รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤษณา ผกานนท์. 2537. การกำจัดกากตะกอนนิเกิลจากกระบวนการชุบโลหะโดยวิธี Solidification. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ไกรพ กมลนาวิน, เรือโท. 2533. โลหะกับชีวิตประจำวัน ตอนที่ 6 ตะกั่ว. นาวิกศาสตร์ 73: 58-59.

คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี, บริษัท. 2537. รายงานการศึกษาการวางแผนการจัดการกากของเสียจากโรงงานหลอมตะกั่วจากแบตเตอรี่ที่ใช้แล้ว.

ชะนะ นิลคูหา. 2519. การผลิต การจำหน่าย และการใช้แร่ของไทย. ข่าวสารการธรณี 21:3-5.

ชาคร จารุพิสิฐธร. 2530. การถลุงแร่ตะกั่ว. ข่าวสารการธรณี 32: 52-62.

ดวงสมร ผดุงเกียรติวงศ์. 2539. การเปรียบเทียบการทำตะกอนซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ และปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เดชนา ชุตินารา. 2530. โลหะตะกั่วกับประเทศไทย. ข่าวสารการธรณี 32: 63-66.

นฤมิตร คินิมาน. 2538. การทำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิตยา มหาผล และคณะ. 2536. สารพิษกับสังคมนิกส์ :จากคลองเตยถึงกาญจนบุรี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ พวงวรินทร์ และ สมชาย บวรกิตติ. 2536. สถานภาพของมลพิษตะกั่วในประเทศไทย. วารสารราชบัณฑิตยสถาน 19: 39-52.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตรยงสกุล. 2537. การผลิตขี้เถ้าแกลบที่ไวต่อปฏิกิริยาและการประยุกต์ใช้ในบล๊อกซีเมนต์ผสมดินแบบอัดแน่น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 3: 6-23.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตรยงสกุล. 2537. คอนกรีตผสมขี้เถ้าแกลบ. วิศวกรรมสาร 47: 77-79.

ประเสริฐ งามเลิศประเสริฐ. 2541. การนำของเสียซิลิกา-อลูมินาและปรอทซัลไฟด์มาทำให้เป็นก้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรษา บูรณวณิช. 2534. การพัฒนาตะกั่วสำหรับตลาดเทคโนโลยีสูง. ข่าวสารการธรณี 36: 56-59.

พวงรัตน์ ชจิตวิชยานุกูล. 2540. การจัดการขยะมูลฝอยและกากของเสียอันตราย. Thai Environmental Engineer Journal 10: 34-35.

พวงรัตน์ ชจิตวิชยานุกูล. 2539. ท่านรู้หรือไม่ว่าท่านกำลังใช้ของเสียอันตรายอยู่ . Thai Environmental Engineer Journal 10: 18-19.

รักษพล ชูชาติ. 2538. การทำเสถียรกากตะกอนจาโรไซต์โดยวิธีทำให้เป็นก้อน. 2538. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โลหะตะกั่วไทย, บริษัท. 2531. สาระสำคัญของโครงการและมาตรการแก้ไขผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร. (อัดสำเนา)

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล, และธีระ เกรอต. 2538. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย มาชูตระกูล. 2538. การหล่อแข็งกากตะกอนโครเมียมโดยใช้ปูนซีเมนต์และขี้เถ้าแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วินิต ช่อวิเชียร. 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร.

ศักดา วรพิพัฒน์. 2538. การทำเสถียรตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานย่างแร่สังกะสี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุกรานต์ โรจนไพรวงศ์. 2542. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย 2540-41. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่งจำกัด.

อนุวัตน์ ปูนพันธ์ฉาย. 2539. การทำตะกอนโลหะหนักปรอทซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์. 2538. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุดมศักดิ์ เจียรวิชญ์. 2540. การจัดการของเสียจากเขตอุตสาหกรรม. Thai Environmental Engineer Journal 10: 24-28.

ภาษาอังกฤษ

Bishop, P.L. 1988. Leaching of inorganic hazardous constituents from stabilized /solidification hazardous wastes. Hazardous Wastes and Harzardous Materials 5: 129-143.

Cartledge, F.K., Butler, L.G., Chalasani, D., Eaton, H.C., Freg, F.P., Herrera, E., Titlebaum, M.E., and Yang, S.L. 1990. Immobilization mechanisms in solidification/stabilization of Cd and Pb salts using portland cement fixing agents. Environmental Science 24: 867-873.

Ching-Lung, C. 1989. Solidification of heavy metal using cement and rice husk ash. Master's thesis no. EV-89-C2, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand.

Cocke, D.L., Yousef, M., Mollah, A., Parga, J.R., Hess, T.R., and Ortego, J.D. 1992. An XPS and SEM/EDS characterization of leaching effects on lead- and zinc-doped portland cement. Journal of Hazardous Materials 30: 83-95.

Corbitt, R.A.,ed. 1990. Standard handbook of environmental engineering. New York: McGraw-Hill.

Dadson, V.H.,Ph.D. 1990. Concrete admixture. USA: Van Nostrand Reinhold International Company Limitted.

Elvers, B., and Hawkins, S., eds. 1990. Ullman's encyclopedia of industrial chemistry volume 15A.

Freeman, H.M., ed. 1988. Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal. New York: McGraw-Hill.

Lin, S.L., Cross, W.S., Chian, E.S.K., Lai, J.S., Giabbai, M., and Hung, C.H. 1996. Stabilization and solidification of lead in contaminated soil. Journal of Hazardous Materials 46: 111-119.

Mcketta, J.J., ed. 1988. Encyclopedia of chemical processing and design volume 25.

Nakamura, N., Sakai, M., and Swamy, R.N. 1992. Effect of slag fineness on the development of concrete strength and micro structure. In V.M. Molhotra (ed.), Fly Ash. Silica Fume. Slag and Natural Pozzolans in Concrete:

Proceeding Fourth International Conference: 1343-1366.

Noyes, R., ed. 1991. Handbook of pollution control processes. USA: Noyes Publication.

Poon, C.S., 1989. A critical review of evaluation procedures for stabilization and solidification processes. In P.L. Cote, and T.M. Gilliam(eds.), Environmental Aspects of Stabilization and Solidification of Hazardous and Radioactive Wastes, pp. 114-124.

Sakai, K., Watanabe, H., Suzukai, M., Hamazaki, K. 1992. Properties of granulated blast-furnace slag cement concrete. In V.M. Molhotra (ed.), Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete: Proceeding FourthInternational Conference: 1367-1383.

Shin, H.S.,and Sujiwatthana, P. 1988. Factor affecting solidification of hazardous materials. In R. Abbou(ed.), Hazardous Waste: Detection, Control, Treatment, pp. 1549-1560. Amsterdam:Elsevies Science Publishers.

Vander Sloot, H.A., De Groot, G.J., Wijkstra, J. 1989. Leaching characteristics of construction materials and stabilization product of containing waste materials. In P.L. Cote, and T.M. Gilliam(eds.), Environmental Aspects of Stabilization and Solidification of Hazardous and Radioactive Wastes, pp. 125-149.

Youn, J.H. 1990. Solidification of laboratory wastes by using OPC and lime-rice husk ash cement. Master's thesis no. EV-90-27, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand.

ภาคผนวก

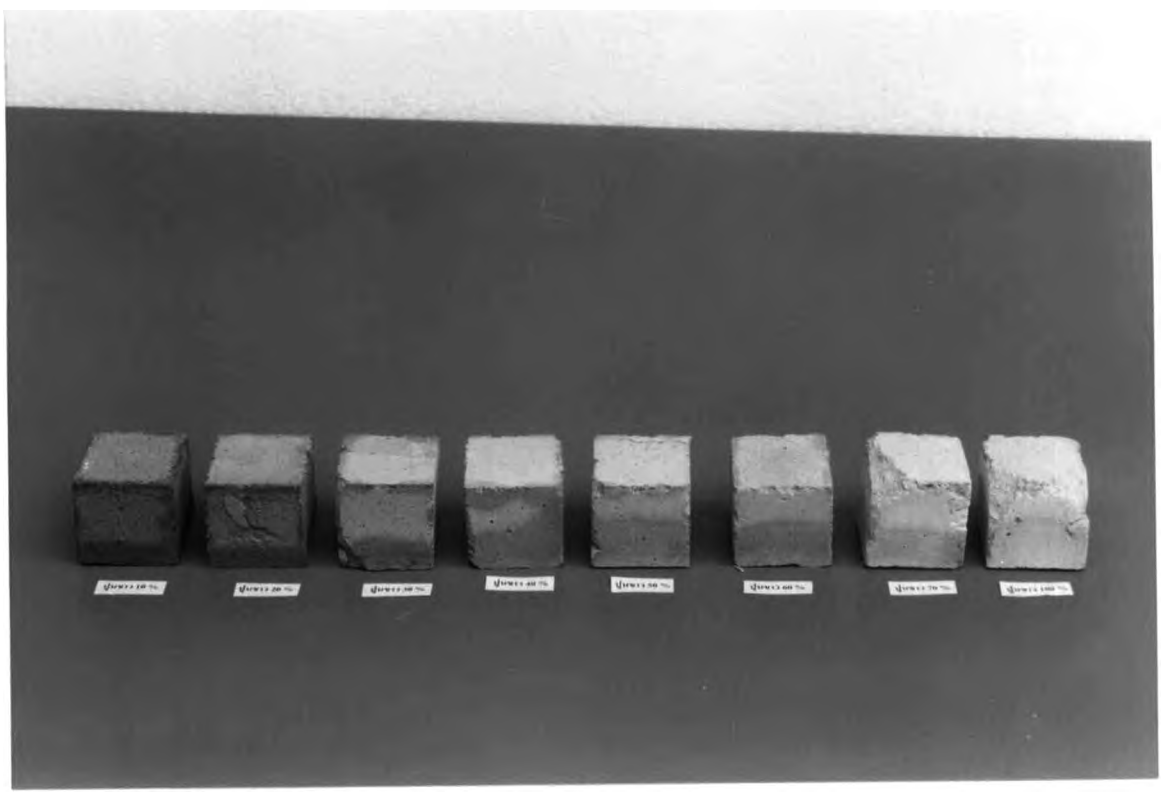
ภาคผนวก ก

ลักษณะก้อนตัวอย่างจากการทดลอง

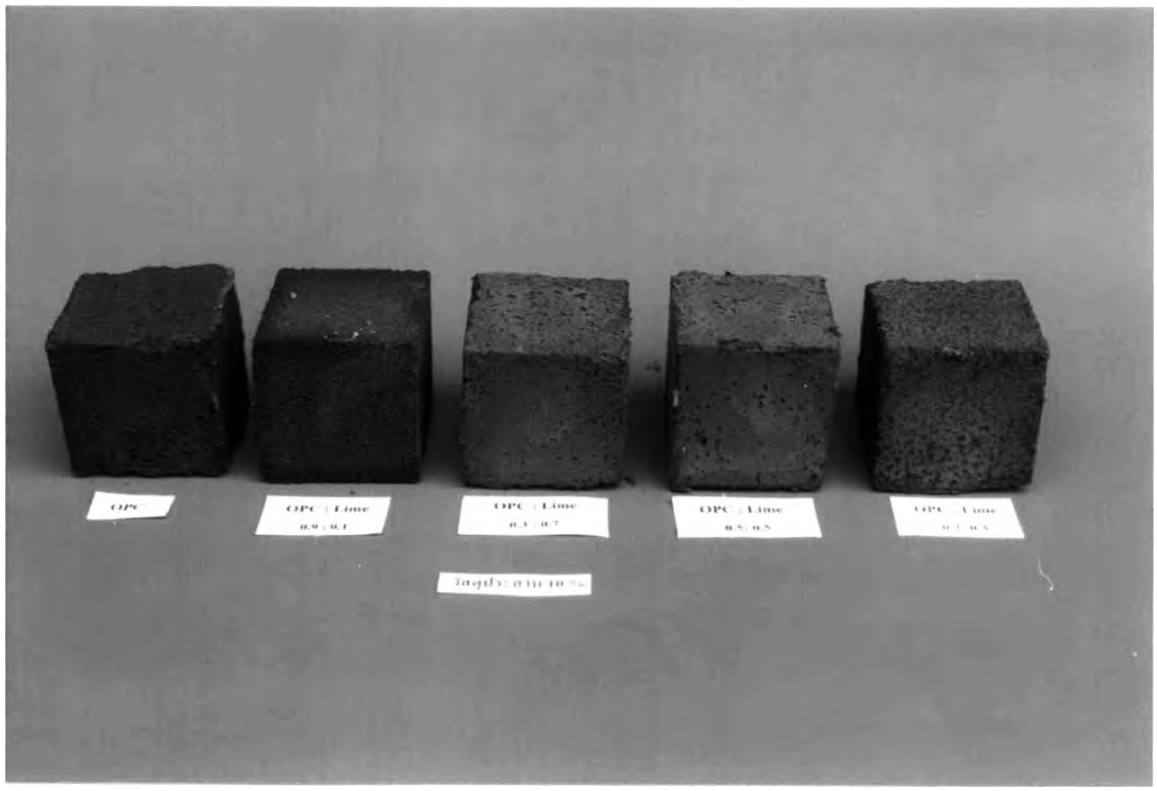
รูปที่ ผ.1 แสดงภาพของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

รูปที่ ผ.2 แสดงลักษณะก้อนของกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

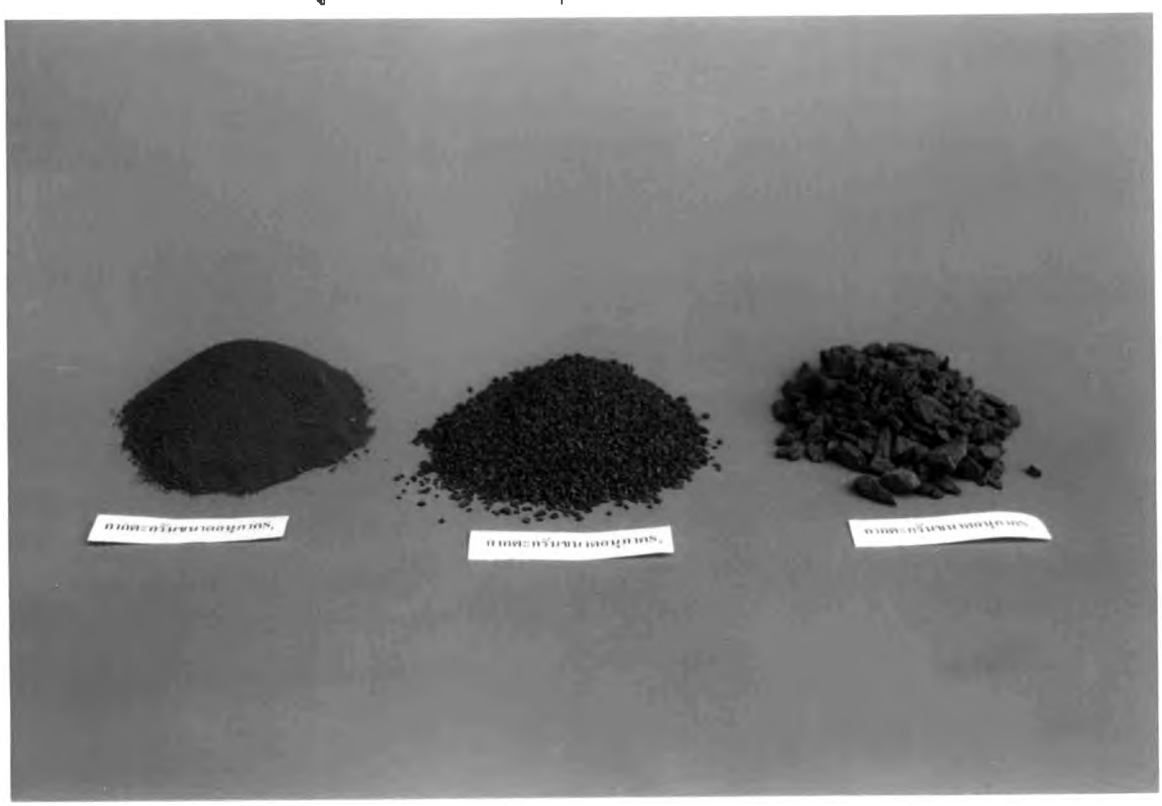
รูปที่ ผ.3 แสดงลักษณะของกากตะกรันที่ใช้ในการทดลอง



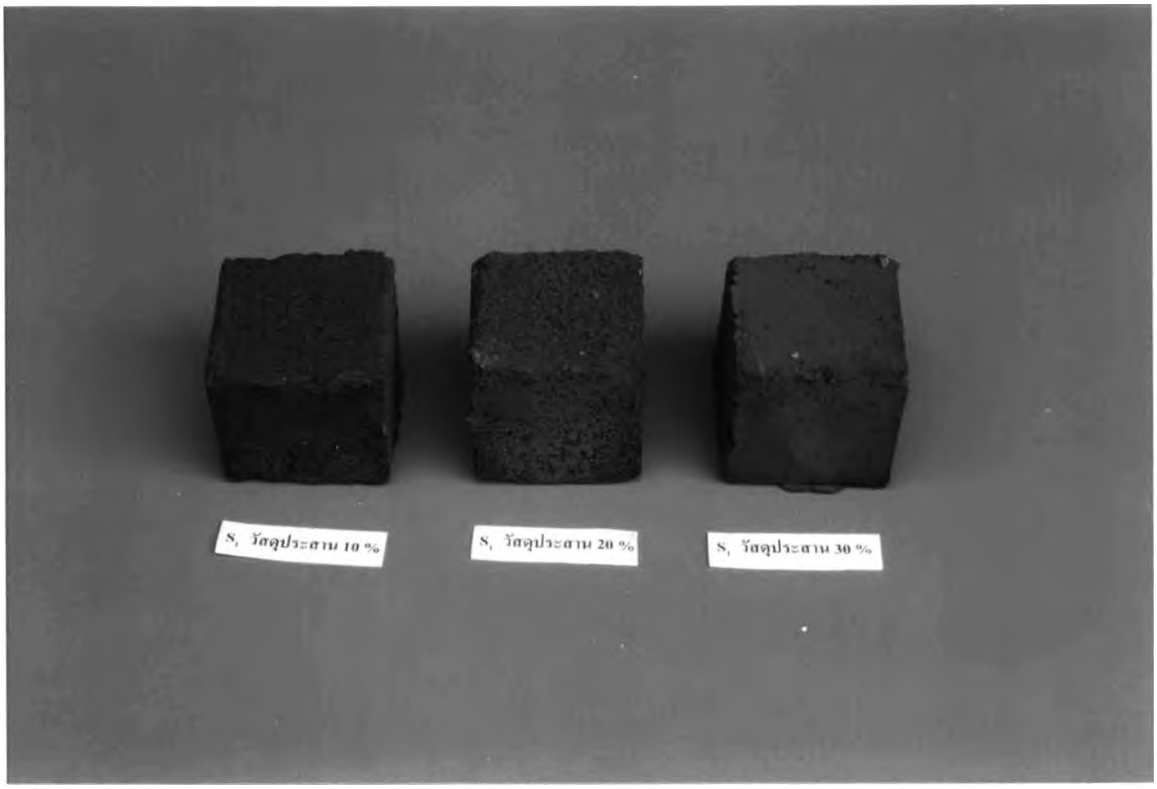
รูปที่ ผ.4 แสดงลักษณะของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำเสถียรกากตะกรันโดยใช้ปูนขาว
(ปริมาณปูนขาวร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 100 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน)



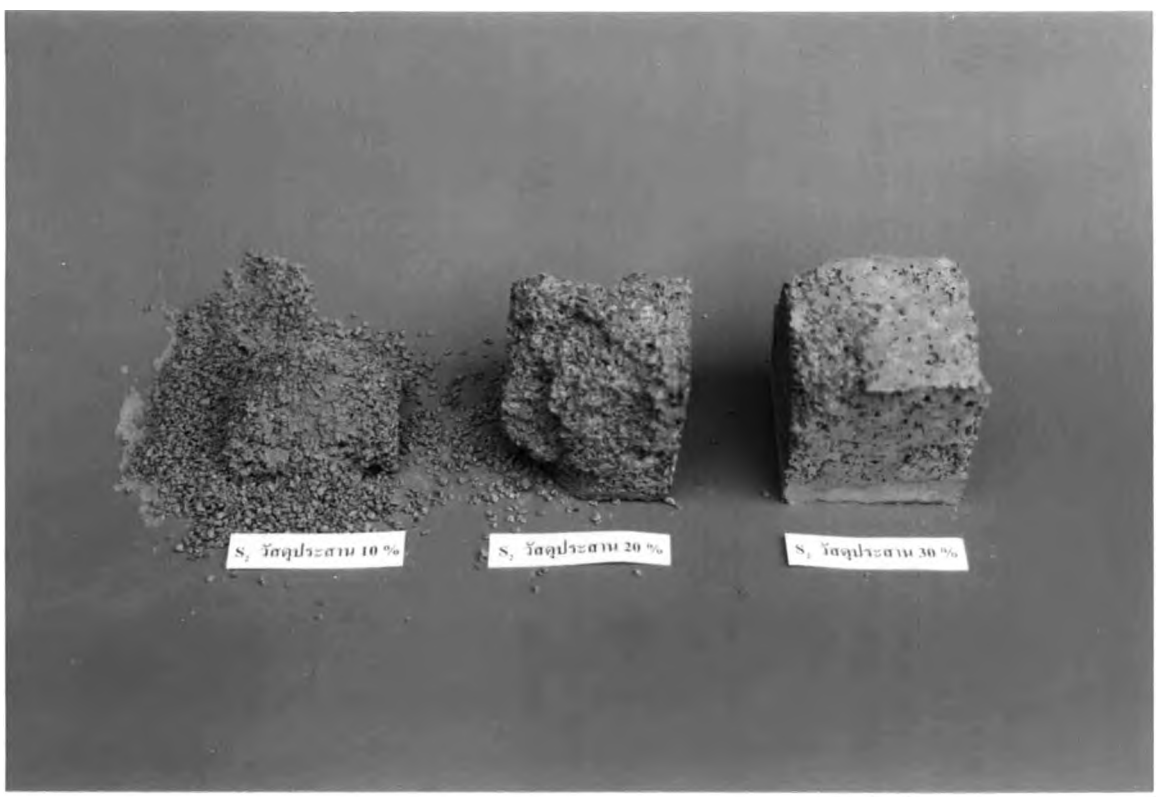
รูปที่ ผ.5 แสดงก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของแข็งกากตะกรันด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ (ปริมาณวัสดุประสานร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน : วัสดุประสานคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งผสมปูนขาวในอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 1:0, 0.9:0.1, 0.7:0.3,0.5:0.5 และ 0.3:0.7)



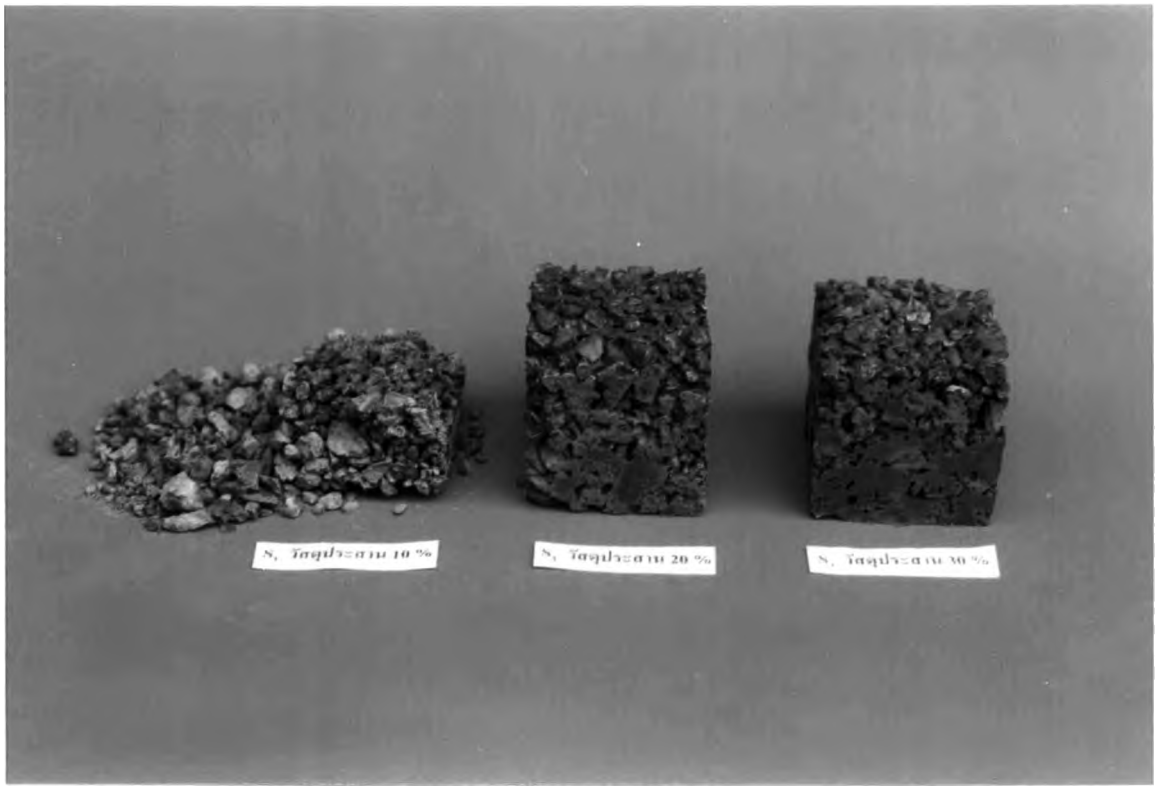
รูปที่ ผ.6 แสดงลักษณะของกากตะกรันที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ



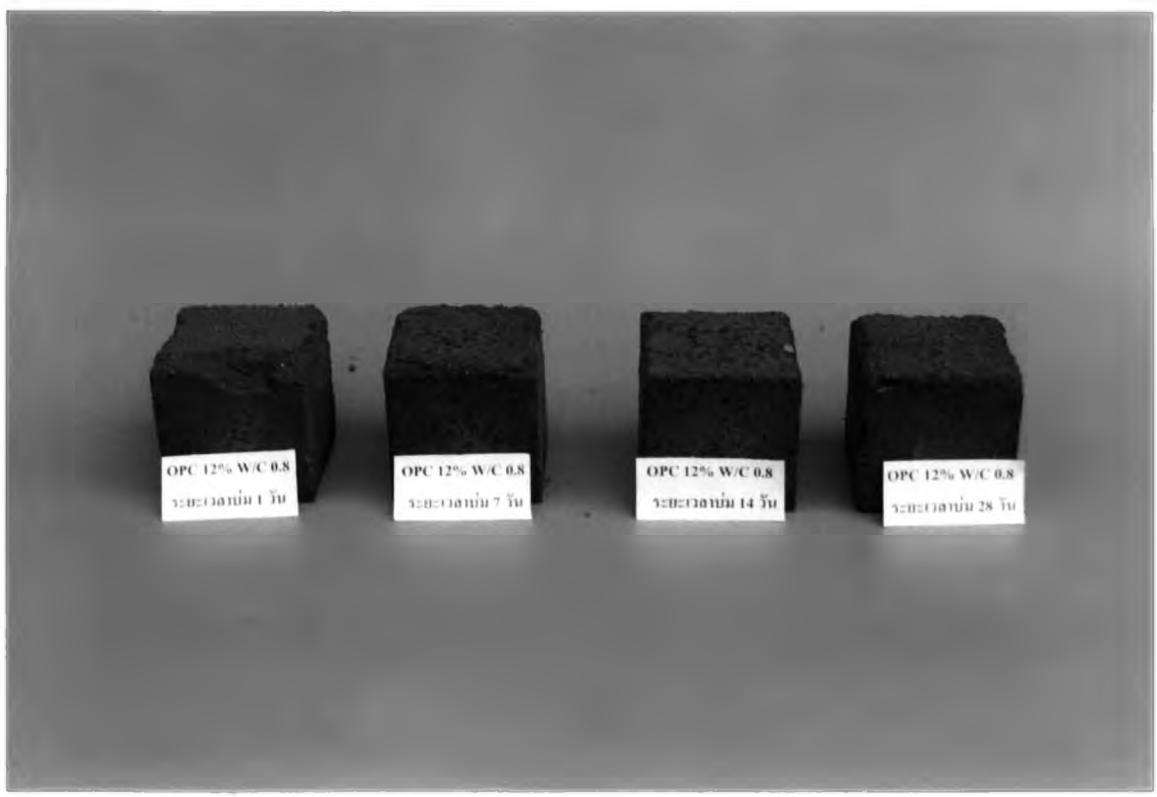
รูปที่ ผ.7 แสดงลักษณะของตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรัน
(ขนาดอนุภาคที่ 1)



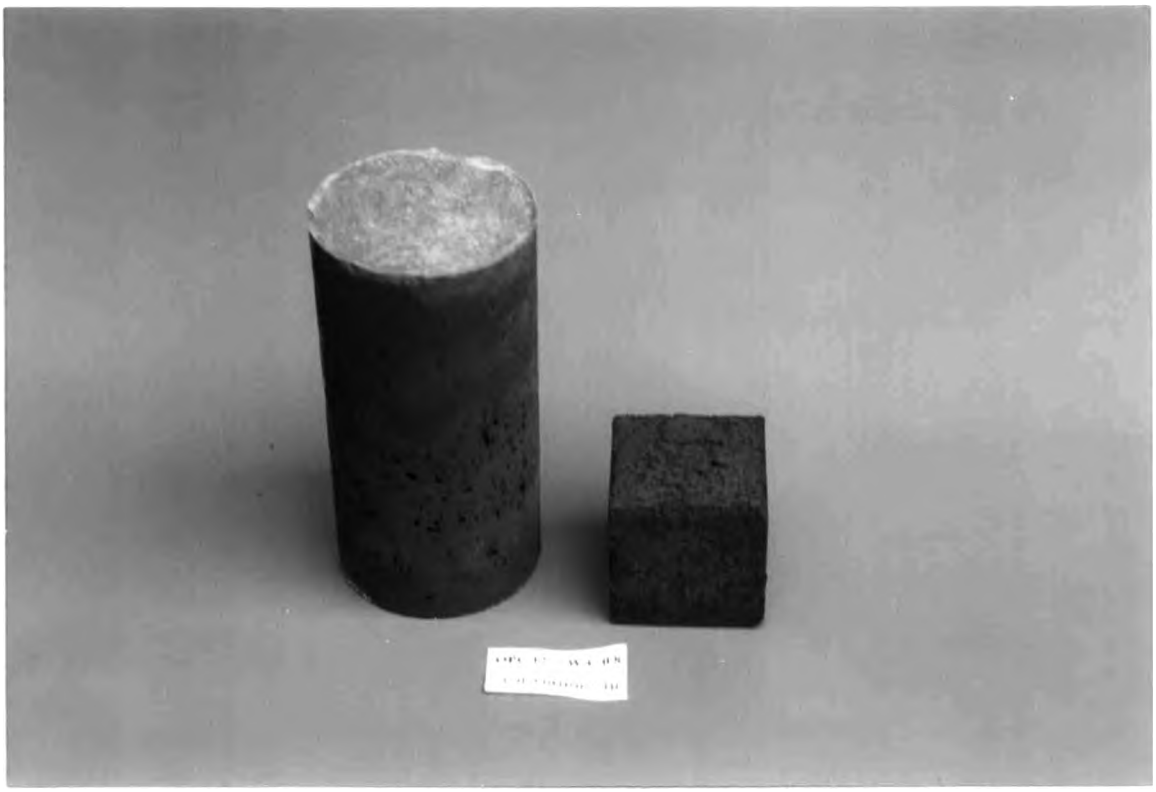
รูปที่ ผ.8 แสดงลักษณะของตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรัน
(ขนาดอนุภาคที่ 2)



รูปที่ ผ.9 แสดงลักษณะของตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรัน (ขนาดอนุภาคที่ 3)



รูปที่ ผ.10 แสดงลักษณะของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรันโดยแปรค่าระยะเวลาบ่ม (ระยะเวลาบ่ม 1, 7, 14 และ 28 วัน)



รูปที่ ผ.11 แสดงลักษณะของก้อนตัวอย่างที่เกิดจากการทำให้เป็นก้อนแข็งของกากตะกรัน รูปทรงกระบอก และรูปทรงลูกบาศก์ (ตามมาตรฐาน ASTM D 1633-84 และ ASTM C 109-86)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกรันที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์

ตารางที่ ผ.1 แสดงผลความหนาแน่นรวมของกากตะกรัน

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาตร (มิลลิเมตร)	ความหนาแน่นรวม (ตัน/ลบ.ม.)
1.	12.79	3.5	3.65
2.	15.88	4.4	3.61
3.	14.06	3.8	3.70
เฉลี่ย	-	-	3.65
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	-	0.0451

ตารางที่ ผ.2 แสดงผลการกระจายขนาดคละของกากตะกรัน

เบอร์ตะแกรง (Sieve No.)	น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละ		
		การค้าง	ค้างสะสม	การผ่าน
30	52.61	26.2	26.2	73.8
50	52.65	26.2	52.4	47.6
100	40.24	20.0	72.4	27.6
200	25.67	12.8	85.2	14.8
270	29.67	14.8	100.0	0
Pan	0	-	-	-

น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น 200.94 กรัม น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมด 200.84 กรัม

ความผิดพลาดร้อยละ 0.0498

ตารางที่ ผ.3 แสดงผลความสามารถในการดูดซึมน้ำของกากตะกรัน

ครั้งที่	น้ำหนักกากตะกรัน (กรัม)		น้ำหนักของน้ำ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซึมน้ำ
	สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	หลังอบ		
1.	84.26	81.18	3.08	3.79
2.	115.62	110.90	4.72	4.26
3.	113.77	109.39	4.38	4.00
เฉลี่ย	-	-	-	4.02
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	-	-	0.2354

ตารางที่ ผ.4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกรันโดยวิธีการย่อยด้วยกรดเข้มข้น

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./ก.) ของกากตะกรัน					ปริมาณโลหะหนัก (ร้อยละ) โดยน้ำหนัก				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตะกั่ว (Pb)	70	75	78	74.68	4.1633	7	7.6	7.8	7.467	0.4163
แคดเมียม (Cd)	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-
โครเมียม (Cr)	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-
ปรอท (Hg)	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-
อาร์เซนิก (As)	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0
เหล็ก (Fe)	276	250	251	272.33	19.7569	27.6	29.0	25.1	27.23	1.976
สังกะสี (Zn)	10	10	10	10	0	1	1	1	1	0
ทองแดง (Cu)	1.3	1.5	1.3	1.367	0.1155	0.13	0.15	0.13	0.1367	0.0116
เงิน (Ag)	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0

การย่อยด้วยกรดเข้มข้น หรือ Total digestion ตามมาตรฐาน US.EPA.

nd = not detectable กล่าวคือ ไม่สามารถตรวจวัดได้เมื่อปริมาณ โครเมียม < 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร อาร์เซนิก < 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียม < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรอท < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ ผ.5 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการชะละลายกากตะกรัน

สมบัติของน้ำสกัด	ค่าที่วัดได้				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พีเอช (pH)	6.18	6.09	6.12	6.13	0.0458
ตะกั่ว (Pb; มก./ล.)	9.09	8.97	9.14	9.04	0.0874
แคดเมียม (Cd; มก./ล.)	nd	nd	nd	-	-
โครเมียม (Cr; มก./ล.)	nd	nd	nd	-	-
ปรอท (Hg; มก./ล.)	nd	nd	nd	-	-
อาร์เซนิก (As; มก./ล.)	nd	nd	nd	-	-
เหล็ก (Fe; มก./ล.)	27.90	20.43	22.18	23.50	3.9069
สังกะสี (Zn; มก./ล.)	0.98	1.30	1.08	1.12	0.1637

nd = not detectable กล่าวคือ ไม่สามารถตรวจวัดได้เมื่อปริมาณ โครเมียม < 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร

อาร์เซนิก < 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร

แคดเมียม < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปรอท < 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการทดลองที่ 2 การศึกษาการทำเสถียรภาพกากตะกรันด้วยปูนขาว

ตารางที่ ผ.6 แสดงผลน้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ

เวลาบ่ม	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	น้ำหนัก (กรัม)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
7 วัน	0	345.4	352.1	360.0
	10	348.4	354.5	345.3
	20	325.7	301.8	222.5
	30	301.9	304.3	321.6
	40	285.1	275.2	291.6
	50	275.0	285.5	286.7
	60	280.3	266.7	231.0
	70	265.6	266.5	260.5
	100	244.5	244.4	246.7
14 วัน	0	350.3	330.5	361.5
	10	350.5	345.2	339.0
	20	323.5	325.6	347.7
	30	301.2	302.4	312.4
	40	303.0	289.1	289.8
	50	280.1	273.6	275.7
	60	286.8	266.3	268.4
	70	232.9	231.0	230.9
	100	250.1	235.8	258.3
28 วัน	0	277.2	330.6	334.5
	10	345.3	343.6	346.3
	20	316.1	329.2	345.9
	30	320.9	315.9	321.7
	40	285.4	308.3	306.8
	50	273.7	277.2	301.2
	60	269.5	269.4	301.6
	70	271.1	264.6	289.4
	100	238.2	234.3	235.7

ตารางที่ ผ.7 แสดงผลการวัดขนาดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ

เวลาบ่ม	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ขนาดก้อนตัวอย่าง (กว้าง×ยาว×สูง ; ลบ.ซม.)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
7 วัน	0	5.110×5.237×5.020	5.080×5.260×5.190	5.025×5.270×5.190
	10	5.270×5.140×5.110	5.125×5.235×5.130	5.27×5.140×5.100
	20	4.995×5.140×5.120	4.950×4.955×4.950	5.230×3.355×4.990
	30	5.100×5.010×5.075	4.975×5.030×5.130	5.200×5.175×4.950
	40	4.980×4.920×5.100	5.100×4.880×4.965	5.020×4.980×5.100
	50	5.000×4.980×5.050	5.150×5.100×5.180	5.160×5.070×5.100
	60	5.185×5.070×5.075	5.000×5.050×5.070	4.330×5.080×4.990
	70	5.130×5.060×5.020	4.990×5.030×5.110	5.075×5.010×5.050
	100	5.000×5.050×5.065	5.075×5.080×5.040	5.000×5.050×5.050
14 วัน	0	4.990×5.105×4.980	4.980×4.900×5.100	4.998×5.010×5.110
	10	5.110×5.120×5.100	5.160×5.133×5.000	5.1005.125×5.045
	20	4.900×5.120×5.310	5.023×5.010×5.130	4.845×5.160×5.113
	30	5.025×5.140×5.100	4.890×5.105×5.100	5.170×5.065×5.135
	40	5.014×5.230×5.150	5.125×5.130×5.000	5.160×5.120×5.130
	50	4.870×5.170×5.110	5.050×4.970×5.110	5.000×4.988×5.110
	60	5.140×5.135×5.140	5.141×5.035×5.070	5.260×4.950×5.025
	70	4.321×5.200×4.900	4.900×4.980×5.000	4.730×5.010×5.000
	100	5.130×5.105×5.200	5.100×5.120×5.120	5.130×5.170×5.055
28 วัน	0	4.970×4.200×5.110	5.110×4.845×5.125	4.820×5.110×5.100
	10	4.970×5.260×5.135	5.070×5.060×5.170	5.095×5.100×5.095
	20	5.100×5.000×4.970	5.030×5.230×5.040	5.245×5.160×5.190
	30	5.020×5.260×5.090	5.080×5.200×4.950	5.220×5.185×5.060
	40	4.970×5.000×5.140	5.106×5.120×5.050	5.180×5.165×5.190
	50	5.090×4.740×5.065	4.790×5.130×5.070	5.195×5.190×5.120
	60	4.990×4.870×5.150	5.020×5.045×5.000	5.240×5.260×5.190
	70	5.070×5.055×5.035	4.990×5.025×5.160	5.310×5.235×5.170
	100	4.980×5.040×5.070	5.030×4.940×5.040	4.980×5.015×5.000

ตารางที่ ผ.8 แสดงผลการทดสอบค่ารับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ

เวลาบ่ม	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ค่ารับแรงอัด (กก.)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
7 วัน	0	1.7329	2.5484	2.3445
	10	166.6670	175.0000	168.7054
	20	154.8211	154.1104	109.1144
	30	151.8858	152.9052	161.0601
	40	140.3664	125.8100	130.2100
	50	118.5000	120.5000	122.8338
	60	115.1874	114.3604	97.0114
	70	104.9949	112.1305	105.6065
	100	88.6850	88.6850	86.1366
14 วัน	0	1.8366	2.1329	2.5810
	10	178.6556	165.1100	180.9440
	20	153.3476	149.9122	165.2615
	30	144.7851	130.8426	161.8775
	40	136.2410	123.1474	145.7500
	50	112.3617	115.9400	119.4500
	60	112.7500	103.0150	108.6225
	70	90.2471	94.2144	97.2310
	100	94.3924	85.1030	101.4000
28 วัน	0	2.1413	3.0010	1.9384
	10	153.7309	174.9556	171.6277
	20	148.3142	169.8400	169.8647
	30	137.4215	163.1027	153.7155
	40	126.2873	149.8734	126.8264
	50	111.0639	124.3629	126.5713
	60	108.7288	124.8726	107.6371
	70	102.0476	117.2273	104.8551
	100	97.3496	99.8981	88.1753

ตารางที่ ผ.9 แสดงผลค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ

เวลาบ่ม	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
7 วัน	0	0.0648	0.0954	0.0885	0.09	0.0231
	10	6.1528	6.5289	6.4358	6.37	0.1986
	20	6.0302	6.2832	6.2185	6.18	0.1305
	30	5.9444	6.1103	5.9851	6.01	0.0874
	40	5.7289	5.0550	5.2085	5.33	0..3516
	50	4.7879	4.5879	4.6953	4.69	0.100
	60	4.3818	4.5291	4.4103	4.44	0.0794
	70	4.0448	4.4674	4.1535	4.22	0.2234
	100	3.5123	3.4399	3.4114	3.45	0.0513
14 วัน	0	0.0721	0.0874	0.1031	0.09	0.0153
	10	6.8185	6.2338	6.9228	6.66	0.3751
	20	6.1124	5.9571	6.6104	6.23	0.3403
	30	5.6056	5.2414	6.1818	5.68	0.4735
	40	5.1954	4.6840	5.5168	5.13	0.4239
	50	4.4627	4.6194	4.7895	4.62	0.1650
	60	4.2718	3.9797	4.1719	4.14	0.1473
	70	4.0249	3.8609	4.1030	3.99	0.1222
	100	3.6043	3.2592	3.8232	3.56	0.2821
28 วัน	0	0.1026	0.1212	0.0787	0.10	0.0200
	10	5.8806	6.8198	6.6050	6.44	0.4934
	20	5.8049	6.4561	6.2764	6.18	0.3412
	30	5.2043	6.1744	5.6793	5.68	0.4850
	40	5.0820	5.7329	4.7403	5.18	0.5030
	50	4.6034	5.0610	4.6944	4.78	0.2438
	60	4.4742	4.9306	3.9052	4.44	0.5108
	70	3.9817	4.6751	3.7721	4.14	0.4765
	100	3.8786	4.0203	3.5306	3.81	0.2524

ตารางที่ ผ.10 แสดงผลความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวชนิดต่างๆ

เวลาบ่ม	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ความหนาแน่น (ตัน./ลบ.ม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
7 วัน	0	2.5711	2.5389	2.5764	2.56	0.0208
	10	2.5219	2.5781	2.6269	2.58	0.0551
	20	2.4777	2.4858	2.5412	2.50	0.0321
	30	2.3282	2.3704	2.3485	2.35	0.0200
	40	2.2816	2.2271	2.2871	2.27	0.0321
	50	2.2002	2.0985	2.1620	2.15	0.0503
	60	2.1010	2.0833	2.1046	2.09	0.0115
	70	2.0382	2.0778	2.0483	2.06	0.0208
	100	1.9118	1.8809	1.9091	1.90	0.0173
14 วัน	0	2.7613	2.6505	2.8252	2.75	0.0907
	10	2.6268	2.6066	2.5708	2.60	0.0306
	20	2.4284	2.5221	2.5064	2.49	0.0493
	30	2.2866	2.3752	2.3233	2.33	0.0458
	40	2.2436	2.1992	2.1383	2.19	0.0503
	50	2.1771	2.1333	2.1633	2.16	0.0252
	60	2.1140	2.0292	2.0514	2.06	0.0416
	70	2.1198	1.8933	1.9487	1.99	0.1193
	100	1.8365	1.7637	1.9266	1.84	0.0850
28 วัน	0	2.5988	2.6055	2.6629	2.62	0.0321
	10	2.5723	2.5906	2.6157	2.59	0.0252
	20	2.4893	2.5176	2.4626	2.49	0.0300
	30	2.3876	2.4159	2.3490	2.39	0.0351
	40	2.2344	2.3352	2.2095	2.26	0.0700
	50	2.2397	2.2250	2.1819	2.22	0.0321
	60	2.1534	2.1275	2.1084	2.13	0.0200
	70	2.1009	2.0450	2.0137	2.05	0.0451
	100	1.8719	1.8709	1.8875	1.88	0.0115

ตารางที่ ผ.11 แสดงผลการวัดพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ

เวลาบ่ม	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	พีเอช				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
7 วัน	0	6.19	6.05	6.15	6.13	0.0721
	10	11.43	11.56	11.51	11.50	0.0656
	20	11.58	11.60	11.63	11.60	0.0252
	30	11.97	11.86	11.88	11.90	0.0586
	40	11.89	11.95	11.97	11.94	0.0416
	50	11.95	11.98	11.94	11.96	0.0208
	60	11.97	11.95	11.98	11.97	0.0153
	70	12.03	11.99	12.01	12.01	0.0200
	100	12.21	12.03	12.11	12.21	0.0904
14 วัน	0	6.08	6.13	6.12	6.11	0.0265
	10	11.38	11.69	11.45	11.45	0.1133
	20	11.74	11.65	11.47	11.47	0.1375
	30	11.93	11.88	11.89	11.89	0.0265
	40	11.87	11.93	11.96	11.96	0.0458
	50	11.96	11.90	11.92	11.92	0.0351
	60	11.99	11.93	12.01	12.01	0.0416
	70	12.07	11.98	12.01	12.01	0.0458
	100	12.43	12.26	12.20	12.20	0.1193
28 วัน	0	6.18	6.01	6.15	6.11	0.0907
	10	11.58	11.47	11.54	11.53	0.0557
	20	11.54	11.79	11.63	11.65	0.1266
	30	11.86	11.84	11.95	11.88	0.0586
	40	11.93	11.91	11.94	11.93	0.0153
	50	11.97	11.94	11.97	11.96	0.0173
	60	11.95	11.98	11.96	11.96	0.0153
	70	12.03	12.19	12.07	12.10	0.0833
	100	12.31	12.28	12.62	12.40	0.1882

ตารางที่ ผ.12 แสดงผลความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนขาวในปริมาณต่างๆ

เวลาบ่ม	ปริมาณปูนขาว (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
7 วัน	0	8.84	8.72	9.05	8.87	0.6170
	10	7.56	7.59	7.48	7.54	0.0569
	20	6.77	6.82	6.61	6.73	0.1097
	30	6.70	6.51	6.45	6.55	0.1305
	40	6.49	6.44	6.47	6.47	0.0252
	50	6.43	6.38	6.22	6.34	0.1097
	60	5.62	6.54	6.30	6.15	0.4772
	70	5.88	5.91	5.64	5.80	0.1436
	100	3.22	3.21	3.17	3.20	0.0265
14 วัน	0	8.92	8.71	9.02	8.88	0.1582
	10	7.35	7.65	7.48	7.49	0.1504
	20	6.81	6.69	6.67	6.72	0.0757
	30	6.55	6.58	6.56	6.56	0.0153
	40	6.46	6.49	6.43	6.46	0.0300
	50	6.33	6.38	6.26	6.32	0.0603
	60	6.05	5.57	5.72	5.78	0.2456
	70	5.48	5.63	5.57	5.56	0.0755
	100	3.16	3.27	3.29	3.24	0.0700
28 วัน	0	9.01	8.83	8.91	8.92	0.0902
	10	7.50	7.42	7.36	7.43	0.0702
	20	6.66	6.71	6.68	6.68	0.0252
	30	6.47	6.50	6.53	6.50	0.0300
	40	6.38	6.49	6.49	6.45	000635
	50	6.25	6.31	6.34	6.30	0.0458
	60	6.14	6.17	6.02	6.11	0.0794
	70	5.40	5.64	5.60	5.50	0.1286
	100	3.22	3.18	3.09	3.16	0.0666

ผลการทดลองที่ 3.1 การศึกษาชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสม

ตารางที่ ผ.13 แสดงผลน้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ปริมาณ (ร้อยละ)	วัสดุประสาน			น้ำหนัก (กรัม)		
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
10	1.0	0	-	373.2	358.7	352.7
	0.9	0.1	-	334.5	342.4	355.5
	0.7	0.3	-	364.6	362.0	340.4
	0.5	0.5	-	361.5	358.0	336.2
	0.3	0.7	-	363.7	362.5	359.8
	1.0	0	●	351.5	349.2	355.4
	0.9	0.1	●	366.8	351.1	357.0
	0.7	0.3	●	364.8	359.5	371.0
	0.5	0.5	●	355.4	348.2	340.3
	0.3	0.7	●	357.9	361.5	352.0
20	1.0	0	-	356.1	342.4	355.5
	0.9	0.1	-	326.3	318.9	347.6
	0.7	0.3	-	337.4	322.5	321.2
	0.5	0.5	-	332.7	328.1	335.6
	0.3	0.7	-	337.6	320.3	341.9
	1.0	0	●	346.5	334.9	325.1
	0.9	0.1	●	329.2	326.3	335.6
	0.7	0.3	●	320.9	341.7	329.4
	0.5	0.5	●	338.6	342.1	321.7
	0.3	0.7	●	316.4	328.7	325.0
30	1.0	0	-	324.9	327.2	344.3
	0.9	0.1	-	341.1	327.4	314.8
	0.7	0.3	-	324.0	311.3	306.9
	0.5	0.5	-	308.6	294.5	309.7
	0.3	0.7	-	302.75	293.0	312.1
	1.0	0	●	325.2	316.4	295.3
	0.9	0.1	●	332.7	325.4	341.5
	0.7	0.3	●	314.5	317.2	321.6
	0.5	0.5	●	308.0	294.3	301.7
	0.3	0.7	●	291.0	302.1	297.8

ตารางที่ ผ.14 แสดงผลการวัดขนาดของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ปริมาณ (ร้อยละ)	วัสดุประสาน			ขนาดก้อนตัวอย่าง (กว้าง×ยาว×สูง ; ลบ.ซม.)		
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
10	1.0	0	-	5.000×5.150×5.300	5.160×5.026×5.130	5.010×5.120×5.110
	0.9	0.1	-	4.640×5.200×5.120	5.050×5.090×5.070	5.100×5.110×5.185
	0.7	0.3	-	5.070×4.970×5.137	5.090×5.270×5.110	5.025×5.060×5.150
	0.5	0.5	-	5.100×5.200×5.040	5.120×5.040×5.200	5.000×5.040×4.995
	0.3	0.7	-	5.100×5.025×5.140	5.160×5.095×5.100	5.200×5.040×5.000
	1.0	0	●	5.140×5.160×5.170	5.110×5.020×5.130	5.160×5.200×5.040
	0.9	0.1	●	5.130×5.165×5.160	5.090×5.130×5.200	5.220×5.150×5.180
	0.7	0.3	●	5.140×5.160×5.140	5.160×5.200×5.180	5.120×5.175×5.120
	0.5	0.5	●	5.150×5.180×5.100	5.180×5.040×5.080	5.100×5.000×5.130
	0.3	0.7	●	5.130×5.100×5.100	5.150×5.033×5.150	5.120×5.110×5.020
20	1.0	0	-	5.130×5.110×5.105	5.000×5.010×4.980	5.100×5.020×5.020
	0.9	0.1	-	5.100×5.000×5.020	5.045×5.100×5.010	5.030×5.120×5.210
	0.7	0.3	-	5.170×5.130×5.100	5.040×4.950×5.130	5.150×5.110×5.012
	0.5	0.5	-	5.325×4.995×5.050	5.160×5.100×5.180	5.185×5.105×4.985
	0.3	0.7	-	5.180×5.220×5.060	5.055×5.080×5.200	5.050×5.100×5.145
	1.0	0	●	5.180×5.140×5.135	5.000×5.040×5.190	4.940×5.070×5.100
	0.9	0.1	●	5.085×5.060×5.120	5.020×5.070×5.185	5.200×2.140×5.060
	0.7	0.3	●	5.200×4.960×5.000	5.145×5.255×5.030	5.075×5.155×5.100
	0.5	0.5	●	5.250×5.050×5.140	5.120×5.080×5.260	5.170×5.025×5.030
	0.3	0.7	●	4.980×5.110×5.210	4.975×5.285×4.975	5.070×4.980×5.150
30	1.0	0	-	5.140×5.025×5.010	5.210×5.060×5.020	5.240×5.060×5.130
	0.9	0.1	-	5.120×5.215×5.200	5.271×5.100×4.980	5.015×4.905×5.190
	0.7	0.3	-	5.200×5.120×5.110	4.950×5.000×5.350	5.200×5.050×4.975
	0.5	0.5	-	4.910×5.210×5.170	4.910×5.030×5.090	5.000×5.075×5.125
	0.3	0.7	-	5.065×5.220×5.000	5.010×5.000×5.120	5.130×5.110×5.200
	1.0	0	●	5.165×5.065×5.055	5.180×4.880×5.130	4.390×5.170×5.220
	0.9	0.1	●	5.130×5.150×5.160	5.225×5.000×5.125	5.245×5.200×4.955
	0.7	0.3	●	5.061×5.260×5.060	5.030×5.310×5.010	5.070×5.250×5.170
	0.5	0.5	●	5.050×5.000×5.200	5.000×5.000×5.090	5.000×5.000×5.150
	0.3	0.7	●	5.120×5.150×4.975	5.250×5.100×5.100	5.165×5.125×5.110

ตารางที่ ผ.15 แสดงผลการทดสอบค่ารับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ตารางที่ ผ.15 แสดงผลการทดสอบค่ารับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ปริมาณ (ร้อยละ)	วัสดุประสาน			ค่ารับแรงอัด (ตัน)		
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
10	1.0	0	-	2.25	2.40	2.35
	0.9	0.1	-	2.10	2.10	1.87
	0.7	0.3	-	2.78	2.45	2.65
	0.5	0.5	-	1.15	1.00	1.10
	0.3	0.7	-	0.67	0.75	0.70
	1.0	0	●	1.77	1.74	1.80
	0.9	0.1	●	2.00	1.90	2.03
	0.7	0.3	●	2.55	3.12	2.90
	0.5	0.5	●	1.10	0.95	1.15
	0.3	0.7	●	0.42	0.65	0.55
20	1.0	0	-	3.20	3.02	3.07
	0.9	0.1	-	2.40	2.70	2.55
	0.7	0.3	-	3.67	3.30	3.45
	0.5	0.5	-	2.35	2.40	2.50
	0.3	0.7	-	1.03	0.97	1.05
	1.0	0	●	3.30	3.07	3.12
	0.9	0.1	●	3.20	3.15	3.04
	0.7	0.3	●	3.60	3.85	3.85
	0.5	0.5	●	2.55	2.40	2.24
	0.3	0.7	●	0.80	0.88	0.78
30	1.0	0	-	3.87	3.64	3.80
	0.9	0.1	-	3.05	3.20	2.70
	0.7	0.3	-	4.50	4.30	4.50
	0.5	0.5	-	3.00	3.05	3.10
	0.3	0.7	-	1.26	1.22	1.14
	1.0	0	●	3.85	3.70	3.38
	0.9	0.1	●	5.18	5.20	5.05
	0.7	0.3	●	5.87	5.78	5.80
	0.5	0.5	●	2.94	2.80	2.90
	0.3	0.7	●	1.05	1.03	0.97

ตารางที่ ผ.16 แสดงผลค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ปริมาณ (ร้อยละ)	วัสดุประสาน			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.0	0	-	87.38	92.56	91.61	90.52	2.7576
	0.9	0.1	-	87.04	81.60	71.75	80.16	7.7600
	0.7	0.3	-	110.33	91.34	104.22	101.96	9.6940
	0.5	0.5	-	43.36	38.75	43.65	41.92	2.7491
	0.3	0.7	-	26.09	28.53	26.71	27.00	1.2682
	1.0	0	●	66.74	67.83	67.08	67.22	0.5577
	0.9	0.1	●	75.48	72.76	75.51	74.58	1.5791
	0.7	0.3	●	96.15	118.10	111.61	108.65	11.3184
	0.5	0.5	●	41.23	36.39	45.10	40.91	4.3640
	0.3	0.7	●	16.05	25.08	21.02	20.72	4.5226
20	1.0	0	-	122.07	120.56	119.91	120.85	1.1082
	0.9	0.1	-	94.12	104.94	99.01	99.36	5.4183
	0.7	0.3	-	138.38	132.28	131.10	133.92	3.9073
	0.5	0.5	-	88.35	91.20	94.45	91.33	3.0522
	0.3	0.7	-	38.09	37.77	40.77	38.88	1.6475
	1.0	0	●	123.94	121.83	124.57	123.45	1.4351
	0.9	0.1	●	124.37	123.77	113.74	120.63	5.9716
	0.7	0.3	●	139.58	142.40	147.16	143.05	3.8312
	0.5	0.5	●	96.18	92.27	86.22	91.56	5.0182
	0.3	0.7	●	31.44	33.47	30.89	31.93	1.3589
30	1.0	0	-	149.83	138.07	143.32	143.74	5.8912
	0.9	0.1	-	114.23	119.06	109.76	114.35	4.6512
	0.7	0.3	-	169.02	173.74	171.36	171.37	2.3600
	0.5	0.5	-	117.27	123.50	121.92	120.90	3.2386
	0.3	0.7	-	47.66	48.70	43.49	46.62	2.7573
	1.0	0	●	147.17	146.37	148.92	147.49	1.3042
	0.9	0.1	●	196.07	199.04	185.16	193.42	7.3087
	0.7	0.3	●	220.50	216.40	217.90	218.27	2.0744
	0.5	0.5	●	116.44	112.00	114.85	114.43	2.2496
	0.3	0.7	●	39.82	38.47	36.64	38.31	1.5960

ตารางที่ ผ.17 แสดงผลความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ปริมาณ (ร้อยละ)	วัสดุประสาน			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ซม.)				
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.0	0	-	2.73	2.70	2.69	2.71	0.0208
	0.9	0.1	-	2.71	2.63	2.63	2.66	0.0462
	0.7	0.3	-	2.82	2.66	2.60	2.69	0.1137
	0.5	0.5	-	2.70	2.67	2.67	2.68	0.0173
	0.3	0.7	-	2.76	2.70	2.75	2.74	0.0321
	1.0	0	●	2.56	2.65	2.63	2.61	0.0473
	0.9	0.1	●	2.67	2.59	2.56	2.60	0.0569
	0.7	0.3	●	2.68	2.63	2.79	2.70	0.0819
	0.5	0.5	●	2.61	2.63	2.60	2.61	0.0153
	0.3	0.7	●	2.68	2.71	2.68	2.69	0.0173
20	1.0	0	-	2.66	2.62	2.62	2.63	0.0231
	0.9	0.1	-	2.55	2.49	2.59	2.54	0.0503
	0.7	0.3	-	2.49	2.52	2.44	2.48	0.0404
	0.5	0.5	-	2.48	2.41	2.54	2.48	0.0651
	0.3	0.7	-	2.47	2.40	2.38	2.42	0.0473
	1.0	0	●	2.53	2.56	2.55	2.55	0.0153
	0.9	0.1	●	2.50	2.47	2.48	2.48	0.0153
	0.7	0.3	●	2.49	2.51	2.47	2.49	0.0200
	0.5	0.5	●	2.48	2.50	2.46	2.48	0.0200
	0.3	0.7	●	2.39	2.51	2.50	2.46	0.0781
30	1.0	0	-	2.51	2.47	2.53	2.50	0.0310
	0.9	0.1	-	2.46	2.45	2.47	2.46	0.0100
	0.7	0.3	-	2.38	2.35	2.35	2.36	0.0173
	0.5	0.5	-	2.33	2.34	2.34	2.34	0.0058
	0.3	0.7	-	2.29	2.28	2.29	2.29	0.0058
	1.0	0	●	2.46	2.44	2.49	2.46	0.0252
	0.9	0.1	●	2.44	2.43	2.44	2.44	0.0058
	0.7	0.3	●	2.33	2.37	2.34	2.35	0.0208
	0.5	0.5	●	2.31	2.31	2.32	2.32	0.0058
	0.3	0.7	●	2.22	2.21	2.20	2.21	0.0100

ตารางที่ ผ.18 แสดงผลการวัดพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ปริมาณ (ร้อยละ)	วัสดุประสาน			พีเอช				
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.0	0	-	10.96	11.01	11.06	11.01	0.0500
	0.9	0.1	-	11.58	11.59	11.54	11.57	0.0265
	0.7	0.3	-	11.56	11.62	11.60	11.59	0.0306
	0.5	0.5	-	11.80	11.86	11.85	11.84	0.0321
	0.3	0.7	-	11.99	11.96	11.98	11.98	0.0153
	1.0	0	●	11.13	11.07	11.15	11.12	0.0416
	0.9	0.1	●	11.52	11.56	11.56	11.55	0.0231
	0.7	0.3	●	11.56	11.68	11.57	11.60	0.0666
	0.5	0.5	●	11.86	11.89	11.84	11.86	0.0252
	0.3	0.7	●	11.95	11.95	11.92	11.94	0.0173
20	1.0	0	-	11.11	11.19	11.18	11.16	0.0436
	0.9	0.1	-	11.58	11.63	11.63	11.61	0.0289
	0.7	0.3	-	11.64	11.67	11.69	11.67	0.0252
	0.5	0.5	-	11.85	11.87	11.92	11.88	0.0361
	0.3	0.7	-	11.99	12.03	12.02	12.01	0.0208
	1.0	0	●	11.13	11.07	11.15	11.12	0.0416
	0.9	0.1	●	11.67	11.67	11.66	11.67	0.0058
	0.7	0.3	●	11.59	11.68	11.68	11.65	0.0520
	0.5	0.5	●	11.88	11.92	11.91	11.90	0.0208
	0.3	0.7	●	11.98	11.98	11.97	11.98	0.0058
30	1.0	0	-	11.47	11.20	11.26	11.30	0.1184
	0.9	0.1	-	11.74	11.81	11.85	11.80	0.0557
	0.7	0.3	-	11.84	11.85	11.85	11.85	0.0058
	0.5	0.5	-	11.92	11.88	11.95	11.92	0.0352
	0.3	0.7	-	12.11	12.14	12.08	12.11	0.0300
	1.0	0	●	11.28	11.41	11.37	11.35	0.0666
	0.9	0.1	●	11.82	11.75	11.75	11.77	0.0404
	0.7	0.3	●	11.81	11.75	11.80	11.79	0.0321
	0.5	0.5	●	11.94	11.92	11.98	11.95	0.0306
	0.3	0.7	●	12.04	12.09	12.03	12.05	0.0321

ตารางที่ ผ.19 แสดงผลความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ

ปริมาณ (ร้อยละ)	วัสดุประสาน			ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)				
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	น้ำยากันซึม	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	1.0	0	-	4.86	5.11	4.42	4.80	0.3493
	0.9	0.1	-	5.18	5.21	5.20	5.20	0.0153
	0.7	0.3	-	5.35	5.42	5.34	5.37	0.0436
	0.5	0.5	-	6.63	6.57	6.65	6.59	0.0379
	0.3	0.7	-	8.84	8.96	8.93	8.90	0.0624
	1.0	0	●	4.99	5.11	5.12	5.07	0.0723
	0.9	0.1	●	5.26	5.38	5.29	5.31	0.0624
	0.7	0.3	●	5.47	5.39	5.52	5.46	0.0656
	0.5	0.5	●	6.44	6.52	6.55	6.50	0.0569
	0.3	0.7	●	8.90	8.91	8.00	8.90	0.0058
20	1.0	0	-	3.26	3.35	3.40	3.34	0.0709
	0.9	0.1	-	3.93	4.12	4.06	4.03	0.0971
	0.7	0.3	-	4.44	4.37	4.45	4.42	0.0436
	0.5	0.5	-	5.48	5.26	5.31	5.35	0.1153
	0.3	0.7	-	7.02	6.97	6.88	6.96	0.0709
	1.0	0	●	3.16	3.39	3.35	3.30	0.1229
	0.9	0.1	●	4.09	3.66	3.80	3.88	0.1836
	0.7	0.3	●	4.52	4.37	4.46	4.45	0.0755
	0.5	0.5	●	5.23	5.46	5.51	5.43	0.0985
	0.3	0.7	●	7.01	7.13	7.10	7.08	0.0624
30	1.0	0	-	2.35	2.47	2.51	2.44	0.0833
	0.9	0.1	-	3.01	2.78	2.80	2.86	0.1274
	0.7	0.3	-	2.94	3.20	3.21	3.09	0.1332
	0.5	0.5	-	3.71	3.98	3.87	3.83	0.0197
	0.3	0.7	-	5.12	5.04	4.95	5.04	0.0850
	1.0	0	●	2.36	2.41	2.42	2.40	0.0321
	0.9	0.1	●	2.93	2.64	2.88	2.82	0.1550
	0.7	0.3	●	2.88	2.90	3.05	2.94	0.0929
	0.5	0.5	●	4.93	4.84	5.08	4.95	0.1212
	0.3	0.7	●	5.06	4.98	4.83	4.96	0.1168

การทดลองที่ 3.2 การผลของขนาดอนุภาคของกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.20 แสดงผลการกระจายขนาดคละของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2)

เบอร์ตะแกรง (Sieve No.)	น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละ		
		การค้าง	ค้างสะสม	การผ่าน
10	2.6	1.5	1.5	98.5
20	161.0	95.0	96.5	3.5
30	4.2	2.5	99.0	1.0
40	0.2	0.1	99.1	0.9
50	0.3	0.2	99.3	0.7
100	0.4	0.3	99.6	0.4
Pan	0.7	0.4	100	0

น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น 200.94 กรัม น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมด 200.84 กรัม

ความผิดพลาดร้อยละ 0.1768

ตารางที่ ผ.21 แสดงผลการกระจายขนาดคละของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3)

เบอร์ตะแกรง (Sieve No.)	น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละ		
		การค้าง	ค้างสะสม	การผ่าน
4	78.0	31.4	31.4	68.6
8	129.7	52.2	83.6	16.4
10	34.8	14.0	97.6	2.4
20	5.1	2.0	99.6	0.4
30	0.3	0.1	99.7	0.3
Pan	0.9	0.3	100	0

น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น 248.72 กรัม น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงทั้งหมด 248.50 กรัม

ความผิดพลาดร้อยละ 0.08845

ตารางที่ ผ.22 แสดงผลความสามารถในการดูดซึมน้ำของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_2)

ครั้งที่	น้ำหนักกากตะกรัน (กรัม)		น้ำหนักของน้ำ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซึมน้ำ
	สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	หลังอบ		
1.	84.26	117.90	4.74	4.02
2.	115.62	110.95	4.42	3.98
3.	113.77	126.18	5.03	3.99
เฉลี่ย	-	-	-	4.00
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	-	-	0.0208

ตารางที่ ผ.23 แสดงผลความสามารถในการดูดซึมน้ำของกากตะกรันขนาดอนุภาคที่ 3 (S_3)

ครั้งที่	น้ำหนักกากตะกรัน (กรัม)		น้ำหนักของน้ำ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซึมน้ำ
	สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	หลังอบ		
1.	151.56	146.15	5.41	3.70
2.	162.04	156.02	6.02	3.86
3.	143.11	137.76	5.35	3.88
เฉลี่ย	-	-	-	3.81
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	-	-	0.0987

ตารางที่ ผ.24 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดของตะกรันขนาดอนุภาคที่ 2 (S_3) และ 3 (S_3)

ขนาดอนุภาคตะกรัน	ลักษณะสมบัติ	ค่าที่วัดได้				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
S_2	พีเอช	5.82	5.81	5.90	5.84	0.0493
	ตะกั่ว (มก./ล.)	8.95	8.90	9.01	8.95	0.0551
S_3	พีเอช	5.59	5.45	5.62	5.55	0.0907
	ตะกั่ว (มก./ล.)	8.90	8.86	9.00	8.92	0.0721

ตารางที่ ผ.25 แสดงผลน้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ

ปริมาณปูนซีเมนต์* (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคตะกรัน		น้ำหนัก (กรัม)		
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
10	S_1	0.33	368.0	376.5	370.4
	S_2	1.60	-	-	-
	S_3	3.90	-	-	-
20	S_1	0.33	374.6	350.9	336.1
	S_2	1.60	338.5	299.1	320.8
	S_3	3.90	325.0	265.4	315.3
30	S_1	0.33	347.1	309.7	332.6
	S_2	1.60	303.5	321.2	319.5
	S_3	3.90	294.0	306.2	318.3

* ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.26 แสดงผลการวัดขนาดของก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ

ปริมาณปูนซีเมนต์* (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคตะกรัน		ขนาดก้อนตัวอย่าง (กว้าง×ยาว×สูง ; ลบ.ซม.)		
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
10	S_1	0.33	5.030×5.120×5.000	5.110×4.980×5.060	5.070×5.130×5.010
	S_2	1.60	-	-	-
	S_3	3.90	-	-	-
20	S_1	0.33	4.830×5.110×5.255	5.030×5.070×5.210	5.040×5.060×5.160
	S_2	1.60	5.190×5.130×5.100	4.700×5.160×5.140	4.880×5.150×5.140
	S_3	3.90	5.130×5.030×5.275	4.450×5.010×4.960	4.980×5.240×5.100
30	S_1	0.33	5.150×5.100×5.210	5.060×4.950×5.040	5.040×5.060×5.160
	S_2	1.60	4.620×5.180×5.130	5.000×5.140×5.100	5.000×5.100×5.120
	S_3	3.90	4.460×5.220×5.060	4.740×5.130×5.030	4.900×5.220×4.990

* ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.27 แสดงผลการทดสอบค่ารับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคกากตะกรัน		ค่ารับแรงอัด (ตัน)		
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
10	S_1	0.33	2.10	2.05	2.20
	S_2	1.60	-	-	-
	S_3	3.90	-	-	-
20	S_1	0.33	3.60	3.25	3.35
	S_2	1.60	1.00	0.80	1.05
	S_3	3.90	0.65	0.60	0.50
30	S_1	0.33	4.05	3.60	3.65
	S_2	1.60	2.65	2.56	2.85
	S_3	3.90	2.50	2.55	2.80

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.28 แสดงผลค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคกากตะกรัน		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	S_1	0.33	81.54	80.56	84.59	82.23	2.1017
	S_2	1.60	-	-	-	-	-
	S_3	3.90	-	-	-	-	-
20	S_1	0.33	141.16	127.44	132.16	133.59	6.9704
	S_2	1.60	37.56	34.68	41.78	38.01	3.5710
	S_3	3.90	25.19	26.91	19.51	23.87	3.8726
30	S_1	0.33	154.20	143.73	143.12	147.02	6.2284
	S_2	1.60	110.73	97.28	111.77	106.59	8.0823
	S_3	3.90	107.38	104.87	109.47	107.24	2.3032

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.29 แสดงผลความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคกากตะกรัน		ความหนาแน่น(ตัน./ลบ.ม.)				
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	S_1	0.33	2.86	2.92	2.84	2.87	0.0416
	S_2	1.60	-	-	-	-	-
	S_3	3.90	-	-	-	-	-
20	S_1	0.33	2.62	2.64	2.61	2.62	0.0153
	S_2	1.60	2.49	2.52	2.48	2.50	0.0208
	S_3	3.90	2.39	2.40	2.41	2.40	0.0100
30	S_1	0.33	2.54	2.45	2.53	2.51	0.0493
	S_2	1.60	2.47	2.45	2.45	2.46	0.0115
	S_3	3.90	2.50	2.50	2.49	2.50	0.0058

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.30 แสดงผลการวัดพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคกากตะกรัน		พีเอช				
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	S_1	0.33	10.98	10.99	11.05	11.01	0.0379
	S_2	1.60	-	-	-	-	-
	S_3	3.90	-	-	-	-	-
20	S_1	0.33	11.15	11.12	11.22	11.16	0.0513
	S_2	1.60	11.27	11.34	11.34	11.32	0.0404
	S_3	3.90	11.29	11.31	11.25	11.28	0.0306
30	S_1	0.33	11.33	11.29	11.28	11.30	0.0265
	S_2	1.60	11.44	11.45	11.42	11.44	0.0153
	S_3	3.90	11.40	11.35	11.34	11.36	0.0321

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.31 แสดงผลความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้กากตะกรันขนาดอนุภาคต่างๆ

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	ขนาดอนุภาคกากตะกรัน		ความเข้มข้นของตะกั่ว(มก./ล.)				
	สัญลักษณ์	ขนาดเฉลี่ย (มม.)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	S_1	0.33	4.75	4.86	4.87	4.83	0.0666
	S_2	1.60	-	-	-	-	-
	S_3	3.90	-	-	-	-	-
20	S_1	0.33	3.25	3.18	3.18	3.20	0.0404
	S_2	1.60	2.04	2.08	2.03	2.05	0.0265
	S_3	3.90	2.98	3.09	3.10	3.06	0.0666
30	S_1	0.33	2.45	2.41	2.51	2.46	0.0503
	S_2	1.60	2.04	2.08	2.03	2.05	0.0265
	S_3	3.90	1.94	1.82	1.90	1.89	0.0611

ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ผลการทดลองที่ 3.3 การศึกษาปริมาณวัสดุประสานที่เหมาะสม

ตารางที่ ผ.32 แสดงผลน้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	น้ำหนัก (กรัม)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	8	336.5	331.5	327.2
2.	10	374.5	362.7	357.3
3.	12	338.0	341.9	348.6
4.	14	345.1	356.5	359.2
5.	15	357.8	366.2	374.7
6.	16	334.9	351.0	348.4
7.	18	346.1	339.8	362.9
8.	20	344.3	343.2	339.1

ตารางที่ ผ.33 แสดงผลการวัดขนาดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ขนาดก้อนตัวอย่าง (กว้าง×ยาว×สูง ; ลบ.ซม.)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	8	5.100×5.180×5.160	5.090×5.160×5.190	5.080×5.110×5.130
2.	10	4.980×5.140×5.020	5.100×5.100×5.130	5.060×5.200×5.200
3.	12	4.970×5.100×5.130	5.130×5.130×5.010	5.070×5.200×5.150
4.	14	5.150×4.985×5.180	5.110×5.110×5.095	5.140×5.160×5.130
5.	15	5.000×5.140×5.060	4.980×5.220×5.050	5.180×5.175×5.030
6.	16	5.080×5.000×5.120	5.150×4.960×5.120	5.020×5.120×5.155
7.	18	5.140×5.080×5.180	5.030×5.070×5.110	5.230×5.200×5.160
8.	20	5.160×4.980×5.090	5.120×5.070×5.110	5.040×5.120×5.050

ตารางที่ ผ.34 แสดงผลการทดสอบค่ารับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ค่ารับแรงอัด (ตัน)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	8	0.75	0.74	0.71
2.	10	2.20	2.25	2.05
3.	12	2.25	2.52	2.37
4.	14	2.50	2.65	2.60
5.	15	2.50	2.60	2.80
6.	16	2.88	2.95	3.10
7.	18	3.08	3.10	3.37
8.	20	3.24	3.50	3.35

ตารางที่ ผ.35 แสดงผลค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	8	28.55	27.99	27.39	27.98	0.5801
2.	10	85.95	86.51	77.91	83.46	4.8117
3.	12	88.77	95.76	89.90	91.48	3.7523
4.	14	97.38	101.49	98.03	98.97	2.2093
5.	15	97.28	100.02	104.45	100.58	3.6180
6.	16	113.39	115.49	120.61	116.50	3.7138
7.	18	117.96	121.56	123.92	121.15	3.0014
8.	20	126.09	134.83	129.69	130.20	4.3926

ตารางที่ ผ.36 แสดงผลความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	8	2.47	2.43	2.46	2.45	0.0208
2.	10	2.91	2.72	2.61	2.75	0.1518
3.	12	2.59	2.59	2.57	2.58	0.0115
4.	14	2.60	2.68	2.64	2.64	0.0400
5.	15	2.75	2.79	2.78	2.77	0.0208
6.	16	2.58	2.68	2.63	2.63	0.0500
7.	18	2.56	2.61	2.59	2.59	0.0252
8.	20	2.63	2.59	2.60	2.61	0.0208

ตารางที่ ผ.37 แสดงผลการวัดพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	พีเอช				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	8	10.81	10.78	10.80	10.81	0.0153
2.	10	11.03	10.97	11.02	11.01	0.0321
3.	12	11.10	11.06	11.11	11.09	0.0265
4.	14	11.18	11.16	11.15	11.16	0.0153
5.	15	11.18	11.22	11.24	11.21	0.0306
6.	16	11.21	11.25	11.22	11.23	0.0208
7.	18	11.24	11.27	11.26	11.26	0.0153
8.	20	11.28	11.31	11.32	11.30	0.0208

ตารางที่ ผ.38 แสดงผลความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ

ลำดับที่	ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	8	5.64	5.53	5.62	5.60	0.0586
2.	10	4.90	4.80	4.87	4.83	0.0643
3.	12	3.89	3.88	3.92	3.90	0.0208
4.	14	3.66	3.65	3.62	3.64	0.0208
5.	15	3.60	3.57	3.51	3.56	0.0458
6.	16	3.53	3.50	3.52	3.52	0.0153
7.	18	3.44	3.40	3.39	3.41	0.0265
8.	20	3.25	3.17	3.19	3.20	0.0416

ผลการทดลองที่ 3.4 การศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม

ตารางที่ ผ.39 แสดงผลน้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่เมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน	น้ำหนัก (กรัม)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	0.3	312.3	310.0	281.7
2.	0.4	342.5	330.0	315.6
3.	0.5	371.7	353.4	358.9
4.	0.6	355.1	359.7	362.3
5.	0.7	355.6	373.0	364.4
6.	0.8	375.4	352.6	381.7
7.	0.9	354.9	354.5	332.9

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.40 แสดงผลการวัดขนาดของก้อนตัวอย่างเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน	ขนาดก้อนตัวอย่าง (กว้าง×ยาว×สูง ; ลบ.ซม.)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	0.3	5.160×5.130×5.150	5.050×5.110×5.105	5.130×4.630×5.070
2.	0.4	5.200×5.170×5.210	5.145×5.200×5.150	5.020×5.140×5.060
3.	0.5	5.300×5.230×5.180	5.110×5.160×5.200	5.220×5.160×5.130
4.	0.6	5.160×4.940×5.190	5.160×5.110×5.070	5.140×5.130×5.140
5.	0.7	5.115×5.080×5.080	5.200×5.250×5.070	5.050×5.100×5.230
6.	0.8	5.050×5.180×5.310	5.055×5.060×5.130	5.270×5.160×5.175
7.	0.9	5.000×5.150×5.170	5.040×5.070×5.185	4.950×5.050×5.010

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.41 แสดงผลการทดสอบค่ารับแรงของก้อนตัวอย่างเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน	ค่ารับแรงอัด (ตัน)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	0.3	0.25	0.29	0.23
2.	0.4	0.84	0.70	0.65
3.	0.5	2.40	2.52	2.30
4.	0.6	2.37	2.47	2.45
5.	0.7	2.58	2.70	2.60
6.	0.8	2.75	2.97	3.00
7.	0.9	2.45	2.50	2.37

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.42 แสดงผลค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	0.3	9.44	11.24	9.68	10.12	0.9773
2.	0.4	31.25	26.16	25.19	27.53	3.2551
3.	0.5	86.58	95.57	85.39	89.18	5.5658
4.	0.6	92.98	93.57	92.92	93.19	0.4225
5.	0.7	99.29	98.90	100.95	99.71	1.0886
6.	0.8	105.13	116.11	110.32	110.52	5.4927
7.	0.9	95.15	97.84	94.81	95.93	1.6599

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.43 แสดงผลความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	0.3	2.29	2.35	2.34	2.33	0.0321
2.	0.4	2.45	2.40	2.42	2.42	0.0252
3.	0.5	2.59	2.58	2.60	2.59	0.0058
4.	0.6	2.68	2.69	2.67	2.68	0.0100
5.	0.7	2.69	2.69	2.71	2.70	0.0115
6.	0.8	2.70	2.69	2.71	2.70	0.0100
7.	0.9	2.67	2.68	2.66	2.67	0.0058

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.44 แสดงผลการวัดค่าพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ลำดับที่	ปริมาณวัสดุประสาน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	0.3	11.12	11.19	11.17	11.16	0.0361
2.	0.4	11.06	11.15	11.14	11.12	0.0493
3.	0.5	11.05	11.13	11.10	11.09	0.0404
4.	0.6	11.08	11.14	11.09	11.10	0.0321
5.	0.7	11.10	11.01	11.08	11.06	0.0473
6.	0.8	11.09	11.17	11.06	11.11	0.0569
7.	0.9	11.12	11.14	11.19	11.15	0.0361

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.45 แสดงผลความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างเมื่อแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	0.3	3.96	3.90	3.99	3.95	0.0458
2.	0.4	3.94	3.86	3.92	3.91	0.0416
3.	0.5	3.96	3.84	3.89	3.90	0.0603
4.	0.6	3.95	3.88	3.94	3.92	0.0379
5.	0.7	3.86	3.85	3.85	3.85	0.0058
6.	0.8	3.74	3.86	3.81	3.80	0.0603
7.	0.9	3.87	3.94	3.97	3.93	0.0513

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน

ผลการทดลองที่ 3.5 การศึกษาผลของระยะเวลาบ่มที่มีต่อการทำให้เป็นก้อนของกากตะกรัน

ตารางที่ ผ.46 แสดงผลน้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	น้ำหนัก (กรัม)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	1	398.2	376.2	323.8
2.	7	362.6	346.9	359.5
3.	14	368.0	360.4	368.7
4.	28	373.9	354.8	371.2

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8

ตารางที่ ผ.47 แสดงผลการวัดขนาดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ขนาดก้อนตัวอย่าง (กว้างxยาวxสูง ; ลบ.ซม.)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	1	5.270x5.170x5.100	5.170x5.300x5.170	4 580x5.220x5.060
2.	7	5.050x5.110x5.190	5.200x5.120x4.820	5.090x5.110x5.070
3.	14	5.120x5.080x5.115	5.060x5.130x5.160	5.040x5.180x5.190
4.	28	5.155x5.130x5.170	5.040x5.070x5.185	5.100x5.180x5.115

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8

ตารางที่ ผ.48 แสดงผลการทดสอบค่ารับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ค่ารับแรงอัด (ตัน)		
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1.	1	0.62	0.71	0.63
2.	7	2.80	2.75	2.75
3.	14	3.25	3.17	3.30
4.	28	3.50	3.40	3.55

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8

ตารางที่ ผ.49 แสดงผลค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ใช้ค่าระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	1	2.26	2.60	2.62	2.51	0.2203
2.	7	108.50	103.29	105.73	105.84	2.6067
3.	14	124.95	122.12	126.40	124.49	2.1768
4.	28	132.35	134.25	134.39	133.66	1.1364

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8

ตารางที่ ผ.50 แสดงผลความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	1	2.87	2.66	2.68	2.74	0.1159
2.	7	2.71	2.70	2.73	2.71	0.0153
3.	14	2.72	2.72	2.72	2.72	0
4.	28	2.73	2.73	2.74	2.74	0.0058

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8

ตารางที่ ผ.51 แสดงผลการวัดพีเอชของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	พีเอช				
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	11.16	11.12	11.18	11.15	0.0306
7	11.11	11.14	11.12	11.12	0.0153
14	11.10	11.05	11.06	11.07	0.0265
28	11.03	11.06	11.04	11.04	0.0153

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8

ตารางที่ ผ.51 แสดงค่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ลำดับที่	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มก./ล.)				
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1.	1	3.82	3.79	3.84	3.82	0.0252
2.	7	3.75	3.80	3.74	3.76	0.0321
3.	14	3.74	3.82	3.77	3.78	0.0404
4.	28	3.63	3.60	3.71	3.65	0.0569

ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.8

ภาคผนวก ค

รายการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว

1. **ความสามารถในการถูกชะละลาย(Leachability)**

$$L = W_i / W_o \qquad \text{.....(ผ.1)}$$

โดยที่ L แทนความสามารถในการถูกชะละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

W_i แทนความเข้มข้น หรือจำนวนของเสียทั้งหมดที่ถูกชะออกมา (มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ มิลลิกรัม)

W_o แทนความเข้มข้น หรือจำนวนของเสียทั้งหมดที่มีอยู่ในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ มิลลิกรัม)

2. **ประสิทธิภาพในการทำให้โลหะคงตัว**

$$E = (L_o - L_s) / Lo \times 100 \qquad \text{.....(ผ.2)}$$

โดยที่ E แทนประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว (เปอร์เซ็นต์)

L_o แทนความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนักในของเสียก่อนการบำบัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)

L_s แทนความสามารถในการถูกชะละลายของโลหะหนักในของเสียหลังผ่านการบำบัด (มิลลิกรัมต่อกรัม)

3. **ตัวอย่างการคำนวณ : ความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรัน**

เมื่อนำกากตะกรันซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากการถลุงแร่เซรัสไซต์มาผ่านการชะละลาย ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 5.4 ซึ่งพบว่า

ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด เท่ากับ	9.07	มิลลิกรัมต่อลิตร
ในน้ำชะละลาย 500 มิลลิลิตร มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ	4.535	มิลลิกรัม
ในกากตะกรัน 1 กรัม มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ	75	มิลลิกรัม
ในกากตะกรัน 25 กรัม มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ	1.875	กรัม

จากสมการที่ (ผ.1) จะได้ ความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันเท่ากับ

4.535 / 1.875 = 2.419 มิลลิกรัมต่อกรัม

4. **ตัวอย่างการคำนวณ : ความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันหลังจากผ่านการบำบัดโดยการทำเสถียรด้วยปูนขาว**

เมื่อนำกากตะกรันที่ผ่านการทำเสถียรด้วยปูนขาวมาผ่านการชะละลาย ก้อนตัวอย่างที่เกิดจากปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าเท่ากับ 7.79 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในน้ำชะละลาย 500 มิลลิลิตร มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 3.895 มิลลิกรัม

ในก้อนตัวอย่าง 1 กรัม มีปริมาณกากตะกรันเท่ากับ 100 / (100+10+6) = 0.862 กรัม

ในกากตะกรัน 1 กรัม มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 75 มิลลิกรัม

ในก้อนตัวอย่าง 25 กรัม มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ (0.862×25×75) / 1000 = 1.616 กรัม

จากสมการที่ (ผ.1) จะได้ ความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันหลังจากผ่านการทำเสถียรด้วยปูนขาวในปริมาณร้อยละ 10 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันมีค่าเท่ากับ

3.895 / 1.616 = 2.410 มิลลิกรัมต่อกรัม

จากสมการที่ (ผ.2) จะได้ ประสิทธิภาพในการทำให้โลหะตะกั่วคงตัว เท่ากับ

(2.419 – 2.410)× 100 / 2.419 = 0.372 เปอร์เซ็นต์

5. ตัวอย่างการคำนวณ : ความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันหลังจากผ่านการบำบัดโดยการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์

เมื่อนำกากตะกรันที่ผ่านการทำทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ มาผ่านการชะละลายก้อนตัวอย่างที่เกิดจากปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 และใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัดมีค่าเท่ากับ 3.90 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในน้ำชะละลาย 500 มิลลิลิตร มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 1.950 มิลลิกรัม

ในก้อนตัวอย่าง 1 กรัม มีปริมาณกากตะกรันเท่ากับ 100 / (100+12+6) = 0.847 กรัม

ในกากตะกรัน 1 กรัม มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ 75 มิลลิกรัม

ในก้อนตัวอย่าง 25 กรัม มีปริมาณตะกั่วเท่ากับ (0.847×25×75) / 1000 = 1.616 กรัม

จากสมการที่ (ผ.1) จะได้ ความสามารถในการถูกชะละลายของกากตะกรันหลังจากผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ปริมาณร้อยละ 12 เทียบกับน้ำหนักกากตะกรันมีค่าเท่ากับ

1.950 / 1.588 = 2.410 มิลลิกรัมต่อกรัม

จากสมการที่ (ผ.2) จะได้ ประสิทธิภาพในการทำให้โลหะตะกั่วคงตัว เท่ากับ

(2.419 – 1.228)× 100 / 2.419 = 49.235เปอร์เซ็นต์

วิธีการคำนวณความสามารถในการถูกชะละลายและประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว ของบำบัดกากตะกรันโดยการทำให้เสถียรด้วยปูนขาว และการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนผสมอื่นๆก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันนี้ การคำนวณและผลที่ได้แสดงดังตารางที่ ผ.52

ตารางที่ ผ.52 แสดงรายการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว

ชนิดของวัสดุประสานและปริมาณที่ใช้	น้ำสกัด		ก้อนตัวอย่าง 25 กรัม		ความสามารถในการถูกชะละลาย (มิลลิกรัม/กรัม)	ประสิทธิภาพการทำให้ตะกั่วคงตัว (เปอร์เซ็นต์)
	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัม)	ปริมาณกากตะกรัน (กรัม)	ปริมาณตะกั่ว (กรัม)		
กากตะกรัน 100 %	9.07	4.535	25	25 ×75/1000 = 1.875	4.535/1.875 = 2.419	-
ปูนขาว 10%						
- เวลาบ่ม 7 วัน	7.54	7.54 / 2 = 3.77	25×100/(100+4+10+6) = 20.825	20.825×75/1000 = 1.562	3.77/1.562 = 2.414	(2.419-2.419) ×100/2.419 = 0.207
- เวลาบ่ม 14 วัน	7.49	7.49 / 2 = 3.745	25×100/(100+4+10+6) = 20.825	20.825×75/1000 = 1.562	3.745/1.562 = 2.398	(2.419-2.398) ×100/2.419 = 0.868
- เวลาบ่ม 28 วัน	7.43	7.43 / 2 = 3.715	25×100/(100+4+10+6) = 20.825	20.825×75/1000 = 1.562	3.715/1.562 = 2.378	(2.419-2.378) ×100/2.419 = 1.695
ปูนขาว 100 %						
- เวลาบ่ม 7 วัน	7.54	7.54 / 2 = 3.77	25×100/(100+4+10+6) = 20.825	20.825×75/1000 = 1.562	3.77/1.562 = 2.414	(2.419-2.419) ×100/2.419 = 0.207
- เวลาบ่ม 14 วัน	7.54	7.54 / 2 = 3.77	25×100/(100+4+10+6) = 20.825	20.825×75/1000 = 1.562	3.77/1.562 = 2.414	(2.419-2.419) ×100/2.419 = 0.207

ตารางที่ ผ.52 แสดงรายการคำนวณประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว (ต่อ)

ชนิดของวัสดุประสาน และปริมาณที่ใช้	น้ำสกัด		ก้อนตัวอย่าง 25 กรัม		ความสามารถในการถูกชะละลาย (มิลลิกรัม/กรัม)	ประสิทธิภาพการทำให้ตะกั่วคงตัว (เปอร์เซ็นต์)
	ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/ลิตร)	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัม)	ปริมาณกากตะกรัน (กรัม)	ปริมาณตะกั่ว (กรัม)		
- เวลาบ่ม 28 วัน	7.54	7.54 / 2 = 3.77	25×100/(100+4+10+6) = 20.825	20.825×75/1000 = 1.562	3.77/1.562 = 2.414	(2.419-2.419) ×100/2.419 = 0.207
ปูนซีเมนต์ 12%						
- น้ำต่อวัสดุประสาน 0.5	3.9	3.9 / 2 = 1.95	25×100/(100+4+12+6) = 20.50	20.50×75/1000 = 1.538	1.95/1.538 = 1.262	(2.419-1.262) ×100/2.419 = 47.583
- น้ำต่อวัสดุประสาน 0.8	3.76	3.76 / 2 = 1.88	25×100/(100+4+12 +9.6)= 19.905	19.905×75/1000 = 1.493	1.88/1.493 = 1.259	(2.419-1.259) ×100/2.419 = 47.954
ปูนซีเมนต์ 15 %	3.56	3.56 / 2 = 1.78	25×100/(100+4+15 +7.5)= 19.775	19.775×75/1000 = 1.483	1.78/1.483 = 1.200	(2.419-1.200) ×100/2.419 = 50.593
ปูนซีเมนต์ 20 %	3.20	3.20 / 2 = 1.60	25×100/100+4+20 +10)= 18.65	18.65×75/1000 = 1.399	1.60/1.399 = 1.144	(2.419-1.144) ×100/2.419 = 52.708
ปูนซีเมนต์ 15 %	2.46	2.46 / 2 = 1.23	25×100/(100+4+30 +15) = 16.775	16.775×75/1000 = 1.258	1.25/1.258 = 0.978	(2.419-0.978) ×100/2.419 = 59.570

ภาคผนวก ง

เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 พ.ศ.2540

เครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator)

การทดสอบการชะละลายของเสียอันตรายมีทั้งแบบแบชต์ และแบบคอลัมน์ โดยประเทศต่างๆ ก็มีวิธีที่แตกต่างกันออกไปตามตารางที่ 3.9 โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้การสกัดแบบแบชต์ เนื่องจากได้ผลที่รวดเร็วกว่าแบบคอลัมน์ในกรณีที่มีจำนวนตัวอย่างมาก สำหรับประเทศไทย ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 พ.ศ.2531 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักจะใช้ เครื่องเขย่าชนิด 200 รอบต่อนาที ที่ช่วงกว้างของการเขย่า 5 เซนติเมตร การชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 ซึ่งเป็นกฎหมายฉบับปัจจุบันจะใช้เครื่องเขย่าแบบหมุน(Rotary agitator) ชนิด 30±1 รอบต่อนาที เพื่อให้สามารถรองรับกับกฎหมายปัจจุบันในงานวิจัยนี้จึงได้มีการสร้างเครื่องเขย่าแบบหมุนขึ้นมาด้วย โดยขั้นตอนในการสร้างเครื่องคือ เลือกขวดพลาสติกที่มีขนาดใกล้เคียงที่สุดกับที่กำหนดไว้ เลือกมอเตอร์ขนาด ¼ แรงม้า มีจำนวนรอบ 1450 รอบต่อนาที ของมิตซูบิชิ ราคา 800 บาท เพื่อให้รอบเป็นไปตามที่ต้องการจึงเลือกเกียร์ทด รอบ 1:50 ราคา 2,250 บาท จากมอเตอร์และเกียร์ดังกล่าวจะได้เครื่องหมุน 29 รอบต่อนาที จากนั้นจึงออกแบบโครงสร้าง และสั่งทำในราคา 12,000 บาท เครื่องเขย่าแบบหมุน(Rotary agitator) ชนิด 30±1 รอบต่อนาทีมีลักษณะดังรูปที่ ผ.12 ราคารวม 15,050 บาท ในการใช้งานแต่ละครั้งจะสามารถทดสอบได้ 30 ตัวอย่าง

รูปที่ ผ.12 แสดงภาพเครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) 30±1 รอบต่อนาที

ภาคผนวก จ

วิธีการทดลอง

1. การหาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดโดยวิธีการย่อยด้วยกรด

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในของเสียซึ่งเป็นของแข็ง โดยวิธีการย่อยด้วยกรดเข้มข้น(Total digestion) ตามวิธีมาตรฐานของ US EPA Method 3050 ทำได้โดย นำสารตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกผสมน้ำกลั่น(อัตราส่วน 1:1) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำบีกเกอร์มาตั้งบนเตา อุณหภูมิประมาณ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำลงจากเตารอจนตัวอย่างเย็นลงแล้วจึงเติม กรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร และนำมาตั้งบนเตาอีกประมาณ 30 นาที รอจนตัวอย่างเย็นแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และเติม 30 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 มิลลิลิตร แล้วนำบีกเกอร์ตั้งบนเตา รอจนกระทั่งฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์หายไป แล้วค่อยๆเติม 30 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทีละ 1 มิลลิลิตร จนกระทั่งหมดฟองอากาศ แล้วตั้งบนเตาต่อไปจนกระทั่งปริมาตรกรดลดลงเหลือ 2 มิลลิลิตร แล้วจึงนำบีกเกอร์ลงจากเตา เติมน้ำกลั่นปริมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นรอจนตัวอย่างเย็น แล้วจึงนำน้ำที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 แล้วนำน้ำที่ได้เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer (AA)

2. การชะละลาย

การชะละลาย โดยวิธีการสกัดตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ.2540 สำหรับสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีของแข็งปะปนในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.5 มีขั้นตอนดังนี้

1) บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

2) นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1)หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด(Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์(Synthetic acid rain extract fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถัน และกรดไนตริก(ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดด่างพีเอช(pH) ของส่วนผสม(Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า(มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก(กรัม)ของตัวอย่าง

3) เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน(Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

4) กรองสารละลายจากการสกัด(Leachate) ด้วยกระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน

5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์หาค่าสารอันตรายต่างๆ ตามวิธีมาตรฐานของ US EPA SW 846 หรือตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 พ.ศ.2539

3. การกระจายขนาดคละ

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 136-80 โดยการร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรง(sieve) ขนาดเบอร์ต่างๆ แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละขนาดแล้วนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ เพื่อหาขนาดอนุภาคเฉลี่ย(D_{50}) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายขนาดคละ(Coefficient of Uniformity;C_u)

4. ความหนาแน่นรวม

นำก้อนตัวอย่างของกากตะกรันมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาหาปริมาตรโดยการแทนที่กากตะกรันในปรอท หลังจากนั้นนำค่าน้ำหนักและปริมาตรที่หาได้ มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม

5. การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ

วิธีการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของกากตะกรันตามมาตรฐาน ASTM C 127-80 สำหรับวัสดุหยาบ และ ASTM C 127-81 สำหรับวัสดุละเอียด ทำได้โดยนำกากตะกรันมาแช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกรันที่ได้มาทำให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

-สำหรับกากตะกรันที่มีขนาดหยาบ ทำได้โดย เช็ดหรือซับผิวด้วยผ้าที่ดูดน้ำได้ดี หรือทำอย่างคร่าวๆ โดยผึ่งลมจนกระทั่งเปลี่ยนสีจากสีเข้มเป็นสีอ่อน แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก

-สำหรับกากตะกรันขนาดอนุภาคเล็ก ทำได้โดยทดสอบด้วยกรวยหัวตัดมาตรฐาน ที่เปิดทั้งส่วนบนและส่วนล่าง กรอกตัวอย่างจนเต็มกรวย กระทุ้งเบาๆ 25 ครั้งด้วยเหล็กกระทุ้ง แล้วยกกรวยขึ้นตรงๆ ถ้าตัวอย่างยังคงรูปตามแบบอยู่ ก็แสดงว่ายังไม่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ทำซ้ำเช่นเดิมอีก จนกระทั่งถึงจุดที่ตัวอย่างเริ่มทลาย โดยผิวรอบนอกไหลมากองที่ฐาน ซึ่งหมายความว่ากากตะกรันผงนี้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งแล้ว จึงนำไปชั่งน้ำหนัก

จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้มาทำให้แห้งสนิท โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำจาก

$$\%AC = (SSD - D) / D \times 100 \quad \text{.....(ผ.3)}$$

โดยที่ %AC แทนค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)

SSD แทนน้ำหนักของตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)

D แทนน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากผ่านการอบแห้ง (กรัม)

รูปที่ ผ.14 แสดงภาพกรวยหัวตัดสำหรับใช้ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ

6. การหล่อและการบ่มก้อนซีเมนต์

การหล่อก้อนซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 ทำได้โดย ผสมกากตะกรันเข้ากับวัสดุประสานในสัดส่วนที่ต้องการแล้วจึงเติมน้ำในปริมาณที่กำหนด กวนจนของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ในกรณีที่มีการผสมสารเติมแต่งให้เติมลงไปในขั้นตอนนี้ จากนั้นจึงเทของผสมที่ได้ลงในแบบหล่อมาตรฐานขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร การหล่อแบ่งออกเป็น 2 ชั้นโดยชั้นแรกหนาประมาณ 1 นิ้ว ใช้ไม้กระทุ้ง(tamper) กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง การเติมส่วนผสมชั้นที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อย กระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก แล้วใช้เกรียงปาดส่วนผสมที่เกินออก นำไปตั้งทิ้งไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นจึงแกะแบบ แล้วนำไปบ่มตามระยะเวลาที่กำหนด

7. การทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างทำได้โดย นำก้อนตัว ง ข้อ และบ่มตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งมีขนาดประมาณ 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาวัดเพื่อหาขนาดโดยละเอียดอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าความหนาแน่นจาก

$$\text{ความหนาแน่น} = \text{น้ำหนัก} / \text{ปริมาตร} \qquad \ldots\ldots (\text{ผ.4})$$

โดยที่ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น ตันต่อลูกบาศก์เมตร (ton/m^3)

น้ำหนัก มีหน่วยเป็น ตัน (ton)

ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m^3)

8. การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 ทำได้โดย นำก้อนตัวอย่างหล่อแข็งที่มีขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เลือกเอาหน้าตรงกันข้ามกันที่เรียบทั้งสองด้าน (หน้าที่ไม่ใช้ด้านหล่อ) ไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด(Universal Testing Machine) บันทึกค่ารับแรงอัดสูงสุด คำนวณค่ากำลังรับแรงอัดจาก

กำลังรับแรงอัด = แรงอัดสูงสุด / พื้นที่ที่รับแรงอัด . . . . . (ผ.5)

โดยที่ กำลังรับแรงอัด มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2 หรือ ksc.)

แรงอัดสูงสุด มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

พื้นที่ที่รับแรงอัด มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร (cm^2)

ประวัติผู้เขียน

นางสาว ประพิศลา เทพสิทธา เกิดเมื่อวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2518 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี พ.ศ. 2539