในขณะที่ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B10 มีปริมาณการผลิตต่ำ ไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้ถ่านไฟฉายยี่ห้อ B06 ในการศึกษาขั้นต่อไป แต่จะนำผลที่ได้ไปใช้กับถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นๆ ที่มีปริมาณโลหะหนักตัวอื่นสูงกว่าถ่านไฟฉายยี่ห้อ B06 ในตอนท้ายของการศึกษาครั้งนี้ด้วย

5.2 การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้นในการทำให้เป็นก้อนแข็ง

เนื่องจากปริมาณน้ำในการทำให้เป็นก้อนแข็ง ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์และปูนขาว และปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับผงถ่านไฟฉาย ดังนั้นการทดลองขั้นนี้จึงแบ่งออกเป็น

5.2.1 การทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์, ผงถ่านไฟฉาย และปูนขาว

5.2.1.1 การทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ โดยทำการหล่อก้อนตัวอย่างด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (ไม่มีผงถ่านไฟฉายในส่วนผสม) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.3, 0.4 และ 0.5 นำไปบ่มเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.4 พบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.4 ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 286.0 กก./ตร.ซม. จึงเลือกใช้ค่านี้เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ เพื่อใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์

วัสดุประสาน	น้ำซีเมนต์	กำลังรับแรงอัด(กก./ตร.ซม.)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	0.3	272.2
	0.4	286.0
	0.5	116.2

5.2.1.2 การทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับผงถ่านไฟฉาย โดยทำการหล่อก้อนตัวอย่างด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.1 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 ทำการเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับผงถ่านไฟฉายอีก 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 เท่าของน้ำหนักผงถ่านไฟฉาย นำไปบ่มเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.5 พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำอีก 0.1 เท่าของน้ำหนักผงถ่านไฟฉาย ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด จึงเลือกใช้ค่านี้เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับผงถ่านไฟฉาย เพื่อใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับผงถ่านไฟฉาย

วัสดุประสาน	ผงถ่านไฟฉาย/ วัสดุประสาน	น้ำ/ซีเมนต์	น้ำ/ผงถ่านไฟฉาย	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ประเภท 1	0.1	0.4	0	92.0
	0.1	0.4	0.1	121.1
	0.1	0.4	0.2	แตกร้าว
	0.1	0.4	0.3	แตกร้าว

5.2.1.3 การทดสอบปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับปูนขาว โดยทำการหล่อก้อนตัวอย่างด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมปูนขาว (1:1) ที่สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.1 โดยเติมน้ำเท่ากับ 0.4 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์ + 0.1 เท่าของน้ำหนักผงถ่านไฟฉาย แล้วทำการเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับปูนขาวอีก 0, 0.25, 0.50 และ 0.75 เท่าของน้ำหนักปูนขาว นำไปบ่มเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.6 พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำอีก 0.50 เท่าของน้ำหนักปูนขาว ให้ค่ากำลังรับแรงสูงสุด จึงเลือกใช้น้ำนี้เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับปูนขาว เพื่อใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.6 ผลการหาปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยากับปูนขาว

วัสดุประสาน	ผงถ่านไฟฉาย/ วัสดุประสาน	น้ำ/ซีเมนต์	น้ำ/ ผงถ่านไฟฉาย	น้ำ/ปูนขาว	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 + ปูนขาว (1:1)	0.1	0.4	0.1	0	ไม่เข้ากัน*
	0.1	0.4	0.1	0.25	ไม่เข้ากัน*
	0.1	0.4	0.1	0.50	77.3
	0.1	0.4	0.1	0.75	แตกร้าว

หมายเหตุ * ปริมาณน้ำน้อยเกินไป ไม่สามารถผสมซีเมนต์, ผงถ่านไฟฉาย และปูนขาวให้เป็นเนื้อเดียวกันได้

5.2.2 การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ทำการหล่อก้อนตัวอย่างโดยใช้วัสดุประสาน 5 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5, ปูนซีเมนต์ซิลิกา, ปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมปูนขาว 25 % และปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมทราย 25 % ทำการแปรสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานตั้งแต่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 (โดยน้ำหนัก) แล้วนำไปบ่มเป็นเวลา 14 และ 28 วัน นำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด, ความหนาแน่น และชะละลายวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัด ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

5.2.2.1 กำลังรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน แสดงในตารางที่ 5.7 และสรุปผลได้ดังนี้คือ

5.2.2.1.1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัสดุประสาน

สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน 0.1 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 167.4 กก./ตร.ซม. และ 200.4 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.2 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดต่ำมากเหลือเพียง 6.0 กก./ตร.ซม. และ 8.4 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัว และที่ 28 วัน กำลังรับแรงอัดเหลือเพียง 3.9 กก./ตร.ซม.

5.2.2.1.2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 (ปูนซีเมนต์ทนซัลเฟต) เป็นวัสดุประสาน

สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน 0.1 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 144.0 กก./ตร.ซม. และ 167.0 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.2 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดต่ำมากเหลือเพียง 1.9 กก./ตร.ซม. และ 2.0 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 พบว่าก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัว

5.2.2.1.3 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซิลิกา(มีทรายผสมประมาณร้อยละ 25-30) เป็นวัสดุประสาน

สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน 0.1 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 176.3 กก./ตร.ซม. และ 221.2 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.2 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน กำลังรับแรงอัดต่ำมากเหลือเพียง 5.8 กก./ตร.ซม. และ 5.9 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 พบว่าที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัวและที่ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 4.0 กก./ตร.ซม.

5.2.2.1.4 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซิลิกาผสมปูนขาวร้อยละ 25 เป็นวัสดุประสาน

การผสมปูนขาวร้อยละ 25 % ส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาอย่างเดียว โดยพบว่าที่สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน 0.1 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 97.3 กก./ตร.ซม. และ 118.0 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.2 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน ก้อนตัวอย่างไม่แข็งตัว และที่ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 4.3 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 พบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำมาก

5.2.2.1.5 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซิลิกาผสมทรายร้อยละ 25 เป็นวัสดุประสาน

พบว่า การผสมทรายลงในปูนซีเมนต์ซิลิกา ส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำมาก ทุกสัดส่วนผสม

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน พบว่าที่สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.2 กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) กำหนด คือ 14.0 กก./ตร.ซม. ทุกตัวอย่าง แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 (ในขณะที่ทำการบ่มพบว่ามีการเกิดแอ้มโม่เนียบเกิดขึ้นมาก) เมื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดพบว่า มีค่าต่ำมาก ซึ่งอาจเป็นเพราะเกลือคลอไรด์และแอ้มโม่เนียบในผงถ่านไฟฉายต่อต้านปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่สัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน 0.2 - 0.3 มีค่าต่ำมาก

5.2.2.2 ความหนาแน่น

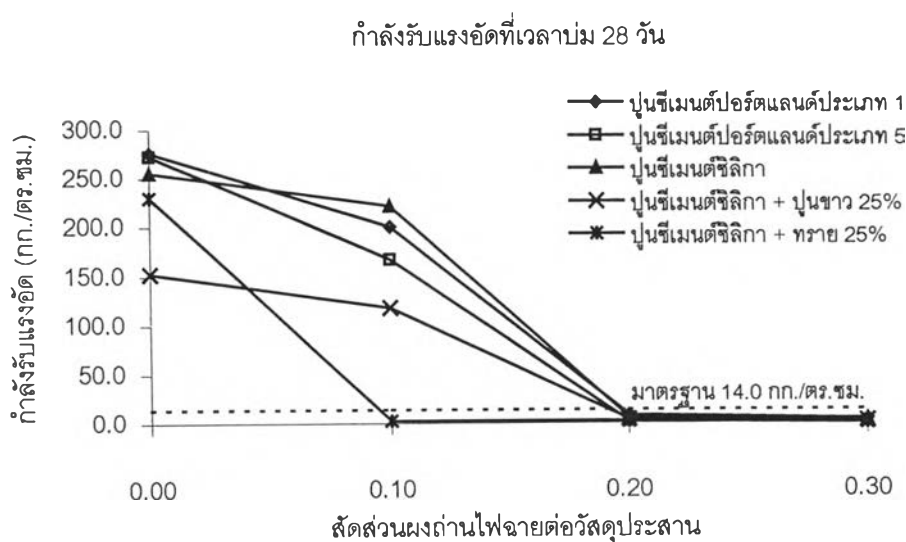
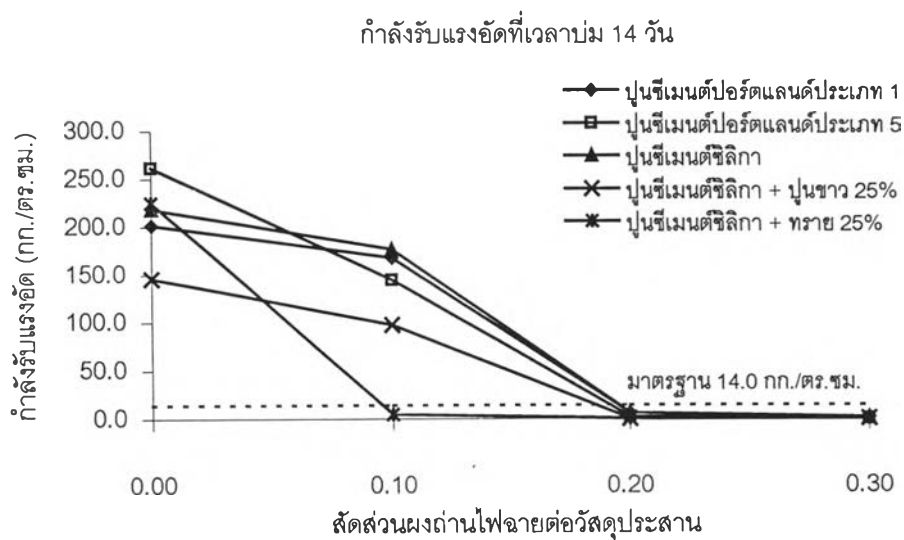
จากตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.4 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.9-2.1 ตัน/ลบ.ม. ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐานที่กำหนด คือ 1.04 ตัน/ลบ.ม.

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

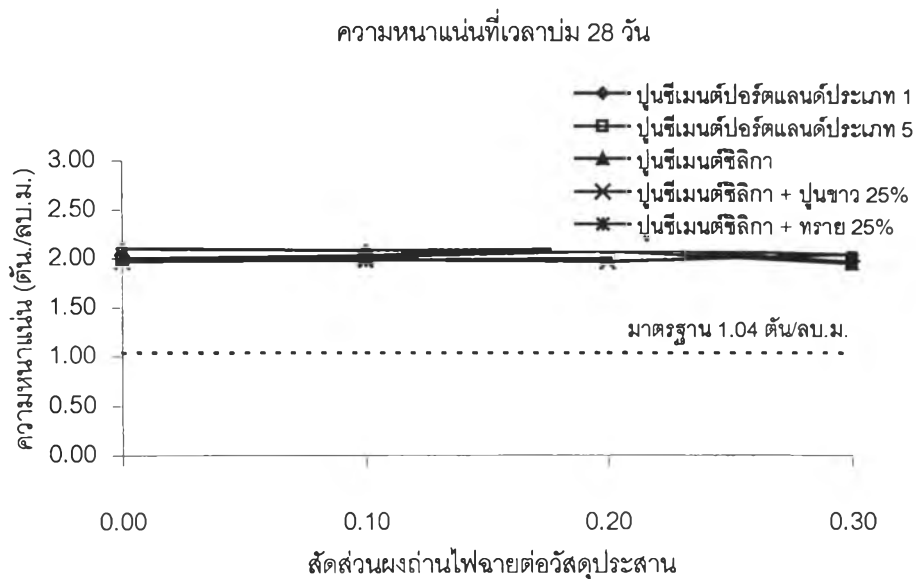
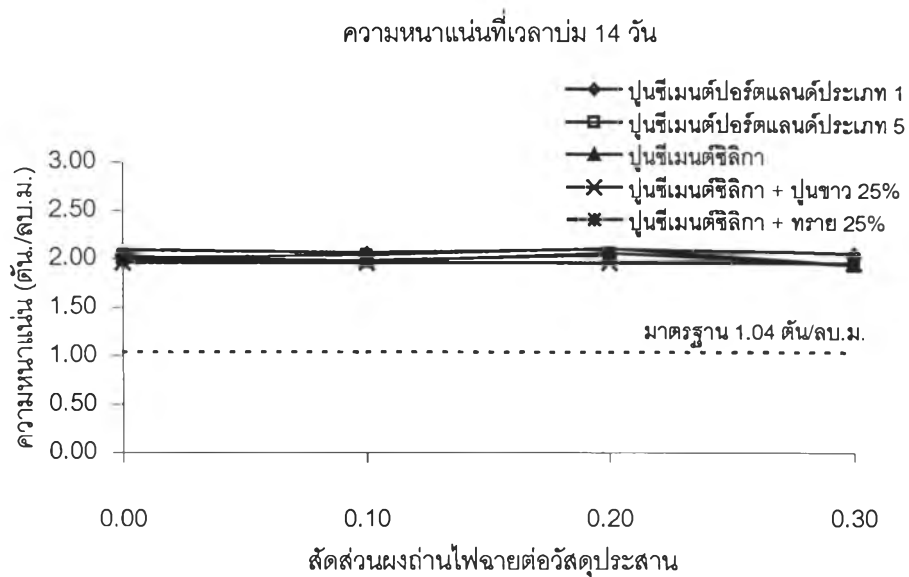
วัสดุประสาน	ผงถ่านไฟฉาย/ วัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	
		บ่ม 14 วัน	บ่ม 28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	0	200.8	275.8
	0.1	167.4	200.4
	0.2	6.0	8.4
	0.3	ไม่แข็งตัว	3.9
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5	0	261.5	273.0
	0.1	144.0	167.0
	0.2	1.9	2.0
	0.3	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	0	218.0	255.2
	0.1	176.3	221.2
	0.2	5.8	5.9
	0.3	ไม่แข็งตัว	4.0
ปูนซีเมนต์ซีลิกา+ปูนขาว 25% โดยน้ำหนัก	0	145.3	152.0
	0.1	97.5	118.0
	0.2	ไม่แข็งตัว	4.3
	0.3	ไม่แข็งตัว	2.0
ปูนซีเมนต์ซีลิกา+ทราย 25% โดยน้ำหนัก	0	224.7	230.0
	0.1	5.0	2.7
	0.2	ไม่แข็งตัว	2.3
	0.3	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
มาตรฐานกรมโรงงานฯ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)		14.0 กก./ตร.ซม.	

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบความหนาแน่น จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

วัสดุประสาน	ผงถ่านไฟฉาย/ วัสดุประสาน	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
		บ่ม 14 วัน	บ่ม 28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	0	2.09	2.10
	0.1	2.06	2.08
	0.2	2.10	2.09
	0.3	ไม่แข็งตัว	2.04
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5	0	2.01	2.00
	0.1	2.04	2.03
	0.2	2.11	2.12
	0.3	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	0	2.02	2.00
	0.1	1.97	2.01
	0.2	2.06	2.07
	0.3	ไม่แข็งตัว	1.95
ปูนซีเมนต์ซิลิกา+ปูนขาว 25% โดยน้ำหนัก	0	1.96	1.97
	0.1	1.96	1.99
	0.2	ไม่แข็งตัว	1.97
	0.3	ไม่แข็งตัว	2.04
ปูนซีเมนต์ซิลิกา+ทราย 25% โดยน้ำหนัก	0	2.00	1.98
	0.1	1.98	1.98
	0.2	ไม่แข็งตัว	2.00
	0.3	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
มาตรฐานกรมโรงงานฯ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)		1.04 ตัน/ลบ.ม.	



รูปที่ 5.3 กำลังรับแรงอัด ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น



รูปที่ 5.4 ความหนาแน่น ที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

5.2.2.3 สมบัติของน้ำสกัด

ค่าพีเอช, ความนำไฟฟ้า, ความเป็นด่าง และความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.9 และ 5.10 กล่าวคือ

ค่าพีเอชของน้ำสกัดมีค่าค่อนข้างสูง โดยมีค่า pH 10.64-12.40 เนื่องจากการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์ จากรูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน พีเอชของน้ำสกัดมีค่าลดลง สาเหตุอาจมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง ทำให้การละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าลดลง

สำหรับความเป็นด่างของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าลดลงตามปริมาณผงถ่านไฟฉายที่เพิ่มขึ้นในสัดส่วนผสม เช่นเดียวกับค่าพีเอช ดังรูปที่ 5.6 และพบว่าการลดปริมาณปูนซีเมนต์โดยการผสมทรายจะมีผลทำให้ความเป็นด่างของน้ำสกัดลดลง

ส่วนความนำไฟฟ้าของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าลดลงตามสัดส่วนผสมผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.7 เนื่องจากความนำไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากองค์ประกอบของซีเมนต์ เพราะในก้อนตัวอย่างมีปริมาณวัสดุประสานมากเมื่อเทียบกับปริมาณผงถ่านไฟฉาย เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานทำให้ปริมาณวัสดุประสานที่ใช้ลดลงส่งผลให้ความนำไฟฟ้าลดลง

นอกจากนี้ จากตารางที่ 5.10 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้มาก ทุกตัวอย่าง เนื่องปริมาณวัสดุประสานมีค่ามากเมื่อเทียบกับปริมาณผงถ่านไฟฉายในก้อนตัวอย่าง ทำให้น้ำสกัดมีค่าพีเอชและความเป็นด่างสูง ทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปที่ละลายได้น้อยมาก โดยพบว่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ คือ 0.2 มก./ล. เนื่องจากในผงถ่านไฟฉายมีปริมาณอาร์เซนิกต่ำ

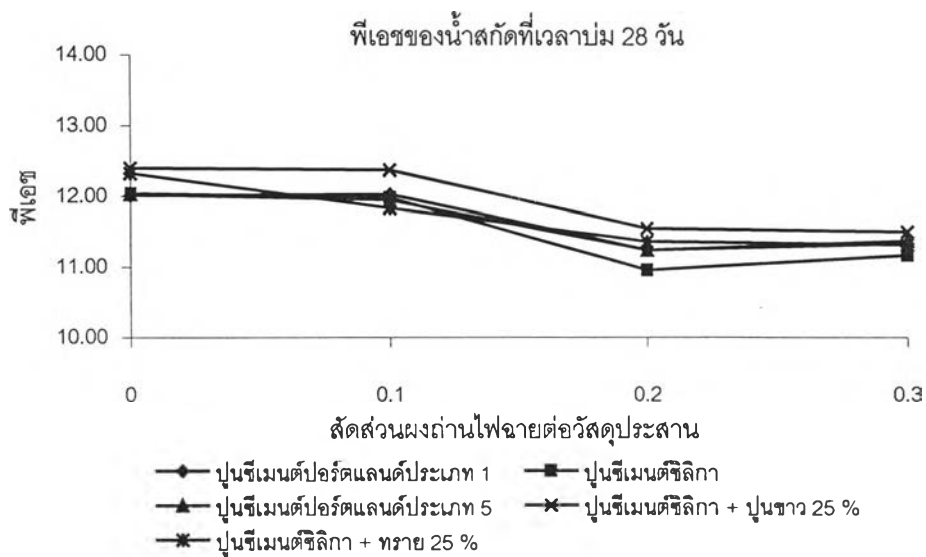
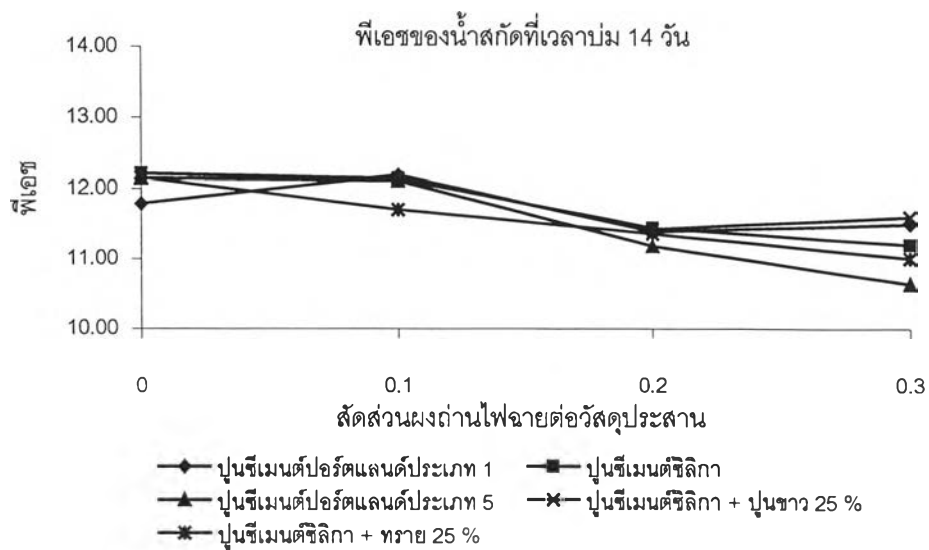
ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมและปรอท มีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้มาก

สำหรับความเข้มข้นของแมงกานีส และสังกะสี ซึ่งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) ไม่ได้ระบุไว้ แต่เนื่องจากการดำเนินการฝังกลบ กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดให้มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อสูบที่รวบรวมได้จากชั้นรวบรวมน้ำของหลุมฝังกลบทุกครั้งก่อนที่จะระบายออกทิ้ง โดยจะต้องมีความสกปรกไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงนำค่าความเข้มข้นของแมงกานีสและสังกะสีในน้ำสกัด ไปเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดความเข้มข้นของแมงกานีสและสังกะสี ไว้ไม่เกิน 5.0 มก./ล.

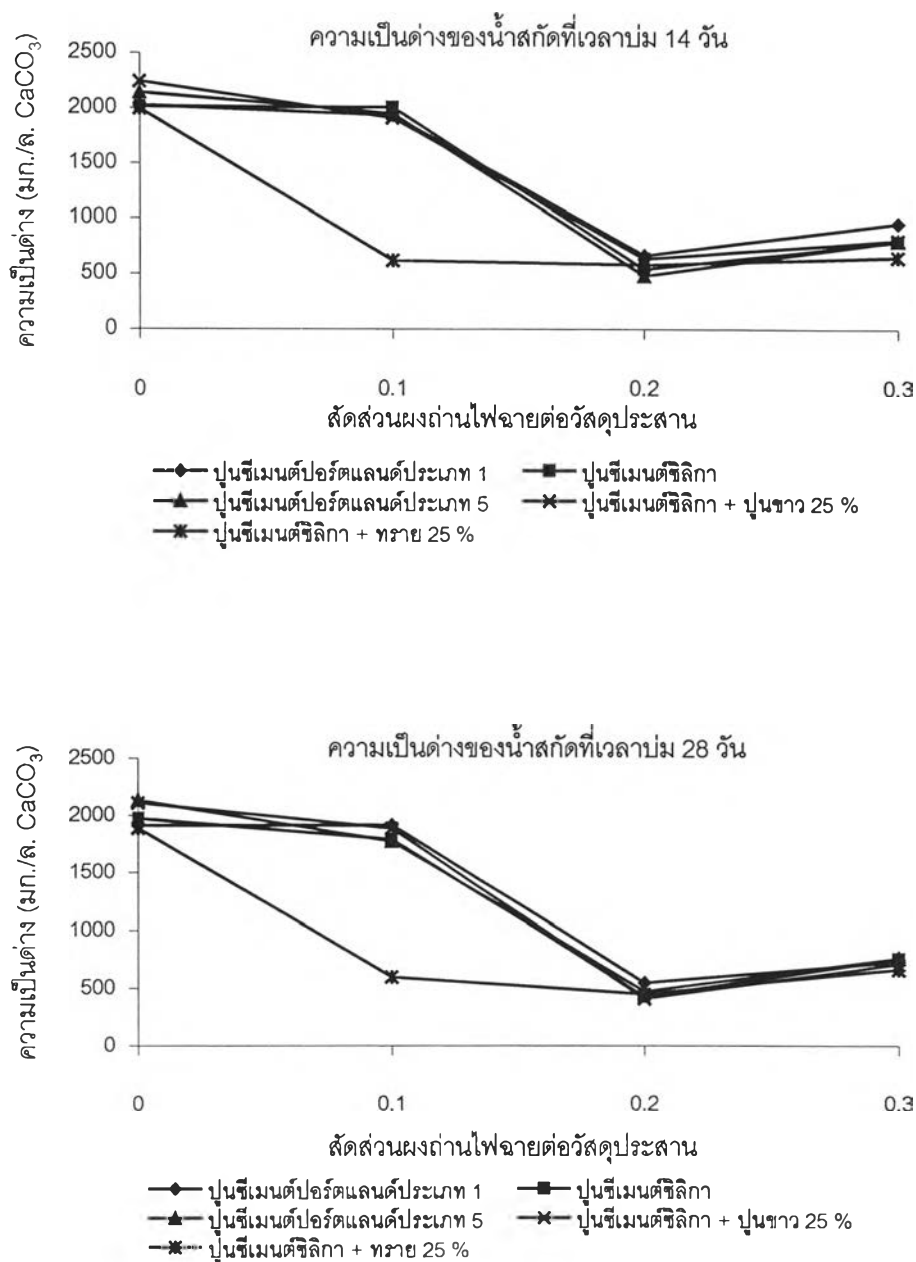
จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแมงกานีส และสังกะสี มีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสาน แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งดังกล่าว

ตารางที่ 5.9 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้าของน้ำสกัด
จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

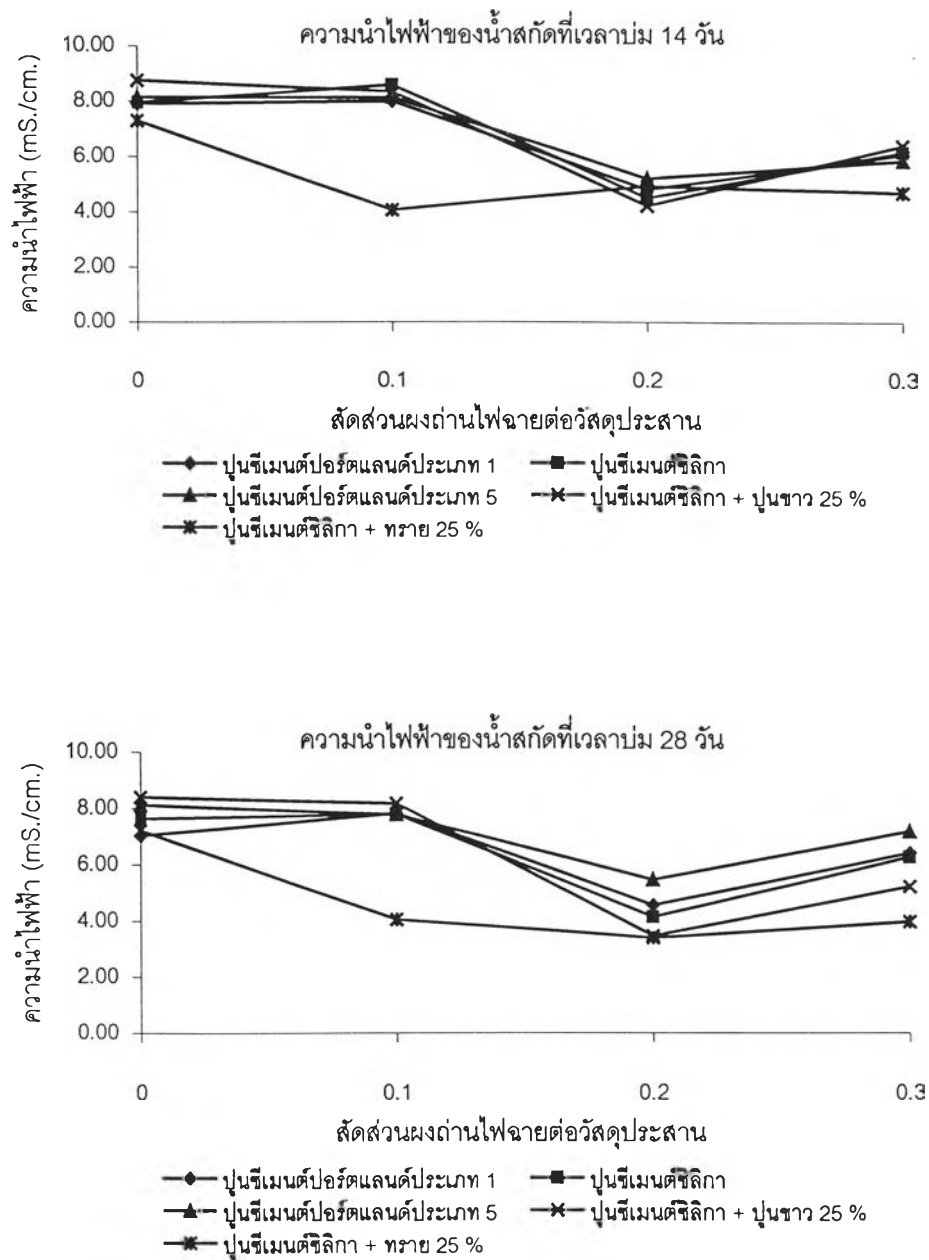
วัสดุประสาน	ผงถ่านไฟฉาย /วัสดุประสาน	p H		Alk.(มก./ล.CaCO ₃)		Conduct.(mS/cm)	
		14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	0	11.78	12.01	2022	1912	7.90	7.03
	0.1	12.19	12.03	1932	1919	7.99	7.82
	0.2	11.39	11.24	665	543	4.81	4.55
	0.3	11.49	11.33	963	724	6.08	6.42
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5	0	12.14	12.03	2138	2132	8.14	8.11
	0.1	12.10	11.94	1951	1777	8.15	7.78
	0.2	11.18	11.24	485	472	5.23	5.47
	0.3	10.64	11.37	801	756	5.87	7.18
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	0	12.20	12.04	2009	1970	7.96	7.62
	0.1	12.13	11.98	2003	1789	8.58	7.79
	0.2	11.44	10.95	543	426	4.52	4.14
	0.3	11.20	11.17	795	749	6.18	6.28
ปูนซีเมนต์ซิลิกา + ปูนขาว 25 % (โดยน้ำหนัก)	0	12.21	12.40	2240	2107	8.75	8.39
	0.1	12.15	12.37	1908	1889	8.35	8.15
	0.2	11.42	11.55	636	411	4.24	3.46
	0.3	11.60	11.50	808	702	6.43	5.23
ปูนซีเมนต์ซิลิกา + ทราย 25 % (โดยน้ำหนัก)	0	12.15	12.32	1995	1889	7.29	7.20
	0.1	11.70	11.84	616	596	4.06	4.04
	0.2	11.36	11.36	583	451	4.93	3.40
	0.3	11.01	11.31	656	656	4.74	3.98



รูปที่ 5.5 พีเอชของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น



รูปที่ 5.6 ความเป็นต่างของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น



รูปที่ 5.7 ความนำไฟฟ้าของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนเบื้องต้น

ตารางที่ 5.10 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด จากการทดสอบสกัดส่วนผสมเบื้องต้น

วัสดุประสาน	ผงถ่านไฟฉาย/ วัสดุประสาน	As (มก/ล)		Cd (มก/ล)		Cr (มก/ล)		Hg (มก/ล)		Mn (มก/ล)		Pb (มก/ล)		Zn (มก/ล)	
		14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ผงถ่านไฟฉาย B06		1.7		3.79		< 0.06		1236.70		2.16		< 0.1		313.17	
เกณฑ์มาตรฐาน (มก/ล) *		< 5.00		< 1.00		< 5.00		< 0.20				< 5.00			
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	0	< 0.2	< 0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	< 0.3	< 0.3	< 0.02	< 0.02	< 0.1	< 0.1	0.16	0.16
	0.1	< 0.2	< 0.2	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	2.3	0.3	0.04	0.04	< 0.1	< 0.1	0.54	0.45
	0.2	< 0.2	< 0.2	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	5.7	2.3	0.05	0.05	< 0.1	< 0.1	1.55	1.20
	0.3	< 0.2	< 0.2	0.02	0.03	< 0.06	< 0.06	13.0	8.3	0.06	0.06	< 0.1	< 0.1	3.11	2.54
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	0	< 0.2	< 0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	< 0.3	< 0.3	< 0.02	< 0.02	< 0.1	< 0.1	0.22	0.17
	0.1	< 0.2	< 0.2	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	1.7	< 0.3	0.04	0.05	< 0.1	< 0.1	0.55	0.44
	0.2	< 0.2	< 0.2	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	2.0	2.0	0.05	0.05	< 0.1	< 0.1	1.43	1.01
	0.3	< 0.2	< 0.2	0.02	0.03	< 0.06	< 0.06	10.7	13.5	0.07	0.07	< 0.1	< 0.1	3.04	2.21
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5	0	< 0.2	< 0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	< 0.3	< 0.3	< 0.02	< 0.02	< 0.1	< 0.1	0.18	0.12
	0.1	< 0.2	< 0.2	0.03	0.02	< 0.06	< 0.06	0.3	1.0	0.03	0.03	< 0.1	< 0.1	0.49	0.49
	0.2	< 0.2	< 0.2	0.03	0.02	< 0.06	< 0.06	7.0	13.6	0.04	0.04	< 0.1	< 0.1	1.22	1.32
	0.3	< 0.2	< 0.2	0.03	0.03	< 0.06	< 0.06	14.0	13.4	0.05	0.05	< 0.1	< 0.1	2.10	2.01
ปูนซีเมนต์ซิลิกา + ปูนขาว 25 % (โดยน้ำหนัก)	0	< 0.2	< 0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	< 0.3	< 0.3	< 0.02	< 0.02	< 0.1	< 0.1	0.18	0.20
	0.1	< 0.2	< 0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	1.1	1.5	0.04	0.05	< 0.1	< 0.1	1.12	0.57
	0.2	< 0.2	< 0.2	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	2.4	1.3	0.05	0.05	< 0.1	< 0.1	2.30	1.24
	0.3	< 0.2	< 0.2	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	4.6	4.4	0.06	0.07	< 0.1	< 0.1	2.50	1.79
ปูนซีเมนต์ซิลิกา + ททราย 25 % (โดยน้ำหนัก)	0	< 0.2	< 0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	< 0.3	< 0.3	< 0.02	< 0.02	< 0.1	< 0.1	0.22	0.14
	0.1	< 0.2	< 0.2	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	0.7	1.1	0.05	0.07	< 0.1	< 0.1	0.95	1.06
	0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	5.7	2.8	0.08	0.09	< 0.1	< 0.1	1.42	0.91
	0.3	< 0.2	< 0.2	< 0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	18.7	16.1	0.11	0.11	< 0.1	< 0.1	1.20	1.31

* มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531)

5.2.2.4 สรุปผลการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

จากการวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัดจากตารางที่ 5.9 และ 5.10 พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 7 ชนิด มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้มาก แสดงว่าวัสดุประสานที่ใช้มีความสามารถในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักได้ดี ในขณะที่กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างมีค่าต่ำลงมากในช่วงที่เพิ่มสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานจาก 0.2 เป็น 0.3 ทั้งนี้เนื่องจากผลของสารประกอบคลอไรด์และแอมโมเนียมในผงถ่านไฟฉาย

นอกจากนี้ยังพบว่าต้องใช้วัสดุประสานในปริมาณมาก จึงจะทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) ที่กำหนดไว้ คือ 14.0 กก./ตร.ซม. และพบว่าการใช้ปูนขาวหรือทรายมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงมาก ดังนั้นกำลังรับแรงอัดจึงเป็นค่ากำหนดที่สำคัญในการเลือกสัดส่วนผสมที่ประหยัดในขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสมต่อไป

5.3 ผลการทดลองที่ 3 สัดส่วนที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อนแข็ง

จากผลการทดสอบสัดส่วนเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าปูนซีเมนต์ซีลิกา มีประสิทธิภาพในการทำลายฤทธิ์ผงถ่านไฟฉายใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 ในขณะที่ปูนซีเมนต์ซีลิกาเป็นวัสดุประสานที่หาง่าย และมีราคาถูกกว่า ดังนั้นในการทดสอบขั้นนี้ จึงเลือกใช้ปูนซีเมนต์ซีลิกาเป็นวัสดุประสาน โดยใช้สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย เท่ากับ 6:1, 7:1, 8:1 และ 9:1 ซึ่งอยู่ในช่วงสัดส่วนผงถ่านไฟฉายต่อวัสดุประสานระหว่าง 0.1 – 0.2 โดยทำการหล่อก้อนตัวอย่าง นำไปบ่มเป็นเวลา 14 และ 28 วัน หลังจากนั้นนำมาทดสอบหากล้างรับแรงอัด, ความหนาแน่น และทำการชะละลายวิเคราะห์สมบัติของน้ำสกัด ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

5.3.1 กำลังรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.8

5.3.1.1 ที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 6:1

กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าเท่ากับ 4.7 กก./ตร.ซม. และ 8.0 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 14.0 กก./ตร.ซม.

5.3.1.2 ที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 7:1

กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน เท่ากับ 6.5 กก./ตร.ซม. เมื่อบ่มต่อจนถึง 28 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นมากเป็น 102.9 กก./ตร.ซม.

5.3.1.3 ที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 8:1

กำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาขึ้นมาก จาก 48.4 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน และเพิ่มเป็น 194.1 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน และ

5.3.1.4 ที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 9:1

กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้มาก โดยมีค่า 174.0 กก./ตร.ซม. ที่เวลาบ่ม 14 วัน และ 207.6 กก./ตร.ซม. ที่เวลาบ่ม 28 วัน

5.3.2 ความหนาแน่น

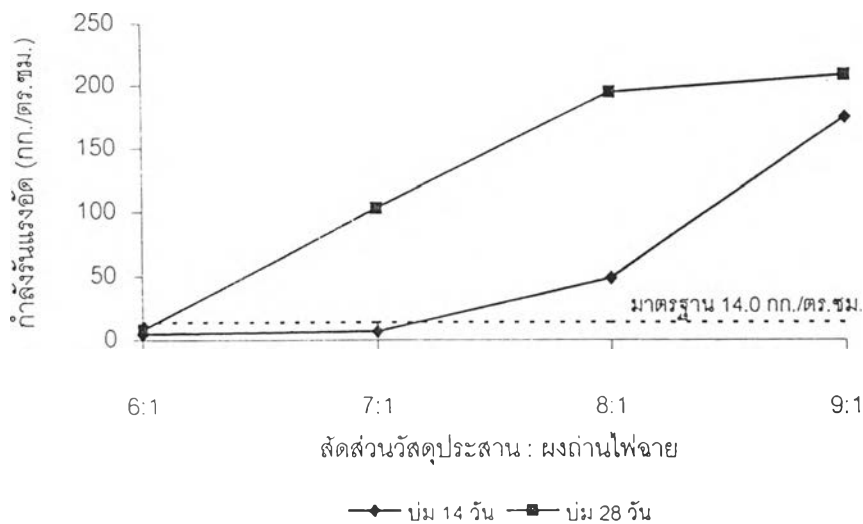
จากตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.9 พบว่าความหนาแน่นมีค่าระหว่าง 2.02 – 2.08 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 1.04 ตัน/ลบ.ม.

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น
จากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

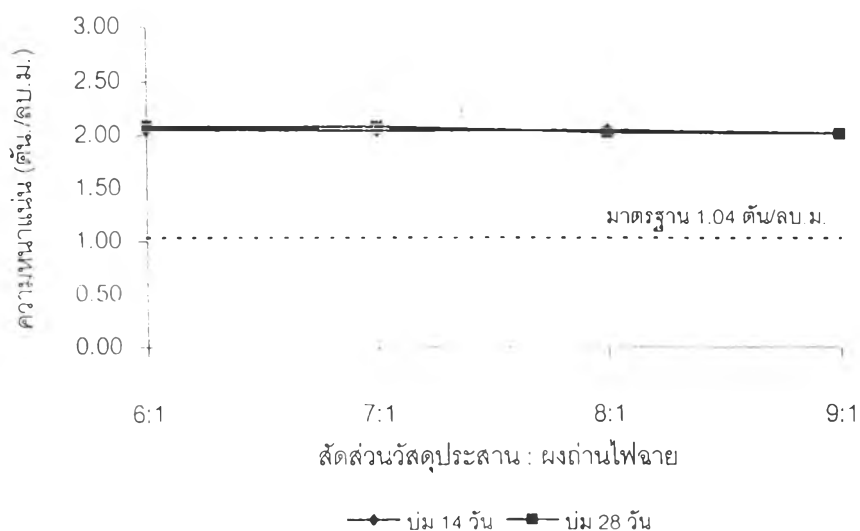
วัสดุประสาน	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
		บ่ม 14 วัน	บ่ม 28 วัน	บ่ม 14 วัน	บ่ม 28 วัน
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	6:1	4.7	8.0	2.05	2.08
	7:1	6.5	102.9	2.04	2.08
	8:1	48.4	194.1	2.05	2.03
	9:1	174.0	207.6	2.02	2.02
มาตรฐาน*		14.0 กก./ตร.ซม.		1.04 ตัน/ลบ.ม.	

หมายเหตุ * มาตรฐานกรมโรงงานฯ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

ที่สัดส่วน 6:1 ขณะที่บ่มมีกลิ่นแอมโมเนียเกิดขึ้นมาก



รูปที่ 5.8 กำลังรับแรงอัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม



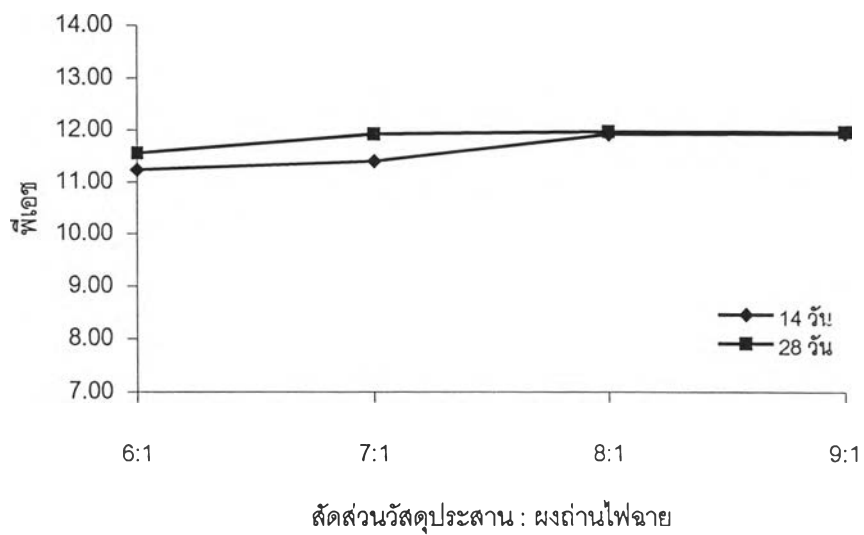
รูปที่ 5.9 ความหนาแน่น ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน จากการทดสอบอัตราส่วนที่เหมาะสม

5.3.3 สมบัติของน้ำสกัด

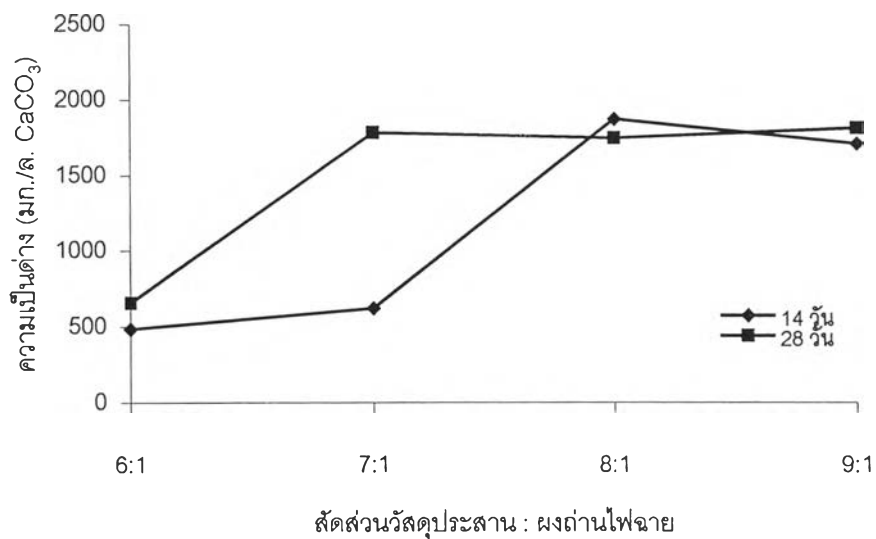
จากตารางที่ 5.12 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉายจาก 6 : 1 ถึง 9 : 1 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และค่าความนำไฟฟ้า มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์ สำหรับรูปที่ 5.10 ถึง 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และค่าความนำไฟฟ้า กับอัตราส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย

ตารางที่ 5.12 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และค่าความนำไฟฟ้า จากการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	p H		Alk.(มก./ล.CaCO ₃)		Conduct.(mS/cm)	
		14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	6:1	11.24	11.55	484	656	3.63	4.52
	7:1	11.41	11.93	623	1783	4.15	7.76
	8:1	11.93	11.98	1875	1749	8.25	7.61
	9:1	11.95	11.98	1716	1816	7.39	7.86



รูปที่ 5.10 พีเอชของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม



รูปที่ 5.11 ความเบี่ยงต่างของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม



รูปที่ 5.12 ความนำไฟฟ้าของน้ำสกัด ที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วัน
จากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

สำหรับความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด จากตารางที่ 5.13 พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ ในทุกสัดส่วนผสม มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้มาก เนื่องจากปริมาณวัสดุประสานที่มาก ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน

ส่วนความเข้มข้นของแมงกานีสและสังกะสี มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ซึ่งกำหนดให้ความเข้มข้นของแมงกานีสและสังกะสีไม่เกิน 5 มก./ล.

ตารางที่ 5.13 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด จากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน: ผงถ่านไฟฉาย	Cd (มก./ล.)		Cr (มก./ล.)		Hg (มคก./ล.)		Mn (มก./ล.)		Pb (มก./ล.)		Zn (มก./ล.)	
		14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ผงถ่านไฟฉาย B06		3.79		< 0.06		1236.70		2.16		< 0.1		313.17	
เกณฑ์มาตรฐาน (มก./ล.)		< 1.00		< 5.00		< 0.20				< 5.00			
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	6:1	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	2.3	1.3	0.05	0.04	< 0.1	< 0.1	1.02	1.06
	7:1	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	1.4	1.4	0.04	0.05	< 0.1	< 0.1	1.06	0.54
	8:1	0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.06	1.0	1.3	0.04	0.03	< 0.1	< 0.1	1.32	0.39
	9:1	0.02	0.02	< 0.06	< 0.06	1.2	1.1	0.03	0.03	< 0.1	< 0.1	0.49	0.41

* มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2531)

ตารางที่ 5.14 ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก จากการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน: ผงถ่านไฟฉาย	Cd		Hg		Mn		Zn	
		14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	6:1	99.5	99.5	99.8	99.9	97.8	98.0	99.7	99.7
	7:1	99.5	99.5	99.9	99.9	98.1	97.8	99.7	99.8
	8:1	99.5	> 99.5	99.9	99.9	98.1	98.6	99.6	99.9
	9:1	99.5	99.5	99.9	99.9	98.6	98.6	99.8	99.9

หมายเหตุ

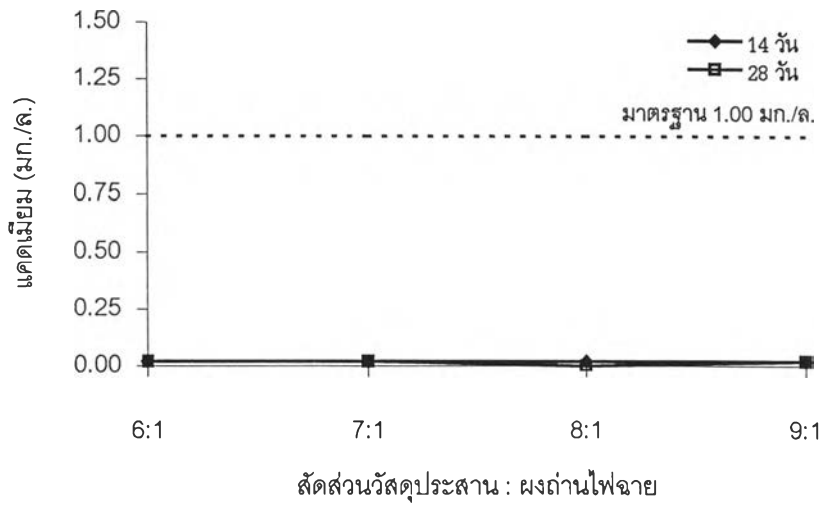
ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก = C

เมื่อ Co = ความเข้มข้นของโลหะหนักใน

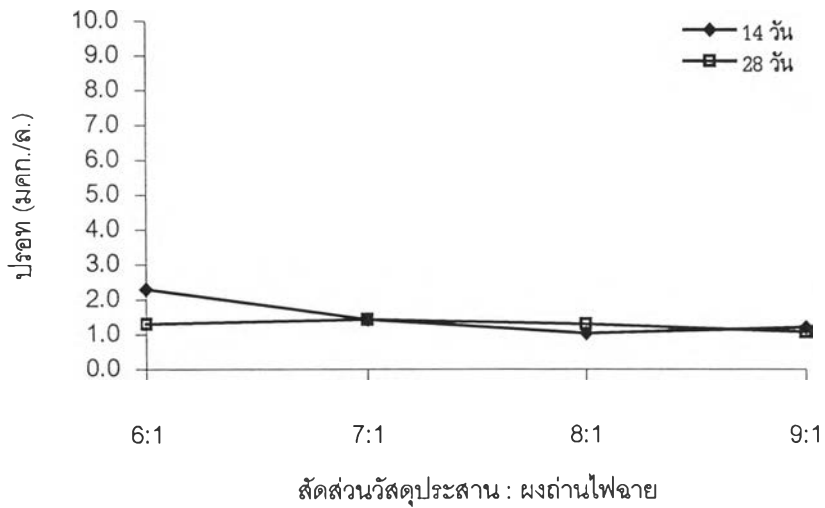
ก่อนทำให้เป็นก้อนแข็ง

Cs = ความเข้มข้นของโลหะหนักใน

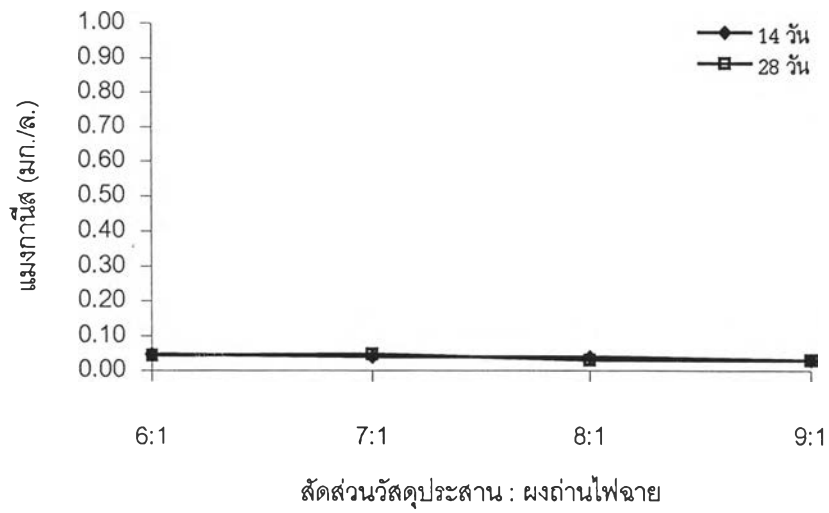
หลังทำให้เป็นก้อนแข็ง



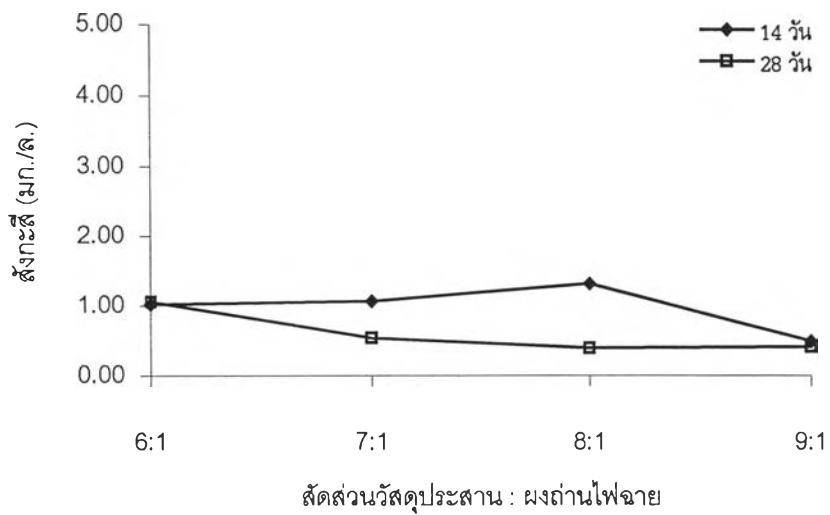
รูปที่ 5.13 ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำสกัด จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม



รูปที่ 5.14 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัด จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม



รูปที่ 5.15 ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำสกัด จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม



รูปที่ 5.16 ความเข้มข้นของไนไตรต์ในน้ำสกัด จากการทดสอบสัดส่วนที่เหมาะสม

5.3.4 สรุปผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม

จากตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่าที่สัดส่วนผสมวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 6 : 1 กำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ 14.0 กก./ตร.ซม. เมื่อเพิ่มสัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉายเป็น 7 : 1 ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่า 6.5 กก./ตร.ซม. เมื่อบ่มต่อจนถึง 28 วัน กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 102.9 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีความมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้มาก

จากผลการทดสอบสมบัติของน้ำสกัด พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้มาก ทุกสัดส่วนผสม

นอกจากนี้ พบว่าที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉายต่ำกว่า 7:1 ขณะที่บ่มตัวอย่างเกิดกลิ่นแอมโมเนียมาก ในขณะที่มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ข้อที่ 4 กำหนดว่า ต้องมีลักษณะเชิงคล้ายหิน ไม้ใหม่ไฟ ไม้มีกลิ่น ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ปูนซีเมนต์ซีลิกา ที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉายเท่ากับ 7 : 1 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน เป็นสัดส่วนผสมที่เหมาะสม โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด แคลเดียม 99.5 % , โปรท 99.9% , แมงกานีส 97.8% และสังกะสี 99.8% ตามลำดับ

5.4 ผลการทดลองที่ 4 ผลของระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง

จากผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม และสรุปเห็นควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ซีลิกาที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 7 : 1 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มต่อคุณสมบัติของการทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยการบ่มเป็นระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

5.4.1 กำลังรับแรงอัด

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ในตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.17 พบว่าที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 14 วัน มีค่าต่ำมาก หลังจากนั้นกำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นมาก โดยเพิ่มจาก 7.2 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน เป็น 104.1 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน และ 140.7 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาบ่ม 60 วัน ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะสารประกอบคลอไรด์และแอมโมเนียในผงถ่านไฟฉาย ไปขัดขวางปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วง 14 วันแรก ทำให้กำลังรับแรงอัดในช่วงแรกมีค่าต่ำ หลังจากนั้นจึงมีการเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม

5.4.2 ความหนาแน่น

จากตารางที่ 5.15 ความหนาแน่นมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่ขึ้นกับระยะเวลาบ่ม โดยมีค่าในช่วง 2.01-2.18 ตัน/ลบ.ม. โดยรูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับระยะเวลาบ่ม

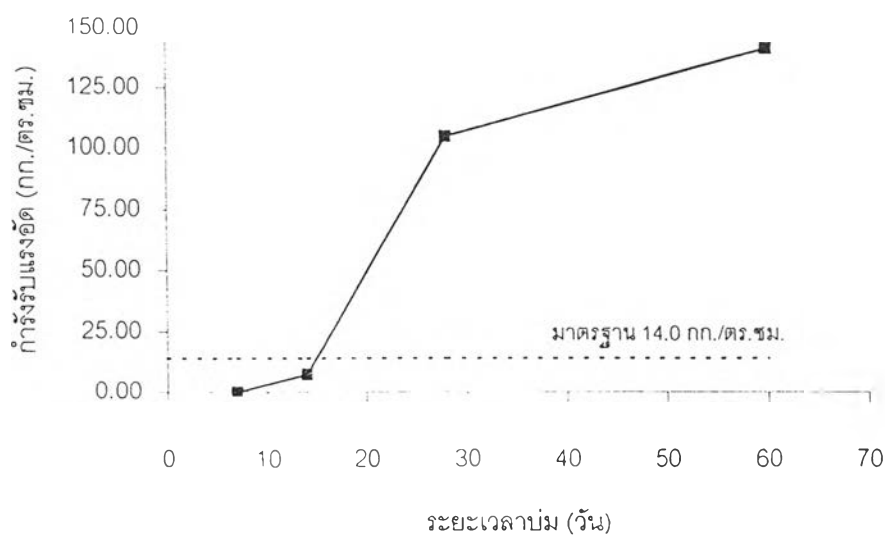
5.4.3 อัตราซีเมนต์

จากตารางที่ 5.15 และ รูปที่ 5.19 พบว่าอัตราซีเมนต์มีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 1.00×10^{-6} และมีค่าลดลงตามระยะเวลาบ่ม ซึ่งอาจเป็นเพราะระยะเวลาบ่มที่นานขึ้นทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดได้สมบูรณ์ มีผลทำให้ความพรุนในเนื้อซีเมนต์ลดลง ทำให้อัตราซีเมนต์ลดลง

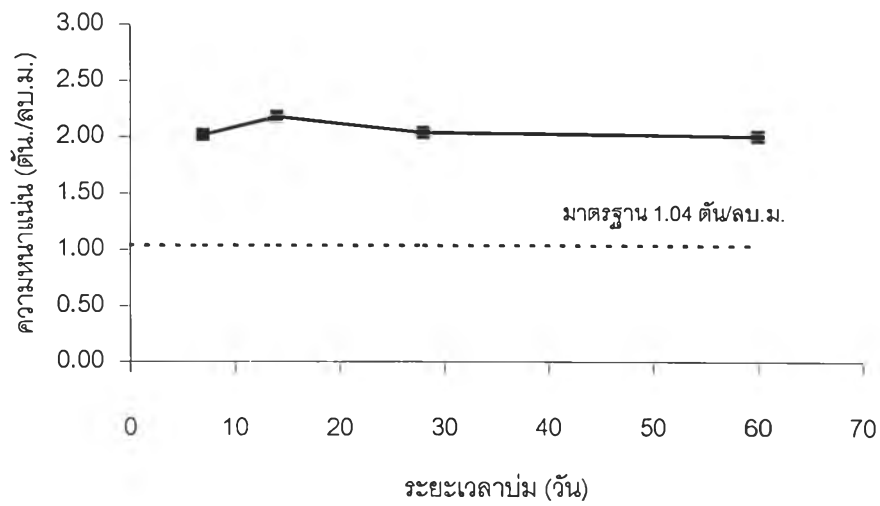
ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด, ความหนาแน่น และอัตราซีเมนต์
จากการทดสอบผลของเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	อัตราซีเมนต์ (ซม./วินาที)
มาตรฐาน*			14.0	1.04	1.00E-06
ปูนซีเมนต์ซีลีกา	7:1	7	ไม่แข็งตัว	2.02	ไม่แข็งตัว
		14	7.20	2.18	5.46E-07
		28	104.10	2.04	4.19E-07
		60	140.70	2.01	6.61E-09

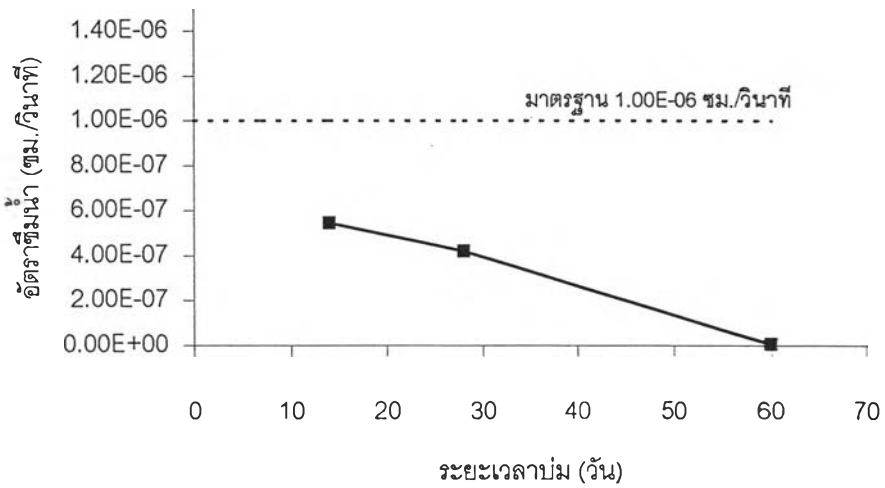
* มาตรฐานกรมโรงงานฯ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)



รูปที่ 5.17 การทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 5.18 การทดสอบผลของระยะเวลาปั๊มต่อความทึบ



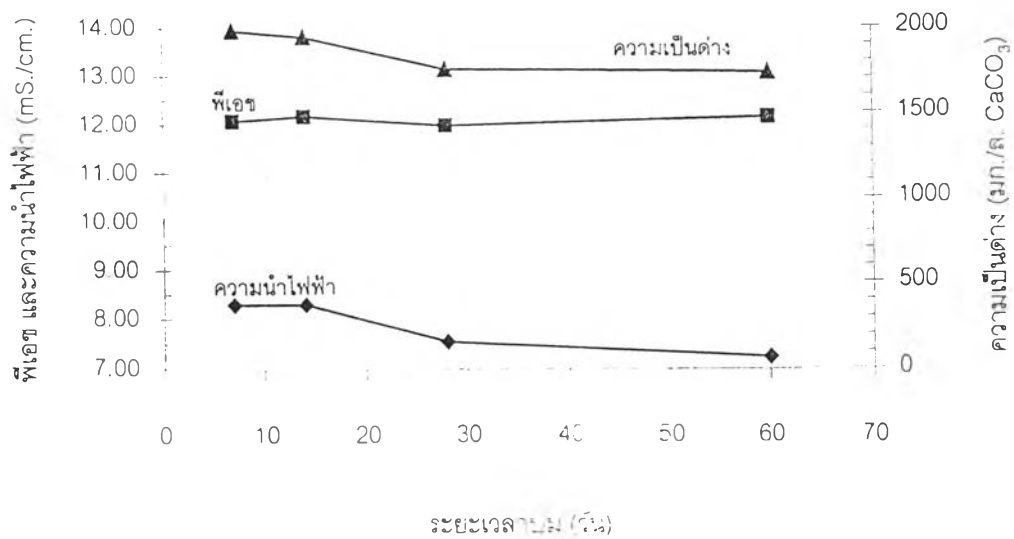
รูปที่ 5.19 การทดสอบผลของระยะเวลาปั๊มต่ออัตราขุ่น

5.4.4 สมบัติของน้ำสกัด

จากผลการทดสอบตารางที่ 5.16 และ รูปที่ 5.20 พบว่า ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และค่าความนำไฟฟ้าของน้ำสกัด มีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่ขึ้นกับเวลาบ่มมากนัก

ตารางที่ 5.16 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า
จากการทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	pH	Alk. (มก./ล. CaCO ₃)	Conduct. (mS/cm.)
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	7:1	7	12.07	1981	8.31
		14	12.17	1942	8.31
		28	11.97	1749	7.55
		60	12.14	1728	7.24



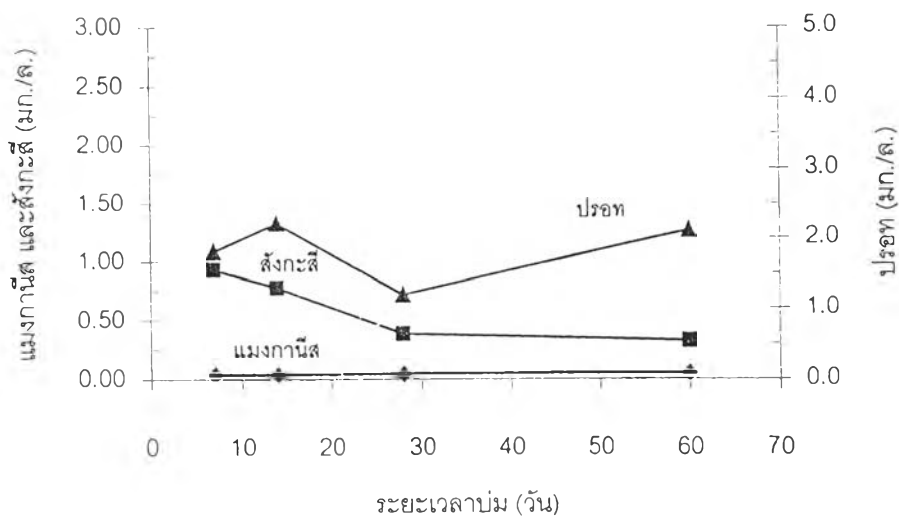
รูปที่ 5.20 พีเอช, ความนำไฟฟ้า และความเป็นด่างของน้ำสกัด จากการทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง

สำหรับความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ ในน้ำสกัด จากตารางที่ 5.17 และ รูปที่ 5.21 พบว่ามีค่าต่ำมาก ไม่ขึ้นกับเวลาบ่ม ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน

ตารางที่ 5.17 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด
จากการทดสอบระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อนแข็ง

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	Cd (มก./ล.)	Hg (มคก./ล.)	Mn (มก./ล.)	Zn (มก./ล.)
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	7:1	7	0.02	1.8	0.04	0.93
		14	0.02	2.2	0.04	0.78
		28	< 0.02	1.2	0.04	0.39
		60	< 0.02	2.1	0.05	0.33
มาตรฐาน (มก./ล.)*			< 1.00	< 0.2		

* มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531)



รูปที่ 5.21 ความเข้มข้นของแมงกานีส, สังกะสี และปรอทในน้ำสกัด
จากการทดสอบผลของระยะเวลาบ่มต่อการทำให้เป็นก้อน

หมายเหตุ แมงกานีสและสังกะสี ไม่มีมีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531)

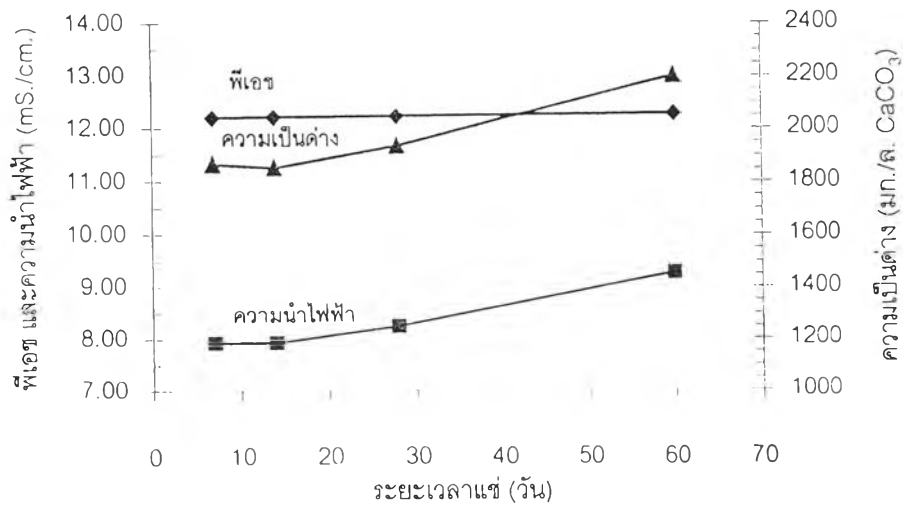
5.5 ผลการทดสอบที่ 5 ผลของการแช่ระยะยาว

โดยนำก้อนตัวอย่างจากการทดลองที่ 4 ซึ่งเป็นสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่บ่มครบ 28 วัน มาบดให้มีขนาด 0.5-5 มม. นำตัวอย่างที่บดแล้วจำนวน 50 กรัม แช่ในสารละลายน้ำกลั่นผสมกรดไฮโดรคลอริก (ให้มีค่าพีเอช ระหว่าง 5.8-6.3) ในสัดส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง (หรือ 500 มล.) แล้วแช่ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน อย่างละ 3 ตัวอย่าง รวม 12 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำมาเขย่าบนเครื่องเขย่า เช่นเดียวกับการทดสอบชะละลาย แล้วนำน้ำชะละลายที่ได้ไปวัดค่าต่างๆ ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.18 ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า จากการทดสอบการแช่ระยะยาว

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	ระยะเวลาแช่ (วัน)	pH	Alk. (มก./ล. CaCO ₃)	Conduct. (mS/cm.)
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	7 : 1	7	12.21	1869	7.93
		14	12.22	1856	7.92
		28	12.23	1935	8.24
		60	12.28	2200	9.27

จากตารางที่ 5.18 พบว่า ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาที่แช่ ซึ่งอาจเป็นเพราะการแช่นานๆ ทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเนื้อซีเมนต์ถูกชะละลายออกมามากขึ้น ส่งผลให้ค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่แช่ ดังรูปที่ 5.22



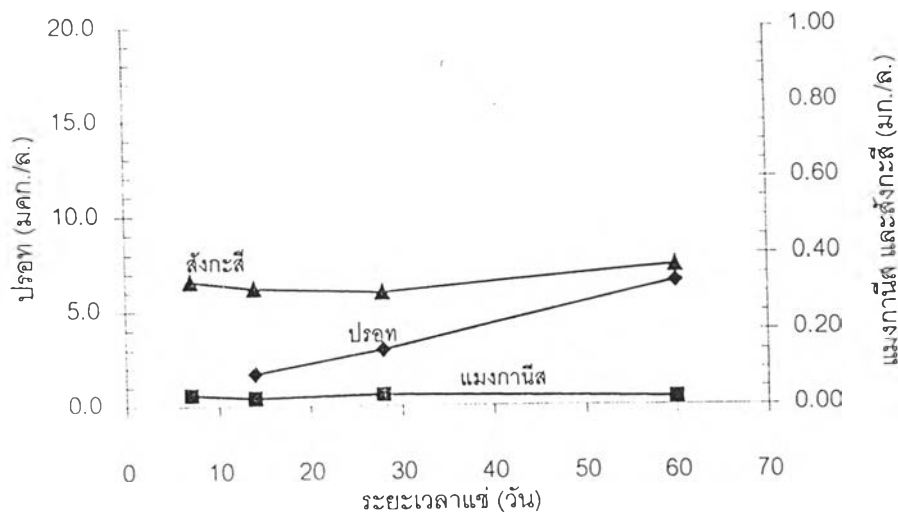
รูปที่ 5.22 พีเอช, ความเป็นต่าง และความนำไฟฟ้าของน้ำสกัดจากการแช่ในระยะยาว

สำหรับความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ ในน้ำสกัด จากตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.23 พบว่ามีค่าต่ำ ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน ยกเว้นปรอทมีแนวโน้มที่ถูกชะละลายออกมาเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่แช่ ซึ่งอาจเป็นเพราะปรอทมีการยึดจับกับซีเมนต์เป็นแบบ Physical Encapsulation การแช่นานขึ้นทำให้เนื้อซีเมนต์ถูกชะละลายออกมา มีผลทำให้ปรอทที่ถูกซีเมนต์หุ้มอยู่ถูกชะละลายออกมาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.19 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดจากการทดสอบการแช่ระยะยาว

วัสดุประสาน	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	Cd (มก./ล.)	Hg (มก./ล.)	Mn (มก./ล.)	Zn (มก./ล.)
ปูนซีเมนต์ซีลิกา	7:1	7	< 0.02	< 0.3	0.03	0.33
		14	< 0.02	1.7	0.02	0.31
		28	< 0.02	3.0	0.03	0.37
		60	< 0.02	6.6	0.02	0.37
มาตรฐาน (มก./ล.) *			< 1.00	< 0.2		

* มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531)



รูปที่ 5.23 ความเข้มข้นของปรอท, แมงกานีส และสังกะสีในน้ำสกัด
จากการแช่ในระยะยาว

5.6 ผลการทดสอบที่ 6 การทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง

การทดสอบนี้เป็นการใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมกับผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่น ที่สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 7 : 1 หลังจากนั้นจึงนำไปบ่มเป็นเวลา 28 วัน แล้วนำมาวัดค่าต่างๆ ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

5.6.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.20 พบว่า ตัวอย่างผงถ่านไฟฉายทุกยี่ห้อที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531) ค่อนข้างมากทุกตัวอย่าง ยกเว้นผงถ่านไฟฉายยี่ห้อมาขาว ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดค่อนข้างต่ำ ที่ 16.8 กก./ตร.ซม. ทั้งนี้อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของสารเคมีภายในผงถ่านไฟฉายต้านการแข็งตัวของซีเมนต์มากกว่าผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่น ซึ่งควรมีการศึกษารึ่องค์ประกอบที่แท้จริงของผงถ่านไฟฉายยี่ห้อต่อไป

5.6.2 ความหนาแน่น

จากตารางที่ 5.20 ความหนาแน่นมีค่าระหว่าง 1.91-1.96 ตัน/ลบ.ม. มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด คือ 1.04 ตัน/ลบ.ม.

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น
จากการทดสอบการทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง

วัสดุประสาน	ยี่ห้อ	วัสดุประสาน : ผงถ่านไฟฉาย	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)
ปูนซีเมนต์ซิลิกา	B01	7:1	134.0	1.92
	B03	7:1	134.1	1.92
	B10	7:1	16.8	1.92
	B04	7:1	170.7	1.93
	B07	7:1	156.0	1.91
	B08	7:1	185.3	1.96
มาตรฐาน *			14.0	1.04

* มาตรฐานกรมโรงงานฯ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2531)

5.6.3 สมบัติของน้ำสกัด

จากตารางที่ 5.21 พบว่าค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า มีค่าใกล้เคียงกับผงถ่านไฟฉายยี่ห้อ B06 ยกเว้นผงถ่านไฟฉายยี่ห้อ B10 มีค่าพีเอช, ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า ต่ำกว่าผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่น

ตารางที่ 5.21 ค่าพีเอช,ความเป็นด่าง และความนำไฟฟ้า
จากการทดสอบการทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง

ยี่ห้อผงถ่านไฟฉาย	PH	Alk. (มก./ล. CaCO ₃)	Conduct. (mS/cm.)
B01	12.01	1932	7.70
B03	12.04	1996	7.43
B04	12.05	1938	7.25
B07	12.08	2029	7.29
B08	12.12	2138	7.42
B10	11.51	636	4.20

จากตารางที่ 5.22 ความเข้มข้นของโลหะหนักต่างๆ ในน้ำสกัดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) ที่กำหนดไว้มาก ยกเว้นผงถ่านไฟฉายยี่ห้อ B10 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดสูงกว่าผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่น(เนื่องจากเป็นถ่านไฟฉายที่มีปริมาณปรอทสูงสุด คือ 80.56 มก./กก.) แต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก

ตารางที่ 5.22 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด
จากการทำผงถ่านไฟฉายยี่ห้ออื่นให้เป็นก้อนแข็ง

ยี่ห้อ ผงถ่านไฟฉาย	Cd (มก./ล.)	Hg (มคก./ล.)	Mn (มก./ล.)	Zn (มก./ล.)
B01	< 0.02	2.4	0.03	0.34
B03	< 0.02	0.7	0.03	0.27
B04	< 0.02	3.9	< 0.02	0.65
B07	< 0.02	2.0	< 0.02	0.51
B08	< 0.02	2.5	0.03	0.38
B10	< 0.02	20.2	0.03	0.93
มาตรฐาน (มก./ล.) *	< 1.00	< 0.20		

* มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531)

5.7 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดผงถ่านไฟฉาย

ในการกำจัดผงถ่านไฟฉาย ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายดังนี้

5.7.1 ค่าขนส่งจากสถานีขนถ่ายอ่อนนุชไปยังศูนย์แสมดำ

ศูนย์แสมดำคิดค่าขนส่ง = 2.75 บาท/ตัน/กิโลเมตร

ระยะทางจากสถานีขนถ่ายอ่อนนุชไปยังศูนย์แสมดำ = 60 กิโลเมตร

รวมค่าขนส่ง = $2.75 \times 60 = 165$ บาท/ตันผงถ่านไฟฉาย

5.7.2 ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง

จากผลการศึกษาพบว่าจะต้องใช้สัดส่วนวัสดุประสานต่อผงถ่านไฟฉาย 7 : 1 ดังนั้นในการทำผงถ่านไฟฉาย 1 ตัน ให้เป็นก้อนแข็ง จะต้องใช้ปูนซีเมนต์ซีลิกาเท่ากับ $7 \times 1 = 7$ ตัน

ราคารูบซีเมนต์ที่คลังสินค้า 1,870 บาท/ตัน

ดังนั้น ค่าวัสดุ = $7 \times 1,870 = 13,090$ บาท/ตันผงถ่านไฟฉาย

ค่าดำเนินการคิดเป็นร้อยละ 20 ของค่าวัสดุ = $0.2 \times 13,090 = 2,618$ บาท/ตันผงถ่านไฟฉาย

รวมค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง = $13,090 + 2,618 = 15,708$ บาท/ตันผงถ่านไฟฉาย

5.7.3 ค่าขนส่งจากศูนย์แสมดำถึงหลุมฝังกลบที่ราชบุรี

ค่าขนส่ง = 288 บาท/ตัน

รวมน้ำหนักผงถ่านไฟฉายเมื่อผ่านการทำให้เป็นก้อนแล้ว = $7 + 1 = 8$ ตัน

รวมค่าขนส่ง = $8 \times 288 = 2,304$ บาท/ตันผงถ่านไฟฉาย

5.7.4 ค่าดำเนินการฝังกลบที่ราชบุรี

ค่าดำเนินการฝังกลบ = 874 บาท/ตัน

ดังนั้น ค่าดำเนินการฝังกลบ = $8 \times 874 = 6,992$ บาท/ตันผงถ่านไฟฉาย

$$\begin{aligned}
 \text{รวมค่าใช้จ่ายในการกำจัดผงถ่านไฟฉาย} &= \text{ค่าขนส่งจากสถานีขนถ่ายอ่อนนุชไปยังศูนย์แสมดำ} \\
 &+ \text{ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง} \\
 &+ \text{ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ} \\
 &+ \text{ค่าดำเนินการฝังกลบ} \\
 &= 165 + 15,708 + 2,304 + 6,992 \\
 &= 25,169 \text{ บาท/ตันผงถ่านไฟฉาย}
 \end{aligned}$$

โดยที่ถ่านไฟฉายขนาดใหญ่ 1 ก้อน ประกอบด้วยผงถ่านไฟฉายประมาณ 52.8 กรัม

ดังนั้น ผงถ่านไฟฉาย 1 ตัน มาจากถ่านไฟฉายจำนวน = $1000 \times 1000 / 52.8$

= 18,940 ก้อน

หรือ คิดเป็นค่าใช้จ่าย = 25,169 บาท/ถ่านไฟฉาย 18,940 ก้อน(ขนาดใหญ่)

ปัจจุบันราคาขายถ่านไฟฉายขนาดใหญ่ (B06) = 8 บาท/ก้อน

ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่าย = $25,169 \times 100 / (18,940 \times 8)$

= 16.6 % ของราคาขาย(เฉพาะถ่านไฟฉาย B06)

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้ ยังไม่รวมค่าใช้จ่ายในการแกะก้อนถ่านไฟฉาย