รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2536. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: บริษัทวัสดุก่อสร้าง.

ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง. 2541. การทำลายฤทธิ์โลหะหนักในผงถ่านที่ใช้แล้ว โดยการทำให้เป็นก้อนแข็ง, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นฤมิต คินิมาน. 2538. การทำตะกอนโลหะหนักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประพิศลา เทพสิทธา. 2540. การทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนตะกรันจากการถลุงแร่เซรัสไซต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภูพิงค์ ทวีทรัพย์. 2542. การทำเสถียรโลหะหนักในเศษสีด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2531. ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 1. กำหนดวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัดฝัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.

วินิต ช่อวิเชียร. 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพมหานคร: ป.สัมพันธ์พาณิชย์.

สุรพัชร์ พันพาณิชย์กุล. 2542. การทำเสถียรกากตะกรันจากโรงหลอมแบตเตอรี่เก่า, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2540. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 6. การกำจัดปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.

ภาษาอังกฤษ

American Society for Testing and Material. 1996. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or 50-mm cube specimens). C109/C109M-95. Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.02 section 4: 69-73.

American Society for Testing and Material. 1996. Standard test method for density of hydraulic cement. C188. Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.01 section 4: 158-159.

American Society for Testing and Material. 1996. Standard test method for density, relative density(specific gravity), and absorption of fine aggregate. C128-93. Annual Book of ASTM Standards Vol. 04.02 section 4: 47-68.

American Society for Testing and Material. 1996. Standard practice for nitric acid digestion of solid waste. D5198. Annual Book of ASTM Standards Vol. 11.04 section 11: 133-135.

Bishop, P.L. 1988. Leaching of Inorganic Hazardous Constitutes from Stabilized/Solidified Hazardous Waste. Journal of Hazardous Waste & Hazardous Materials Vol. 5: 129-143.

Lagrega, M. D., Buckingham, P. L., and Evans, J. C. 1994. Stabilization and Solidification. In P.H. King (ed.), Hazardous Waste Management, pp. 641-704. Singapore: McGraw-Hill book.

Leangon, K. 1993. Solidification of Hazardous waste By Cement-Based Techniques. Thesis No.EV –93 –10 Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand

Minocha,A.K.,Jain,J.,Verma,C.L. 2002. Effect of organic materials on the solidification of heavy metals sludge. Construction and building Materials.Vol.17:77-81.

Minocha,A.K.,Jain,J.,Verma,C.L. 2003. Effect of inorganic materials on the solidification of heavy metals sludge. Cement and Concrete Research.Vol.2384:xxx-xxx.

Pojasek, R.B. 1980. Solid-Waste Disposal : Solidification Industrial Waste Water and solid Waste Engineering, pp. 307-311. Mc Graw-Hill Publications Co. New York.

Rijal, S.P. 1990. Solidification of Laboratory Wastes by Using Cementitious Binders. Thesis NO. EV 90-20, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand.

Shively, W., Bishop, P., and Gress,D. 1986. Leaching Tests of Heavy Metals Stabilized with Portland Cement. Journal WPCF Vol. 58: 234-241.

Shin, H., Her, N., and Koo, J. 1988. Design Optimization for Solidification of Hazardous Wastes. Hazardous Waste & Hazardous Materials Vol. 5: 239-249.

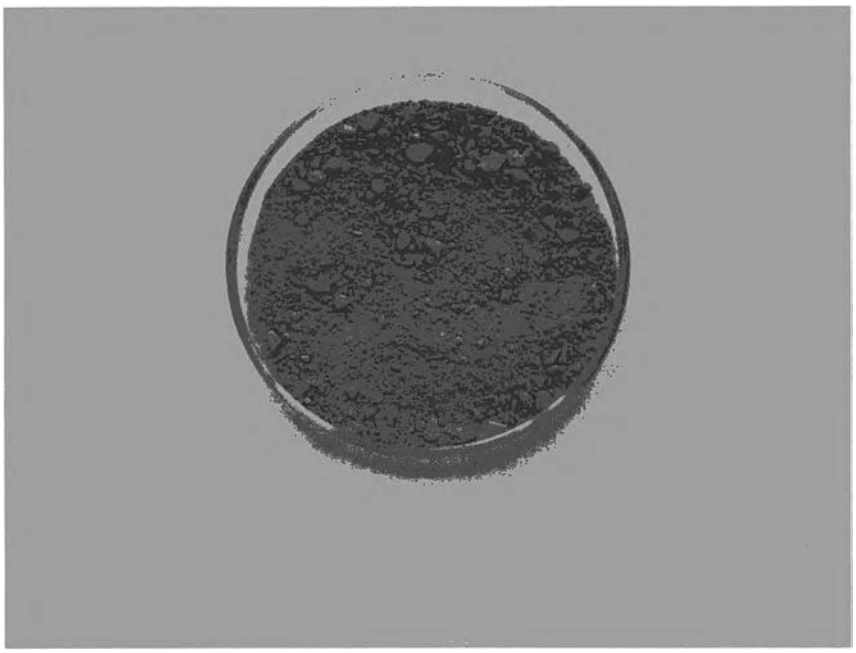
Shin, H. S., and Sujiwatthana, P. 1988. Factors Affecting Solidification of Hazardous Materials. Hazardous Waste: detection, control, treatment. (n.p.): 1549-1560

Sujiwattana, P. 1987. Factors Affecting Solidification of Hazardous Waste Materials. Thesis No. EV 87-5, Asian Institute of Technology, Bangkok Thailand.

U.S. Environmental Protection Agency. 1989. Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Wastes. EPA /625/6-89/022.

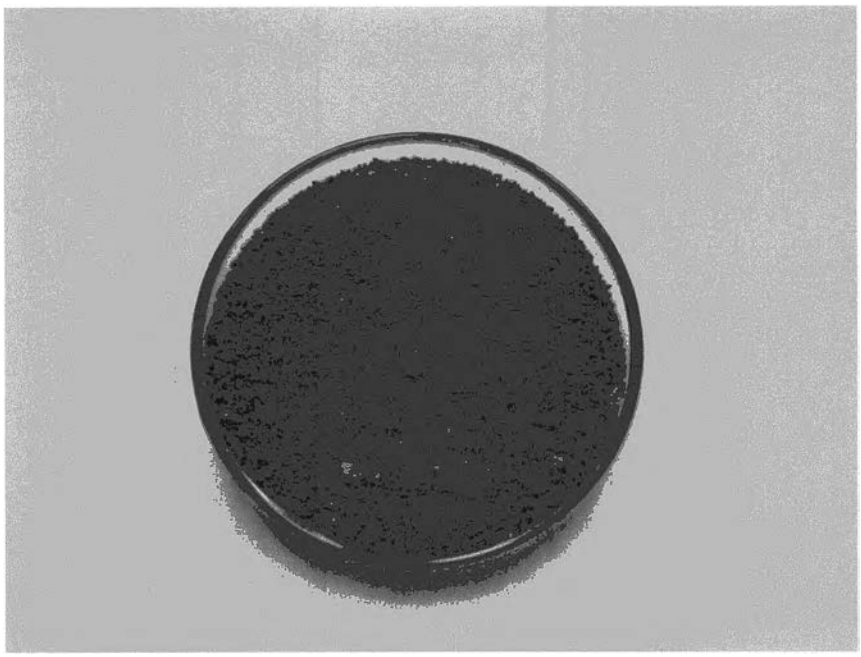
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพถ่ายตัวอย่างตะกอนและก้อนแข็ง



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ผ่านการอบแห้ง

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ที่ผ่านการอบแห้ง



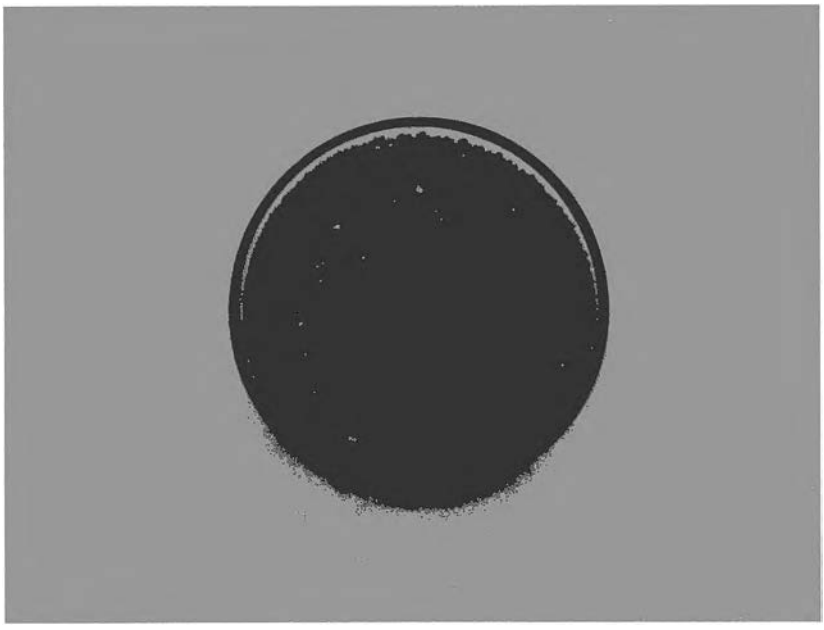
รูปที่ ก.3 ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ผ่านการอบแห้ง

รูปที่ ก.4 ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็กที่ผ่านการอบแห้ง

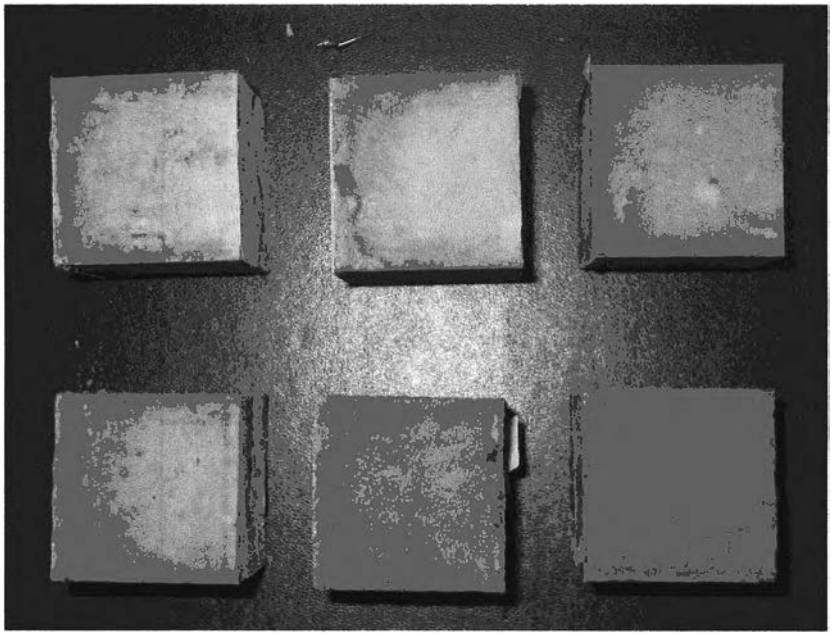
รูปที่ ก.5 ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่ผ่านการอบแห้ง

รูปที่ ก.6 ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการอบแห้ง

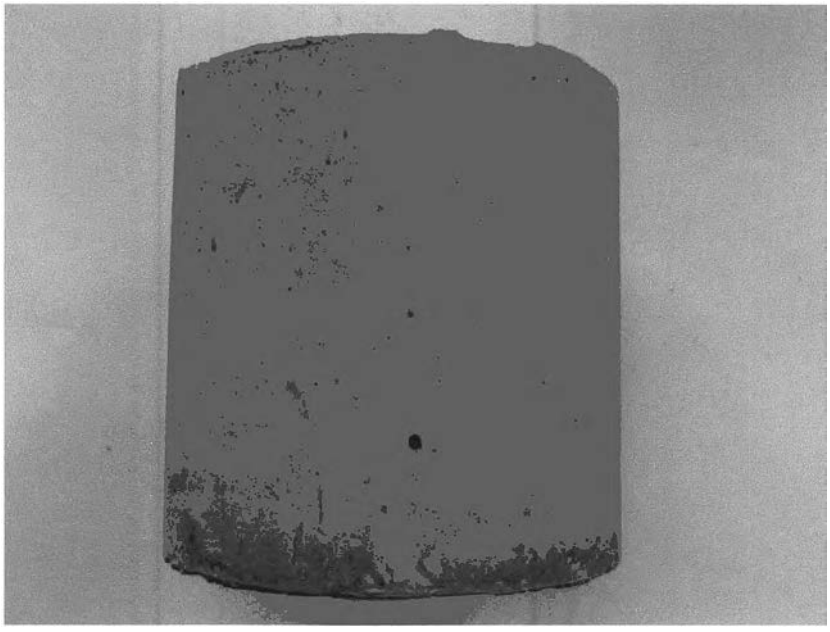
รูปที่ ก.7 ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมย้อมผ้าที่ผ่านการอบแห้ง



รูปที่ ก.8 ตัวอย่างตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียกลางจากนิคมอุตสาหกรรมที่ผ่านการอบแห้ง



รูปที่ ก.9 ตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันจากแบบหล่อทรงลูกบาศก์



รูปที่ ก.10 ตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันจากแบบหล่อทรงกระบอก

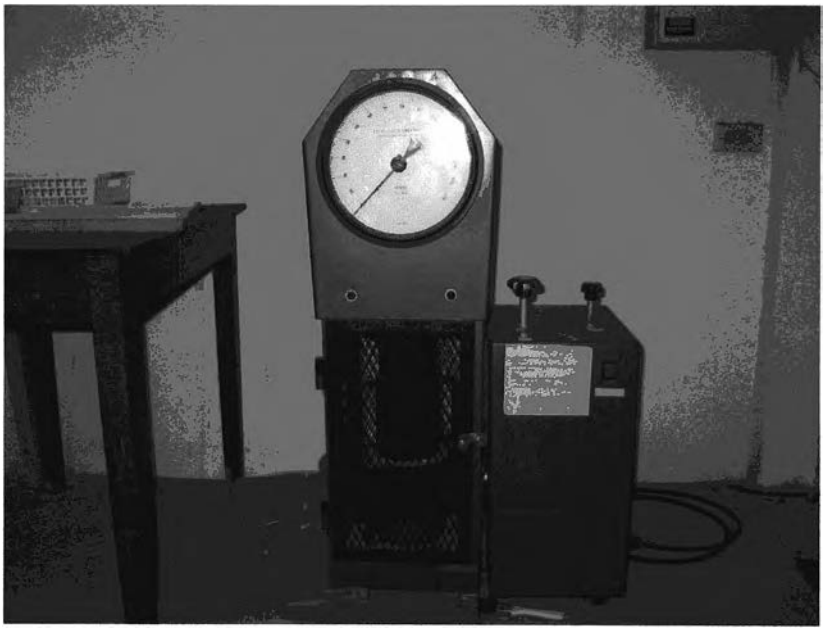
ภาคผนวก ข
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ข.1 เครื่องวัดค่าพีเอช (pH Meter)

รูปที่ ข.2 เครื่องดูดควันและเตาความร้อน (Hood and Hotplate) ที่ใช้ในการย่อยตัวอย่าง

รูปที่ ข.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ ข.4 เครื่องกรองที่ใช้ในการกรองสารละลายที่ผ่านการสกัดสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)



รูปที่ ข.5 เครื่องวัดกำลังรับแรงอัด

รูปที่ ข.6 เครื่องกวนเขย่าแบบหมุนที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตะกอนของอุตสาหกรรมทั้ง 8 ตัวอย่าง

ตัวอย่างตะกอน	การดูดซึม (ร้อยละ)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
ฟอกหนัง	50.33	51.15	52.20	51.23	0.94	2.49	2.52	2.52	2.51	0.02
รถยนต์	66.19	66.27	66.30	66.25	0.06	2.50	2.49	2.48	2.49	0.01
แบตเตอรี่	65.96	64.09	63.98	64.01	1.11	2.25	2.23	2.15	2.21	0.07
รีดเหล็ก	7.45	7.87	7.58	7.63	0.22	1.26	1.33	1.27	1.29	0.04
จอภาพ	68.64	69.42	73.94	70.67	2.86	2.98	2.89	2.91	2.93	0.05
สารกึ่งตัวนำ	46.23	48.69	49.18	48.033	1.58	1.30	1.35	1.34	1.33	0.03
ฟอกย้อม	31.67	36.19	32.37	33.41	2.43	1.87	1.95	1.90	1.91	0.04
บำบัดกลาง	40.48	45.03	41.86	42.46	2.33	2.09	2.03	2.05	2.06	0.03

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์น้ำสกัดจากตะกอนของอุตสาหกรรมทั้ง 8 ตัวอย่าง โดยวิธีการสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตัวอย่างตะกอน	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
ฟอกหนัง	15.17	15.48	8.34*	15.33	0.22	nd	nd	nd	nd	nd
รถยนต์	0.34	0.48	0.38	0.4	0.01	5.80	5.52	5.69	5.67	0.14
แบตเตอรี่	nd	nd	nd	nd	nd	9.26	8.62	9.02	8.97	0.32
รีดเหล็ก	6.97	7.34	7.03	7.11	0.20	nd	0.42	0.38	0.4	0.04
จอภาพ	nd	nd	nd	nd	nd	5.22	5.39	5.33	5.31	0.09
สารกึ่งตัวนำ	nd	nd	nd	nd	nd	6.61	6.47	6.48	6.52	0.08
ฟอกย้อม	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	4.33	4.61	4.75	4.56	0.21
บำบัดกลาง	1.46	1.56	1.67	1.56	0.11	1.72	1.62	1.66	1.67	0.05

* ค่าที่ได้ของก้อนตัวอย่างมีค่าเกินช่วงเบี่ยงเบน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย (3 ตัวอย่าง) จึงไม่นำมาคิด

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนของอุตสาหกรรมทั้ง 8 ตัวอย่าง โดยวิธีการย่อยตะกอนด้วยกรดไนตริกเข้มข้น

ตัวอย่างตะกอน	ปริมาณโครเมียมที่เจือจาง 1:100 (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วที่เจือจาง 1:100 (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
ฟอกหนัง	18.05	17.73	17.99	17.92	0.17	nd	nd	nd	nd	nd
รถยนต์	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.64	0.69	0.71	0.68	0.04
แบตเตอรี่	nd	nd	nd	nd	nd	29.76	32.78	32.97	31.84	1.8
รีดเหล็ก	1.18	1.02	1.09	1.10	0.08	0.12	0.08	nd	0.1	0.03
จอภาพ	nd	nd	nd	nd	nd	5.22	5.39	5.33	5.31	0.09
สารกึ่งตัวนำ	nd	nd	nd	nd	nd	1.20	1.3	1.19	1.23	0.06
ฟอกย้อม	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	nd	0.10	0.09	0.02
บำบัดกลาง	0.08	0.07	0.07	0.07	0.01	0.07	0.06	0.07	0.07	0.01

ตารางที่ ค. 4 ค่ากำลังแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์จากการทดลองหาค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/25 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
40	14.0	15.0	13.0	55.3	59.3	51.4	55.3	3.95
50	21.0	23.0	23.5	83.0	90.9	92.8	88.9	5.23
60	14.5	17.5	16.0	57.3	69.1	63.2	63.2	5.92
70	11.5	9.5	12.0	45.4	37.5	47.4	43.5	5.23
80	9.5	8.0	8.5	37.5	31.6	33.6	35.6	3.02
90	7.5	8.5	8.0	29.6	33.6	31.6	31.6	1.97
100	6.5	6.5	8.0	25.7	25.7	31.6	27.7	3.42

ตารางที่ ค.5 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์จากการทดลองหาค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/25 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
50	4.0	4.5	4	15.80	17.8	15.8	16.5	1.14
60	6.0	7.5	7.5	23.7	29.6	29.60	27.7	3.42
70	3.0*	5.5	6	11.9*	21.7	23.7	22.7	1.40
80	4.0	6.5*	4	15.8	25.7	15.8	15.8	0.00
90	3.5	4.0	0*	13.8	15.8	0*	14.8	1.40
100	3.0	3.0	0	11.9	11.9	0*	11.9	0.00

* ค่าที่ได้ของก้อนตัวอย่างมีค่าเกินช่วงเบี่ยงเบน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย (3 ตัวอย่าง) จึงไม่นำมาคิด

ตารางที่ ค.6 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์จากการทดลองหาค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/25 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0
60	7	7	7.5	27.7	27.7	29.6	28.3	1.14
70	9.5	8	12.5*	37.5	31.6	49.4*	34.6	4.19
80	4.5	5.5	5	17.8	21.7	19.8	19.8	1.98
90	3.5	1.0*	4.5	13.8	4.0*	17.8	15.8	2.79
100	3.5	3	2.5	13.8	11.9	9.9	11.9	1.98

ตารางที่ ค.7 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็กที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์จากการทดลองหาปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/25 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0	7.0	6.5	7.5	27.7	25.7	29.6	27.7	1.98
10	7.0	8.0	8.0	27.7	31.6	31.6	30.3	2.28
20	6.5	6.5	7.0	25.7	25.7	27.7	26.3	1.14
30	6.0	6.0	3.0*	23.7	23.7	11.9*	23.7	0
40	5.0	6.0	2.5*	19.8	23.7	9.9*	21.7	2.79
50	4.0	5.0	6.0	15.8	19.8	23.7	19.8	3.95
60	0.0*	4.0	4.0	0.0*	15.8	15.8	15.8	0
70	2.5	3.0	3.0	9.9	11.9	11.9	11.2	1.14
80	2.5	2.0	0.0*	9.9	7.9	0.0*	8.9	1.4
90	0.0*	1.5	2.0	0.0*	5.9	7.9	5.9	1.4
100	0	0	0.0	0	0	0	0	0

* ค่าที่ได้ของก้อนตัวอย่างมีค่าเกินช่วงเบี่ยงเบน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย (3 ตัวอย่าง) จึงไม่นำมาคิด

ตารางที่ ค.8 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์จากการทดลองหาค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/25 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
50	2.0	2.0	0*	7.9	7.9	0*	7.9	0.00
60	2.5	2.5	2.5	9.9	9.9	9.9	9.9	0.00
70	4.0	5.0	4.5	15.8	19.8	17.8	17.8	1.97
80	2.0*	4.0	4.0	7.9*	15.8	15.8	15.8	0.00
90	2.0	3.0*	2.0	7.9	11.9*	7.9	7.9	0.00
100	2.0*	1.5	1.5	7.9*	5.9	5.9	5.9	0.00

ตารางที่ ค.9 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์จากการทดลองหาปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักตะกอนแห้ง	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/25 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
40	10.0	11.5	12.5	39.5	45.4	49.4	47.4	4.97
50	13.0	14.5	16.0	51.4	57.3	63.2	57.3	5.93
60	16.0*	13.5	12.5	63.2*	53.3	49.4	51.4	2.79
70	10.5	12.0	10.5	41.5	47.4	41.5	43.5	3.42
80	9.0	8.0	10.0	35.6	31.6	39.5	35.6	3.95
90	6.5	3.0*	5.5	25.7	11.9*	21.7	23.7	2.79
100	2.0*	4.0	4.0	7.9*	15.8	15.8	15.8	0.00

* ค่าที่ได้ของก้อนตัวอย่างมีค่าเกินช่วงเบี่ยงเบน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย (3 ตัวอย่าง) จึงไม่นำมาคิด

ตารางที่ ค.10 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/81 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	97	108	105	122.5	136.3	132.3	130.4	7.12
0.75:1	85	93	86	106.7	116.5	108.6	110.6	5.23
1:1	69	72	66	86.9	90.9	83.0	86.9	3.95
1.25:1	61	66	71	77.0	83.0	88.9	83.0	5.93
1.5:1	66	66	57	83.0	83.0	71.1	79.0	6.84
1.75:1	52	57	52	65.2	71.1	65.2	67.2	3.42

ตารางที่ ค.11 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/81 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	22	25	28	27.7	31.6	35.6	31.6	3.95
0.75:1	13	14	11	15.8	17.8	13.8	15.8	1.97
1:1	9	9	3*	11.9	11.9	4.0*	11.9	0.00
1.25:1	6	6	9*	7.9	7.9	11.9*	7.9	0.00
1.5:1	6	3*	6	7.9	4.0*	7.9	7.9	0.00
1.75:1	5	6	8	5.9	7.9	9.9	7.9	1.98

ตารางที่ ค.12 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/81 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	126	148	141	158.6	186.2	177.4	173.8	14.14
0.75:1	116	94	110	146.0	118.3	138.4	134.3	14.31
1:1	46	53	52	57.9	66.7	65.4	63.2	4.76
1.25:1	31	38	35	39.0	47.8	44.0	43.5	4.42
1.5:1	31	28	35	39.0	35.2	44.0	39.5	4.42
1.75:1	31	31	19*	39.5	39.5	30.1*	39.5	0.00

* ค่าที่ได้ของก้อนตัวอย่างมีค่าเกินช่วงเบี่ยงเบน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย (3 ตัวอย่าง) จึงไม่นำมาคิด

ตารางที่ ค.13 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็กจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/81 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	53	53	46	67.2	66.5	57.3	63.2	5.7
0.75:1	33	38	33	41.5	47.4	41.5	43.5	3.42
1:1	25	28	22	31.6	35.6	27.7	31.6	3.95
1.25:1	20	17	26*	25.7	21.7	31.6*	23.7	2.79
1.5:1	19	9*	19	23.7	11.9*	23.7	23.7	0.00
1.75:1	6*	16	16	7.9*	19.8	19.8	19.8	0.00

ตารางที่ ค.14 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/81 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	72	72	82	90.9	90.9	102.7	94.8	6.84
0.75:1	33	31	39	41.5	41.5	49.4	43.5	5.23
1:1	19	24	20	23.7	23.7	25.7	27.7	3.02
1.25:1	16	17	16	19.8	19.8	19.8	19.8	1.14
1.5:1	9	9	6*	11.9	11.9	7.9*	11.9	0.00
1.75:1	6	3*	6	7.9	7.9	7.9	7.9	0.00

ตารางที่ ค.15 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ค่าทดสอบกำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตัน/81 ตร.ซม.)			กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ค่าเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	100	116	113	126.4	146.2	142.2	138.3	10.45
0.75:1	72	82	82	90.9	102.7	102.7	98.8	6.84
1:1	69	66	63	86.9	83.0	79.0	83	3.95
1.25:1	35	47	41	43.5	59.3	51.4	51.4	7.90
1.5:1	41*	27	30	51.4*	33.6	37.5	35.6	2.79
1.75:1	27	24	13*	33.6	29.6	15.8*	31.6	2.79

* ค่าที่ได้ของก้อนตัวอย่างมีค่าเกินช่วงเบี่ยงเบน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย (3 ตัวอย่าง) จึงไม่นำมาคิด

ตารางที่ ค.16 ค่ากำลังความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนังจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	น้ำหนัก (กก.) (ปริมาตร 944 ลบ.ซม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย (ตัน/ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	1.529	1.605	1.575	1.62	1.70	1.67	1.66	0.04
0.75:1	1.528	1.558	1.605	1.62	1.65	1.70	1.66	0.04
1:1	1.51	1.539	1.586	1.60	1.63	1.68	1.64	0.04
1.25:1	1.499	1.529	1.558	1.59	1.62	1.65	1.62	0.03
1.5:1	1.492	1.520	1.539	1.58	1.61	1.63	1.61	0.03
1.75:1	1.490	1.529	1.510	1.58	1.62	1.60	1.60	0.02

ตารางที่ ค.17 ค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	น้ำหนัก (กก.) (ปริมาตร 944 ลบ.ม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย (ตัน/ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	1.444	1.491	1.452	1.53	1.58	1.54	1.55	0.03
0.75:1	1.405	1.425	1.35	1.49	1.51	1.43	1.48	0.04
1:1	1.369	1.378	1.35	1.45	1.46	1.4	1.45	0.02
1.25:1	1.358	1.369	1.378	1.44	1.45	1.46	1.5	0.01
1.5:1	1.293	1.303	1.331	1.37	1.38	1.41	1.4	0.02
1.75:1	1.235	1.246	1.274	1.31	1.32	1.35	1.3	0.02

ตารางที่ ค.18 ค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	น้ำหนัก (กก.) (ปริมาตร 944 ลบ.ม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย (ตัน/ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	1.539	1.491	1.481	1.63	1.58	1.57	1.59	0.03
0.75:1	1.462	1.454	1.477	1.55	1.54	1.57	1.55	0.01
1:1	1.372	1.386	1.412	1.45	1.5	1.50	1.47	0.02
1.25:1	1.340	1.326	1.309	1.42	1.41	1.39	1.40	0.02
1.5:1	1.247	1.257	1.271	1.32	1.33	1.35	1.33	0.01
1.75:1	1.237	1.222	1.234	1.31	1.30	1.31	1.30	0.01

ตารางที่ ค.19 ค่ากำลังความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็กจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	น้ำหนัก (กก.) (ปริมาตร 944 ลบ.ม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย (ตัน/ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	1.362	1.352	1.368	1.44	1.43	1.45	1.44	0.01
0.75:1	1.309	13.14	1.333	1.39	1.39	1.41	1.40	0.01
1:1	1.251	1.273	1.286	1.33	1.35	1.36	1.35	0.02
1.25:1	1.187	1.194	1.214	1.26	1.26	1.29	1.27	0.01
1.5:1	1.157	1.174	1.194	1.23	1.24	1.26	1.24	0.02
1.75:1	1.150	1.162	1.144	1.18	1.23	1.21	1.21	0.02

ตารางที่ ค.20 ค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	น้ำหนัก (กก.) (ปริมาตร 944 ลบ.ม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย (ตัน/ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	1.513	1.503	1.493	1.6	1.59	1.58	1.59	0.01
0.75:1	1.473	0.1498	1.503	1.56	1.59	1.59	1.58	0.02
1:1	1.427	1.435	1.399	1.51	1.52	1.48	1.50	0.02
1.25:1	1.339	1.305	1.312	1.42	1.38	1.39	1.40	0.02
1.5:1	1.268	1.297	1.322	1.34	1.37	1.40	1.37	0.03
1.75:1	1.164	1.144	1.144	1.23	1.21	1.21	1.22	0.01

ตารางที่ ค.21 ค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำจากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	น้ำหนัก (กก.) (ปริมาตร 944 ลบ.ม.)			ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)			ค่าเฉลี่ย (ตัน/ลบ.ม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	1.306	1.293	1.296	1.38	1.37	1.37	1.38	0.01
0.75:1	1.267	1.278	1.261	1.34	1.35	1.34	1.34	0.01
1:1	1.207	1.205	1.231	1.28	1.28	1.30	1.29	0.02
1.25:1	1.198	1.204	1.152	1.27	1.28	1.22	1.26	0.03
1.5:1	1.135	1.144	1.128	1.20	1.22	1.19	1.21	0.01
1.75:1	1.075	1.098	1.11	1.14	1.16	1.18	1.16	0.02

ตารางที่ ค.22 ค่าพีเอชของน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	พีเอช			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	12.20	12.20	12.40	12.27	0.12
0.75:1	12.42	12.10	12.20	12.24	0.16
1:1	12.41	12.10	12.15	12.22	0.17
1.25:1	12.36	12.10	12.13	12.20	0.14
1.5:1	12.31	12.05	12.09	12.15	0.14
1.75:1	12.00	12.20	12.12	12.14	0.25

ตารางที่ ค.23 ค่าพีเอชของน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	พีเอช			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	12.50	12.40	12.50	12.47	0.06
0.75:1	12.30	12.20	12.30	12.27	0.06
1:1	12.20	12.10	12.22	12.17	0.06
1.25:1	12.10	11.90	12.08	12.03	0.11
1.5:1	12.00	11.60	11.9	11.83	0.21
1.75:1	11.80	11.60	11.8	11.73	0.12

ตารางที่ ค.24 ค่าพีเอชของน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	พีอช			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	11.80	12.30	11.54	11.88	0.39
0.75:1	11.80	12.20	11.40	11.80	0.4
1:1	11.70	11.90	11.75	11.78	0.10
1.25:1	11.50	11.90	11.50	11.63	0.23
1.5:1	11.40	11.80	11.35	11.52	0.25
1.75:1	11.40	11.70	11.22	11.44	0.24

ตารางที่ ค.25 ค่าพีเอชของน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็กที่ระยะเวลาบ่ม7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	พีเอช			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	12.42	12.60	12.00	12.34	0.31
0.75:1	12.42	12.00	12.60	12.34	0.31
1:1	12.39	12.50	12.00	12.30	0.26
1.25:1	12.00	12.50	12.40	12.30	0.26
1.5:1	12.00	12.50	12.39	12.30	0.26
1.75:1	12.00	12.50	12.25	12.25	0.25

ตารางที่ ค.26 ค่าพีเอชของน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	พีเอช			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	11.97	11.93	11.98	11.96	0.03
0.75:1	11.74	11.84	11.94	11.84	0.10
1:1	11.58	11.81	11.72	11.70	0.12
1.25:1	11.60	11.55	11.63	11.59	0.04
1.5:1	11.40	11.42	11.45	11.42	0.03
1.75:1	11.02	10.95	11.10	11.02	0.08

ตารางที่ ค.27 ค่าพีเอชของน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	พีอช			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3		
0.5:1	12.50	12.60	12.65	1.58	0.08
0.75:1	12.50	12.60	12.55	12.55	0.05
1:1	12.50	12.50	12.53	12.51	0.02
1.25:1	12.50	12.52	12.51	12.51	0.01
1.5:1	12.49	12.50	12.50	12.50	0.01
1.75:1	12.55	12.60	12.45	12.53	0.08

ตารางที่ ค.28 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
0.5:1	3.04	3.24	3.17	3.15	0.10	nd	nd	nd	-	-
0.75:1	4.23	4.32	4.39	4.31	0.08	nd	nd	nd	-	-
1:1	5.23	5.05	5.13	5.14	0.09	nd	nd	nd	-	-
1.25:1	7.01	7.03	6.91	6.98	0.06	nd	nd	nd	-	-
1.5:1	7.49	7.21	7.40	7.37	0.14	nd	nd	nd	-	-
1.75:1	8.74	8.63	8.79	8.72	0.08	nd	nd	nd	-	-

ตารางที่ ค.29 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
0.5:1	0.04	0.04	0.05	0.04	0.01	0.68	0.78	0.71	0.72	0.05
0.75:1	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.85	0.79	0.89	0.84	0.05
1:1	0.03	0.04	0.03	0.03	0.01	0.81	0.82	0.82	0.82	0.01
1.25:1	0.05	0.06	0.04	0.05	0.01	1.28	1.20	1.24	1.24	0.04
1.5:1	0.08	0.09	0.08	0.08	0.01	1.37	1.28	1.33	1.33	0.05
1.75:1	0.27	0.35	0.34	0.32	0.04	3.93	3.95	3.96	3.96	0.03

ตารางที่ ค.30 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
0.5:1	nd	nd	nd	-	-	1.09	1.27	1.22	1.19	0.09
0.75:1	nd	nd	nd	-	-	1.70	1.65	1.69	1.68	0.03
1:1	nd	nd	nd	-	-	1.63	1.76	1.81	1.73	0.09
1.25:1	nd	nd	nd	-	-	1.79	1.65	1.76	1.73	0.07
1.5:1	nd	nd	nd	-	-	2.14	2.03	2.19	2.12	0.08
1.75:1	nd	nd	nd	-	-	5.06	4.80	5.01	4.96	0.14

ตารางที่ ค.31 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมรีดเหล็กที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
0.5:1	0.85	0.73	0.76	0.78	0.06	0.08	0.06	0.08	0.07	0.01
0.75:1	0.86	0.88	0.85	0.86	0.02	0.07	0.07	0.12	0.09	0.03
1:1	1.01	1.08	0.99	1.03	0.05	0.28	0.25	0.24	0.26	0.02
1.25:1	1.52	1.61	1.55	1.56	0.05	0.20	0.25	0.23	0.23	0.03
1.5:1	1.99	1.86	1.79	1.88	0.10	0.26	0.29	0.33	0.29	0.04
1.75:1	1.96	1.93	1.87	1.92	0.05	0.35	0.34	0.38	0.36	0.02

ตารางที่ ค.32 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
0.5:1	nd	nd	nd	-	-	0.14	0.15	0.12	0.14	0.02
0.75:1	nd	nd	nd	-	-	0.35	0.34	0.31	0.33	0.02
1:1	nd	nd	nd	-	-	0.38	0.32	0.45	0.38	0.07
1.25:1	nd	nd	nd	-	-	0.20	0.25	0.23	0.23	0.03
1.5:1	nd	nd	nd	-	-	0.26	0.29	0.33	0.29	0.04
1.75:1	nd	nd	nd	-	-	1.21	1.05	1.10	1.12	0.08

ตารางที่ ค.33 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำหนักตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ปริมาณตะกั่วในน้ำสกัด (มก./ล.)				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย		# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
0.5:1	nd	nd	nd	-	-	1.62	1.45	1.18	1.42	0.22
0.75:1	nd	nd	nd	-	-	1.48	1.71	2.36	1.85	0.46
1:1	nd	nd	nd	-	-	2.10	2.37	1.86	2.11	0.26
1.25:1	nd	nd	nd	-	-	2.67	2.61	2.72	2.67	0.06
1.5:1	nd	nd	nd	-	-	2.60	2.90	3.30	2.93	0.35
1.75:1	nd	nd	nd	-	-	3.08	3.55	3.26	3.30	0.24

ตารางที่ ค.34 ค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ

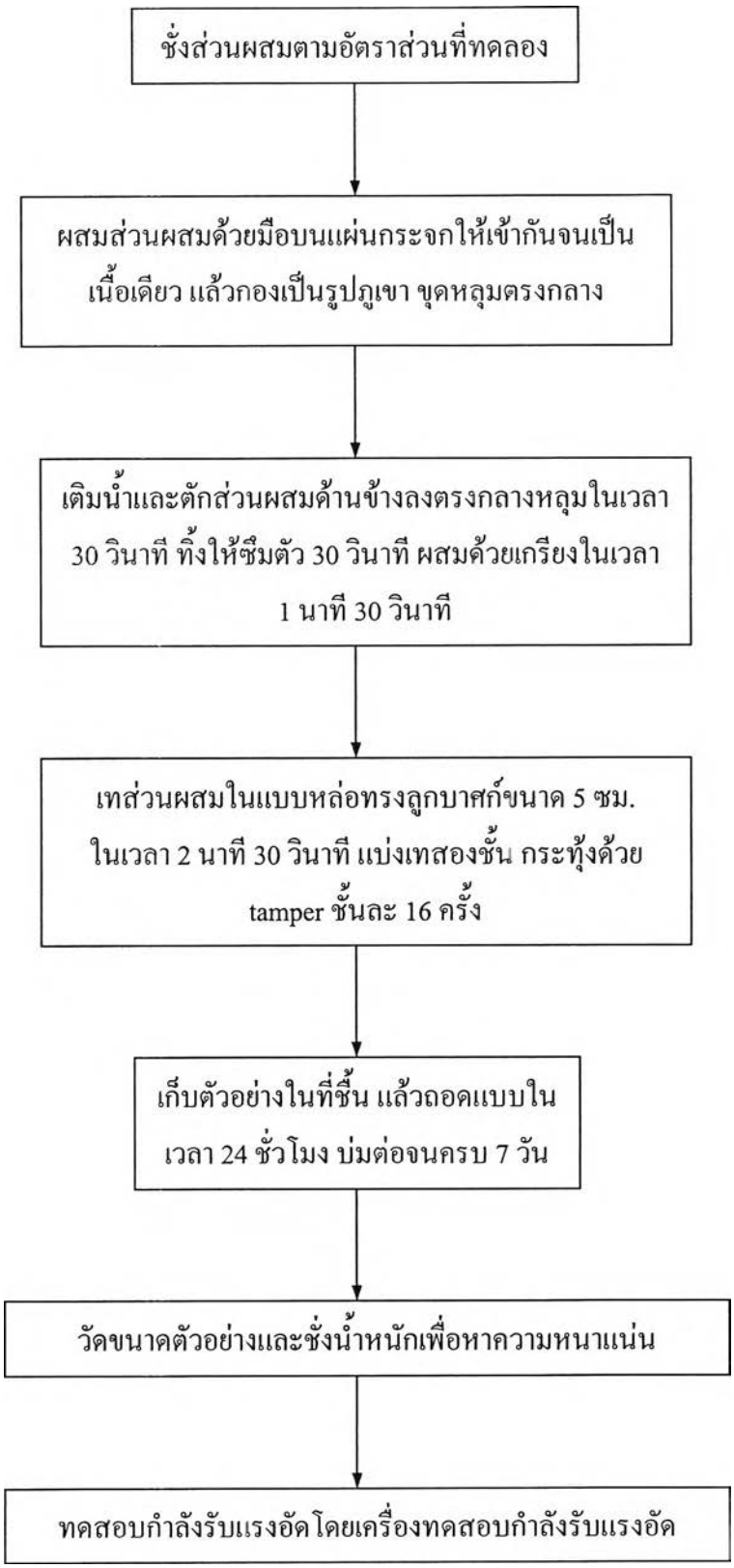
ตัวอย่างตะกอน	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด(ร้อยละ) ของน้ำหนักตะกอนอบแห้ง				ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	# 1	# 2	# 3	เฉลี่ย	
ฟอกหนัง	0.36	0.42	0.44	0.41	0.04
รถยนต์	7.03	6.84	6.89	6.92	0.10
แบตเตอรี่	1.52	1.59	1.55	1.55	0.04
รีดเหล็ก	65.15	66.20	68.67	66.67	1.81
จอภาพ	7.12	7.33	7.39	7.28	0.14
สารกึ่งตัวนำ	3.13	3.29	3.48	3.30	0.18

ภาคผนวก ง
วิธีการทดลอง

ง 1. ขั้นตอนการทดสอบการหล่อก้อนตัวอย่างและทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109-86 และ ASTM D1633-84

1. ชั่งส่วนผสมที่ใช้ตามอัตราส่วนที่ต้องการทดสอบข้างต้นโดยใช้ประมาณตะกอนโลหะเท่ากันตลอดการทดลอง ให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับ 3 ตัวอย่าง
2. ผสมส่วนผสมแต่ละชนิดด้วยมือ (สวมถุงมือยาง) ให้เข้ากันบนแผ่นกระจก เมื่อเข้ากันดีแล้วกองส่วนผสมที่ผสมแล้วเป็นภูเขาและให้มีหลุมตรงกลาง และทิ้งให้น้ำซึมตัว 30 วินาทีผสมด้วยเกรียงให้เข้ากันในเวลา 1 นาที 30 วินาที
3. เทส่วนผสมลงในแบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 5 เซนติเมตร ภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตร แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้งโดย 8 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกัน 8 ครั้งหลังให้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมส่วนผสมชั้นที่ 2 ให้เลยของแบบหล่อเล็กน้อย และใช้มือป้องขณะกระทุ้ง ใช้ Tamper กระทุ้งเช่นเดียวกับครั้งแรก เมื่อเสร็จให้ใช้เกรียงปาดส่วนเกินออกในลักษณะคล้ายเลื่อย
4. หลังจากหล่อเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันทีและเก็บในภาชนะเพื่อป้องกันอากาศ และถอดแบบในเวลา 24 ชั่วโมง บ่มก้อนตัวอย่างจนครบ 7 วัน นำตัวอย่างไปทดสอบหากำลังแรงอัด โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด
5. หาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างโดยการชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่างและหารด้วยปริมาตรของก้อนตัวอย่าง
6. ในส่วนของ ASTM D1633-84 ให้ทำการเปลี่ยนแบบหล่อเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.584 นิ้ว

ขั้นตอนการทดสอบการหล่อก้อนตัวอย่างและทดสอบการหากำลังรับแรงอัด แสดงดังรูปที่ ง. 1

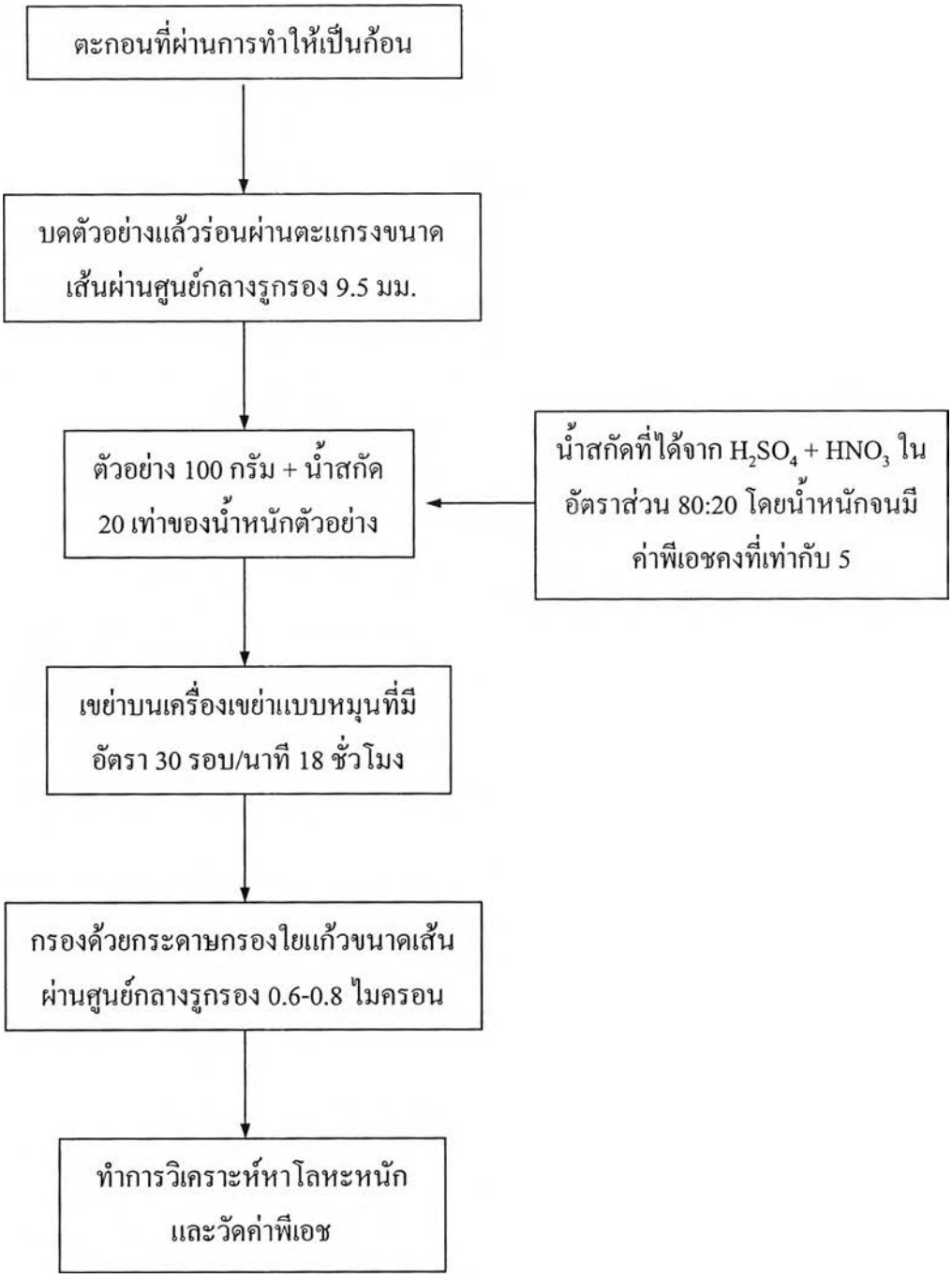


รูปที่ ง. 1 ขั้นตอนการหล่อก้อนตัวอย่างและทดสอบกำลังรับแรงอัด

ง 2. ขั้นตอนการทดสอบการสกัดสาร ตามภาคผนวกท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (2540)

1. บดตัวอย่างให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรองขนาด 9.5 มิลลิเมตร
2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 หนัก 100 กรัมเติมด้วยน้ำสกัด ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดซัลฟูริกและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) หาค่าความเป็นกรดด่างหรือพีเอช (pH) ของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง
3. เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
4. กรองสารละลายจากการสกัดด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
6. วัดค่าความเป็นกรดด่าง

ขั้นตอนการทดสอบการสกัดสารแสดงดังรูปที่ ง. 2

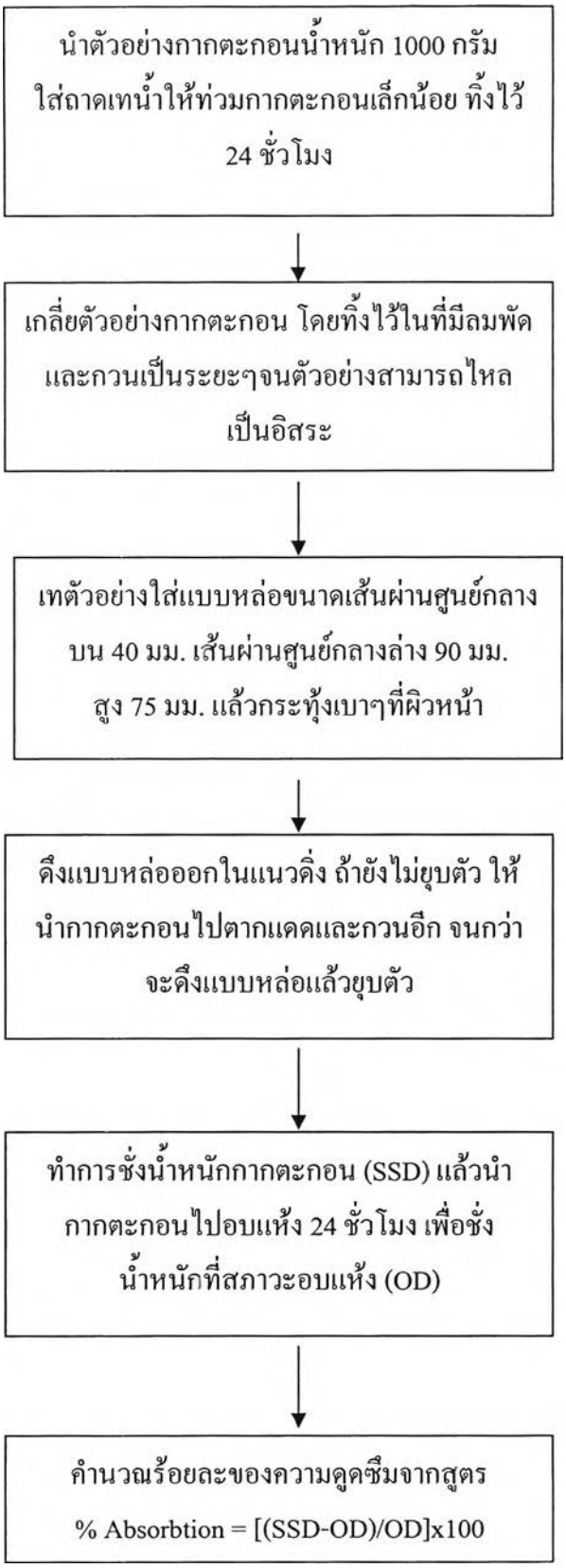


รูปที่ ง. 2 ขั้นตอนการทดสอบการสกัดสาร

ง 3. ขั้นตอนการทดสอบหาความดูดซึมน้ำของกากตะกอน ตามมาตรฐาน ASTM C128-93

1. นำตัวอย่างตะกอนน้ำหนัก 1000 กรัม ในถาดขนาดเหมาะสม เทน้ำให้ท่วมตะกอนเล็กน้อย ทิ้งไว้ให้วัสดุดูดซึมน้ำเป็นเวลา 24 ±4ชั่วโมง
2. เกลี่ยตัวอย่างตะกอนให้ทั่วถาด ทิ้งไว้กลางแจ้งที่มีลมพัดและกวนตัวอย่างเป็นระยะๆ เพื่อให้แห้งทั่วกันจนกระทั่งตัวอย่างวัสดุเริ่มไหลได้อย่างอิสระ (Free Flow)
3. เทตัวอย่างใสแบบหล่อกรวยมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบน 40±3 มิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางล่าง 90± 3 มิลลิลิตร และสูง 75± 3 มิลลิลิตร แล้วกระทุ้งเบาๆที่ผิวหน้า
4. ดึงแบบหล่อออกในแนวดิ่ง ถ้าวัสดุยังคงรูปกรวยอยู่แสดงว่ายังมีความชื้นอยู่ที่ผิว นำไปไว้ในที่กลางแจ้งอีกครั้งและกวนเป็นระยะๆ
5. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนกว่าเมื่อยกแบบหล่อกรวยออกตัวอย่างตะกอนยุบตัวหรือล้ม (ถือว่าวัสดุในขณะนี้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)
6. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างตะกอนที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
7. นำตะกอนไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง
8. คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของวัสดุ

ขั้นตอนการทดสอบหาความชื้นของกากตะกอนแสดงดังรูปที่ ง. 3

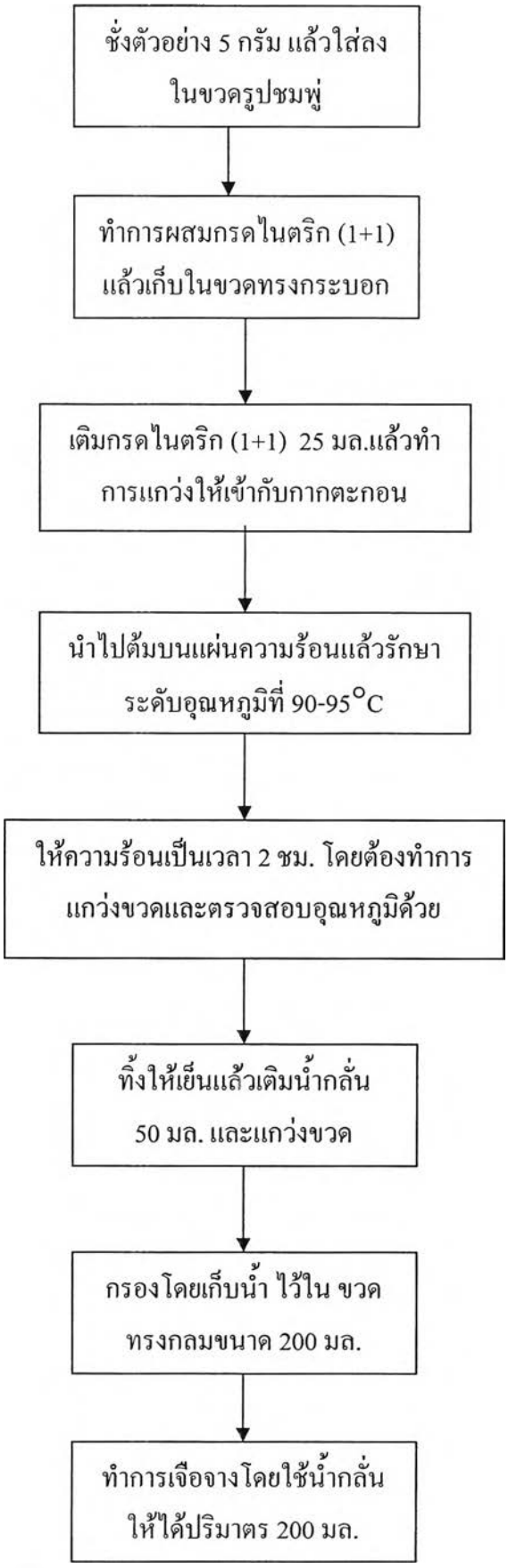


รูปที่ ง. 3 ขั้นตอนการทดสอบหาความดูดซึมน้ำของกากตะกอน

ง 4. ขั้นตอนการทดสอบย่อยกากตะกอนด้วยกรดไนตริกตามมาตรฐาน ASTM D5198-92

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัมโดยใช้ตาชั่งที่มีความละเอียด 0.01 กรัม แล้วจึงใส่ลงในขวดรูปชมพู่
2. ทำการผสมกรดไนตริก (1+1) แล้วจึงเก็บในขวดรูปทรงกระบอก
3. เติมกรดไนตริก (1+1) 25 มล. แล้วทำการแกว่งให้ผสมกับกากตะกอน
4. นำขวดไปต้มบนแผ่นความร้อนโดยเริ่มจากที่อุณหภูมิห้องจนถึงที่ระดับ 90-95°C
5. ให้ความร้อนเป็นเวลา 2 ชม. โดยต้องทำการแกว่งขวด ตลอดจนทำการตรวจสอบระดับอุณหภูมิด้วย
6. หลังจากทำการอุ่น 2 ชม. ทิ้งให้เย็นก่อนแล้วจึงเติมน้ำกลั่น 50 มล. และแกว่ง flask
7. ทำการกรองโดยเก็บน้ำที่ผ่านการกรองในขวดทรงกลมขนาด 200 มล.
8. ทำการเจือจางโดยใช้น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 200 มล

ขั้นตอนการทดสอบย่อยกากตะกอนแสดงดังรูปที่ ง. 4

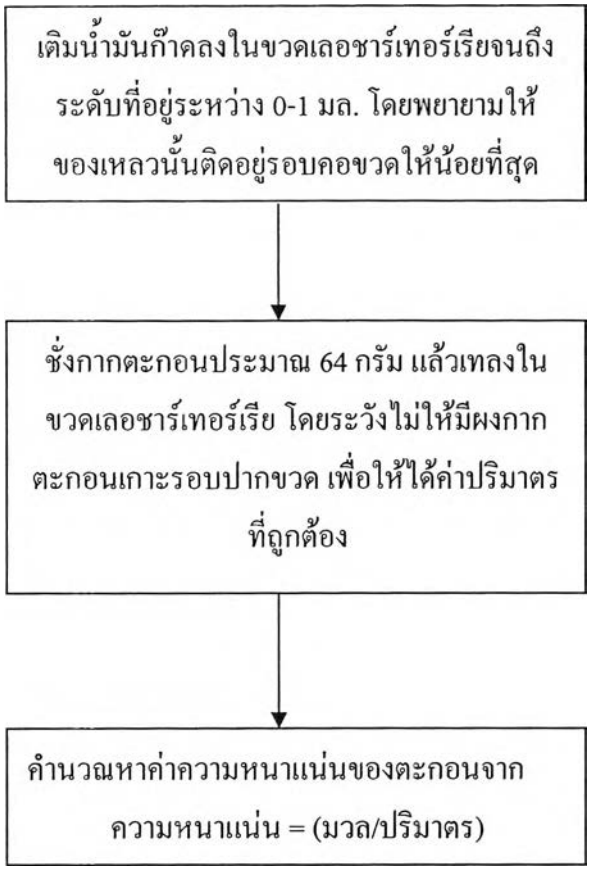


รูปที่ ง. 4 ขั้นตอนการทดสอบย่อยกากตะกอนด้วยกรดไนตริก

ง 5. ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่นของกากตะกอนตามมาตรฐาน ASTM C188-95

1. ทำการเติมของเหลวที่ต้องการใช้(น้ำมันก๊าด หรือ แนปทา) ลงในขวดเลอชาร์เทอร์เรียจนถึงระดับที่อยู่ระหว่าง 0-1 มล. โดยพยายามให้ของเหลวนั้นติดอยู่รอบคอขวดให้น้อยที่สุด
2. ทำการชังนำหนักกากตะกอน (ต้องการประมาณ 64 กรัม) โดยใช้เครื่องชังทีมีความละเอียดอย่างน้อย 0.05 กรัม แล้วจึงเทกากตะกอนลงในขวดเลอชาร์เทอร์เรีย โดยระวังไม่ให้มีผงกากตะกอนเกาะรอบปากขวด เพื่อให้ได้ค่าปริมาตรที่ถูกต้อง
3. ทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของตะกอน

ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่นของกากตะกอนแสดงดังรูปที่ ง. 5



รูปที่ ง. 5 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่นของกากตะกอน

ง 6. สมบัติของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแล้ว

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ใช้แล้วที่ผ่านการปรับเสถียร (Stabilization) และทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) แล้วจะต้องมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถรับแรงอัดซึ่งทดสอบตามมาตรฐานได้ไม่น้อยกว่า 3.5 กก./ตร.ซม. หรือต้องรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบได้อย่างปลอดภัย
2. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตัน/ลบ.ม.
3. มีความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัดเป็นไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ ตามวิธีการที่ระบุ ก่อนการนำไปฝังกลบ

ภาคผนวก จ
ตัวอย่างการเปลี่ยนหน่วยปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน

1. การเปลี่ยนหน่วยปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน

จากตารางที่ 4.2 เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโลหะหนักในกากตะกอนที่ผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นแล้วจะต้องทำการปรับหน่วยเพื่อให้ค่าจริงก่อนที่จะนำไปคำนวณหาค่าปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอน ซึ่งในการย่อยกากตะกอนตัวอย่างนั้นจะใช้กากตะกอนแห้ง 5 กรัม ย่อยด้วยกรดไนตริกจนกลายเป็นของเหลวแล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 200 มล. โดยยกตัวอย่างรายการคำนวณค่าความเข้มข้นของโครเมียมในตัวอย่างกากตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ดังนี้

โครเมียมเจือจาง 1:100	=	17.92	มก./ล.
โครเมียมค่าจริง	=	1792	มก./ล.
สารละลาย 200 มล.	=	358.40	มก.
กากตะกอนแห้ง 5 กรัม	=	358.40	มก.
กากตะกอนแห้ง 1 กรัม	=	71.68	มก./ น้ำหนักกรัมแห้ง

ภาคผนวก ฉ
ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาหล่อเป็นก้อนแข็ง

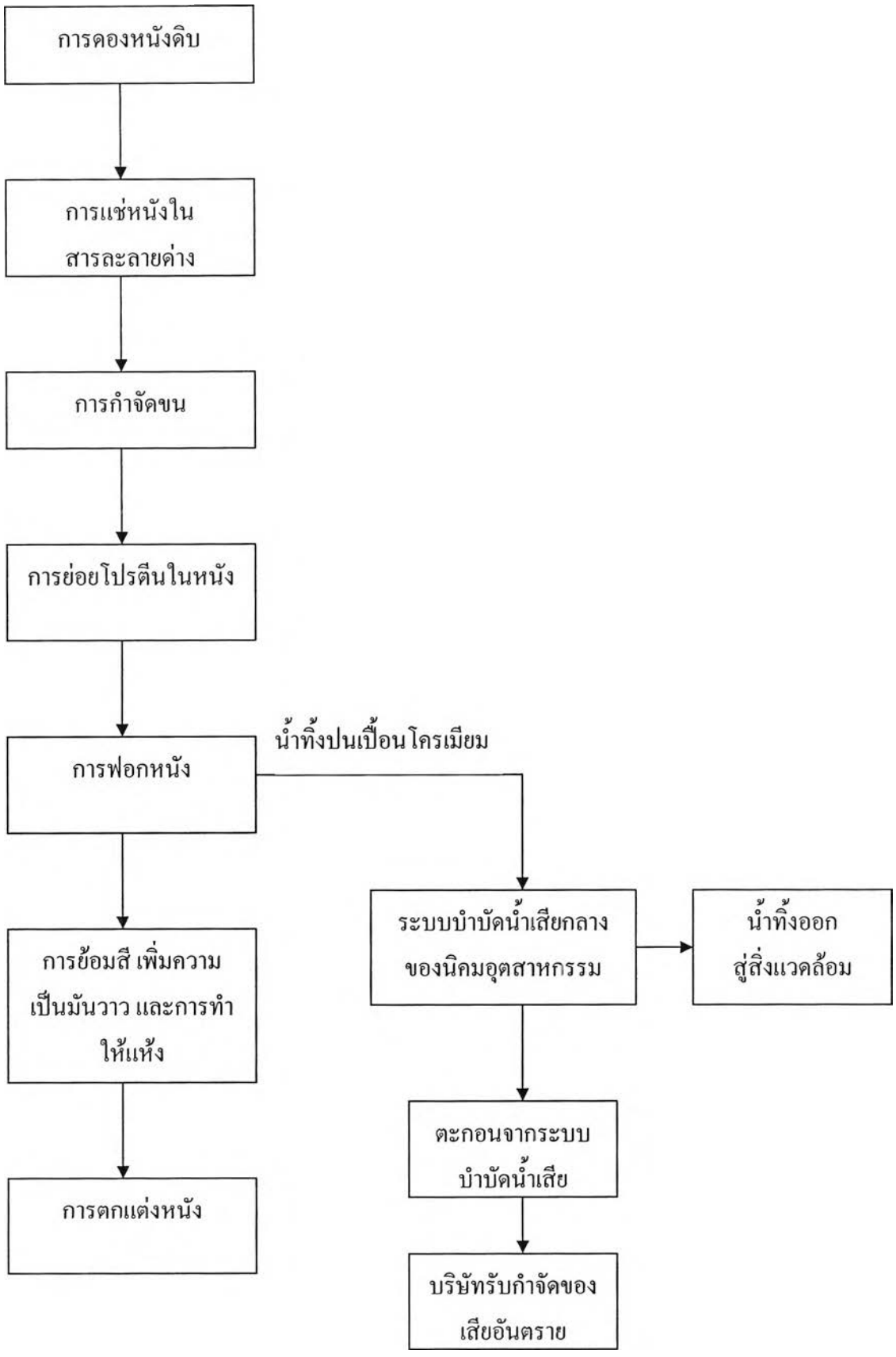
ฉ 1. ตะกอนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

อุตสาหกรรมงานแปรรูปหนังประกอบด้วยกระบวนการหลัก 7 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการดองหนังดิบ
2. กระบวนการแช่หนังในสารละลายด่าง
3. กระบวนการกำจัดขน
4. กระบวนการย่อยโปรตีนในหนัง
5. กระบวนการฟอกหนัง
6. กระบวนการย้อมสี เพิ่มความเป็นมันวาว และการทำให้แห้ง
7. การตกแต่งหนัง

เริ่มต้นขั้นตอนแรก จากการดองหนังดิบด้วยเกลือแกงหรือสารละลายกรด แล้วจึงนำหนังดิบที่ได้มาแช่ในสารละลายด่างซึ่งโดยทั่วไปสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้หนังเกิดการพองตัว กระบวนการกำจัดเส้นขนที่ผิวหนังเพื่อให้ผิวหนังเรียบเมื่อหนังอยู่ในสภาพพองตัวเต็มที่แล้วจึงทำการกำจัดโปรตีนในหนังด้วยเอนไซม์เพื่อให้หนังมีสภาพนิ่ม กระบวนการฟอกหนังโดยการต้มหนังในสารละลายโครเมียมเพื่อให้หนังมีสภาพคงตัว กระบวนการย้อมสีหนัง เพิ่มความเป็นมันวาวให้หนัง และการทำให้หนังแห้งด้วยการผึ่งแดดหรือการอบแห้ง สุดท้ายจึงนำหนังที่ได้มาทำการตกแต่งให้เป็นแผ่นตามที่ต้องการ

ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาทำการวิจัย มาจากน้ำทิ้งเฉพาะจากกระบวนการฟอกหนังของทุกโรงงานในเขตอุตสาหกรรมแปรรูปหนัง ซึ่งมีโลหะหนักโครเมียมปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งและเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรม โดยทางนิคมอุตสาหกรรมจะทำการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการตกผลึกโครเมียมด้วยสารละลายเหล็ก(II)คลอไรด์ ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะทำการส่งบริษัทรับกำจัดของเสียอันตรายต่อไป



รูปที่ ฉ.1 แผนผังกระบวนการแปรรูปหนังและที่มาของตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

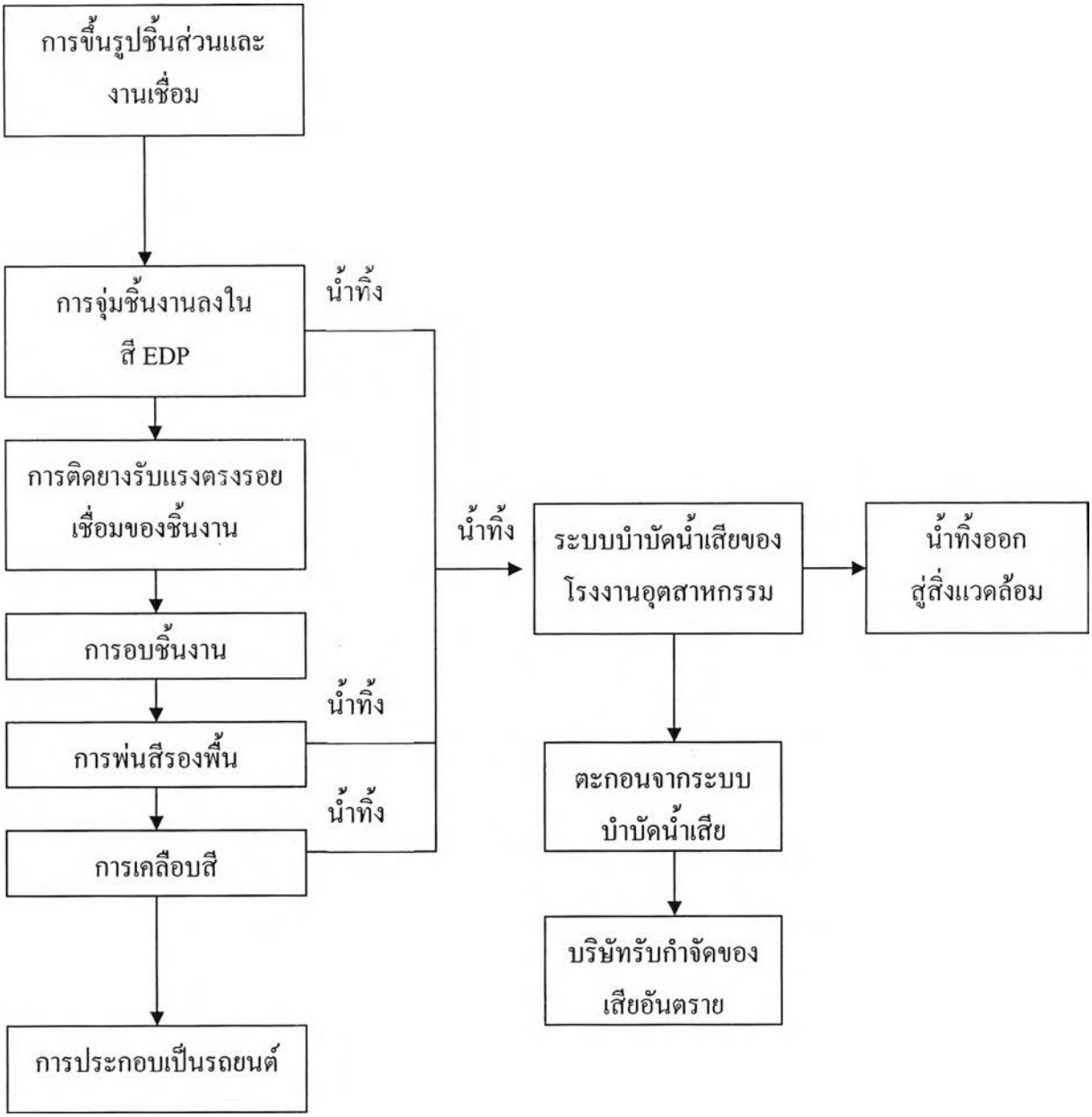
ฉ 2. ตะกอนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์

อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนและงานเชื่อม
2. กระบวนการทำสีและตกแต่งผิวชิ้นงาน
3. กระบวนการประกอบเป็นรถยนต์

เริ่มต้นขั้นตอนแรก จากการขึ้นรูปชิ้นส่วนและเชื่อมชิ้นส่วนหลักๆ ทั้งในส่วนที่เป็นโครงของรถยนต์ รวมถึงในส่วนของกลไกการขับเคลื่อนของรถยนต์ ต่อไปจะเป็นกระบวนการทำสีและตกแต่งผิวชิ้นงานซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างภายนอกของรถยนต์ โดยจะเริ่มต้นจากการจุ่มสี EDP ซึ่งจะเป็นสีชั้นในของรถและการติดยางรับแรงบริเวณรอยเชื่อม แล้วนำชิ้นงานไปอบเพื่อให้สีแห้งและยางรับแรงอยู่ในสภาพที่แข็งพร้อมที่จะรับแรง ต่อด้วยการพ่นสีรองพื้น สีภายนอกและเคลือบผิว(Primer and Top Coat) ให้กับชิ้นงานโดยสีที่ทำการพ่นให้กับชิ้นงานจะมีส่วนประกอบของเนื้อสี ทินเนอร์ แล็กเกอร์และตัวทำละลายในปริมาณมาก ซึ่งทางโรงงานจะป้องกันการฟุ้งกระจายของละอองสีด้วยการติดพัดลมเพดานสำหรับเป่าลมในแนวดิ่งลงสู่พื้นของโรงงาน ซึ่งจะมีน้ำเลี้ยงสำหรับดักละอองสีที่บริเวณพื้นของห้องพ่นสี และการขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเปียกซึ่งจะมีเศษผงต่างๆ ปนลงในน้ำเลี้ยงบริเวณพื้นด้วย และเมื่อได้ชิ้นงานที่ผ่านการทำสีเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำชิ้นงานที่ได้มาประกอบเป็นโครงรถยนต์และทำการกลไกสำหรับการขับเคลื่อนต่อไป

ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาทำการวิจัย จะมาจากน้ำทิ้งจากกระบวนการทำสีและตกแต่งผิวชิ้นงานของอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งหลักที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานจะเป็นน้ำเลี้ยงบริเวณพื้นจากกระบวนการทำสีและตกแต่งผิวชิ้นงาน และจะมีน้ำทิ้งจากการล้างชิ้นงานในกระบวนการแรก ทำให้น้ำทิ้งจะมีการปนเปื้อนด้วยเนื้อสี ผงสี ทินเนอร์ แล็คเกอร์ ตัวทำละลาย และผงเหล็กจากการขัดผิวชิ้นงาน โดยน้ำทิ้งจะบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะทำการส่งบริษัทรับกำจัดของเสียอันตรายต่อไป



รูปที่ ฉ.2 แผนผังกระบวนการประกอบรถยนต์และที่มาของตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์

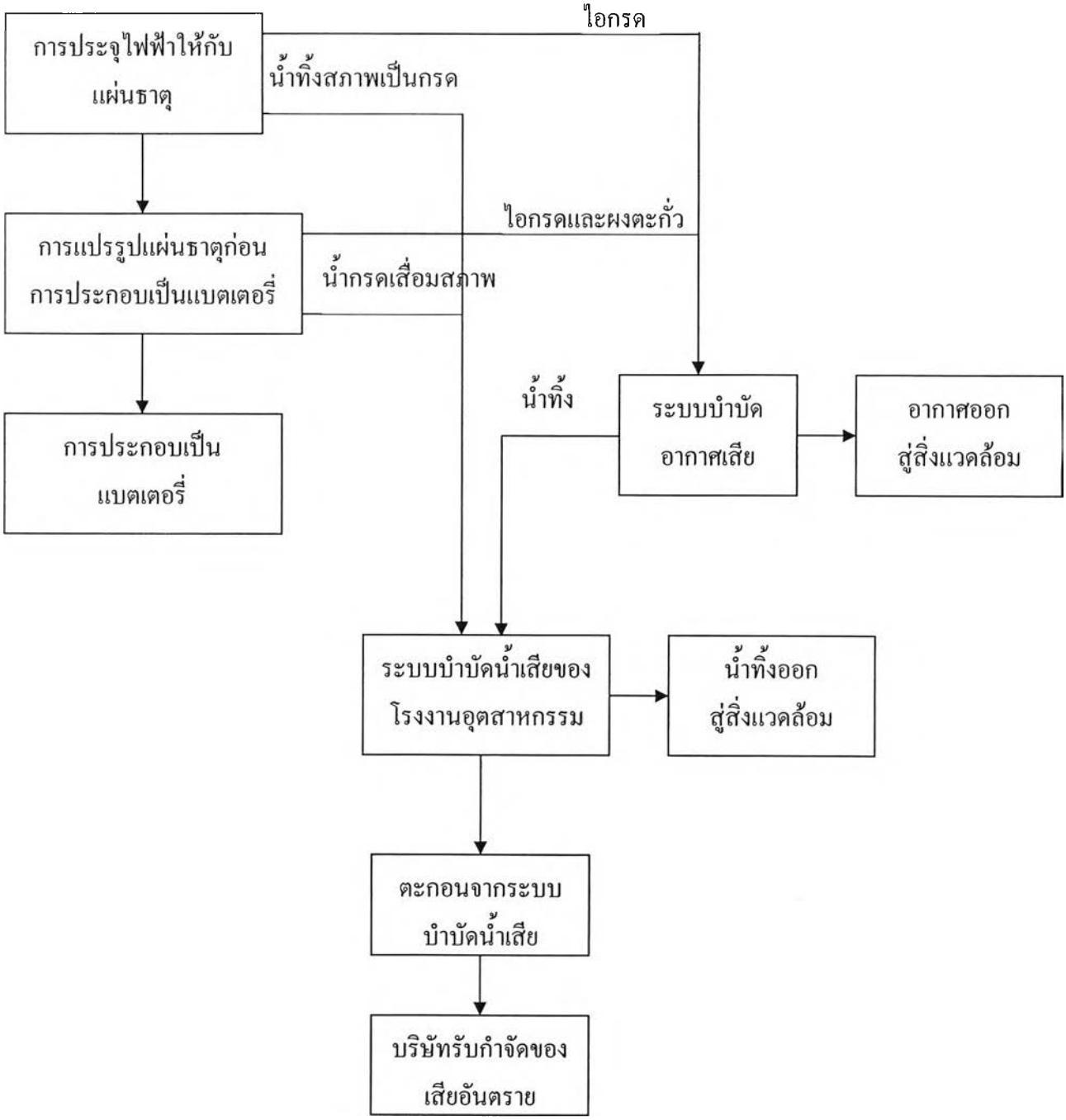
ฉ 3. ตะกอนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่

อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการประจุไฟฟ้าให้กับแผ่นธาตุ
2. กระบวนการแปรรูปแผ่นธาตุก่อนการประกอบเป็นแบตเตอรี่
3. กระบวนการประกอบเป็นแบตเตอรี่

เริ่มต้นขั้นตอนแรก จากการประจุไฟฟ้าให้กับแผ่นธาตุโดยจะนำแผ่นธาตุแช่ในน้ำกลั่นหรือน้ำกลั่นผสมสารเคมีเพื่อให้ขั้วประจุต่างกันแล้วทำการถ่ายประจุไฟฟ้าให้กับแผ่นธาตุตามเวลาที่กำหนด ภายหลังการประจุจะพบว่าน้ำที่แช่แผ่นธาตุที่สภาพเป็นกรด เมื่อทำการประจุแผ่นธาตุเสร็จแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการแปรรูปแผ่นธาตุ โดยเริ่มต้นจากการทำความสะอาดแผ่นธาตุด้วยน้ำกลั่นก่อนที่จะนำไปแช่กรดอีกรอบหนึ่งเพื่อเป็นการเคลือบผิวแผ่นธาตุ แล้วจึงนำแผ่นธาตุที่ได้มาทำการอบแห้งและตัดแผ่นธาตุให้ได้ขนาดก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นแบตเตอรี่ในแบบที่เติมน้ำกลั่นแล้วสามารถใช้งานได้ทันที ซึ่งในกระบวนการจะต้องมีการดูดไอกรดและผงตะกั่วจากการตัดแผ่นธาตุด้วยเครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก(Wet Scrubbers)

ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาทำการวิจัย จะมาจากน้ำทิ้งจากกระบวนการประจุไฟฟ้าให้แผ่นธาตุและการแปรรูปแผ่นธาตุก่อนการประกอบ โดยน้ำทิ้งหลักที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานจะเป็นน้ำทิ้งจากเครื่องสัมผัสแบบเปียก น้ำกรดทิ้งจากการเคลือบผิวแผ่นธาตุ น้ำทิ้งจากการประจุแผ่นธาตุ รวมถึงน้ำทิ้งจากการทำความสะอาดร่างกายของพนักงานในโรงงานก่อนกลับที่พักและการทำความสะอาดโรงงาน โดยน้ำทิ้งจะบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะทำการส่งบริษัทรับกำจัดของเสียอันตรายต่อไป



รูปที่ ฉ.3 แผนผังกระบวนการผลิตแบตเตอรี่และที่มาของตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่

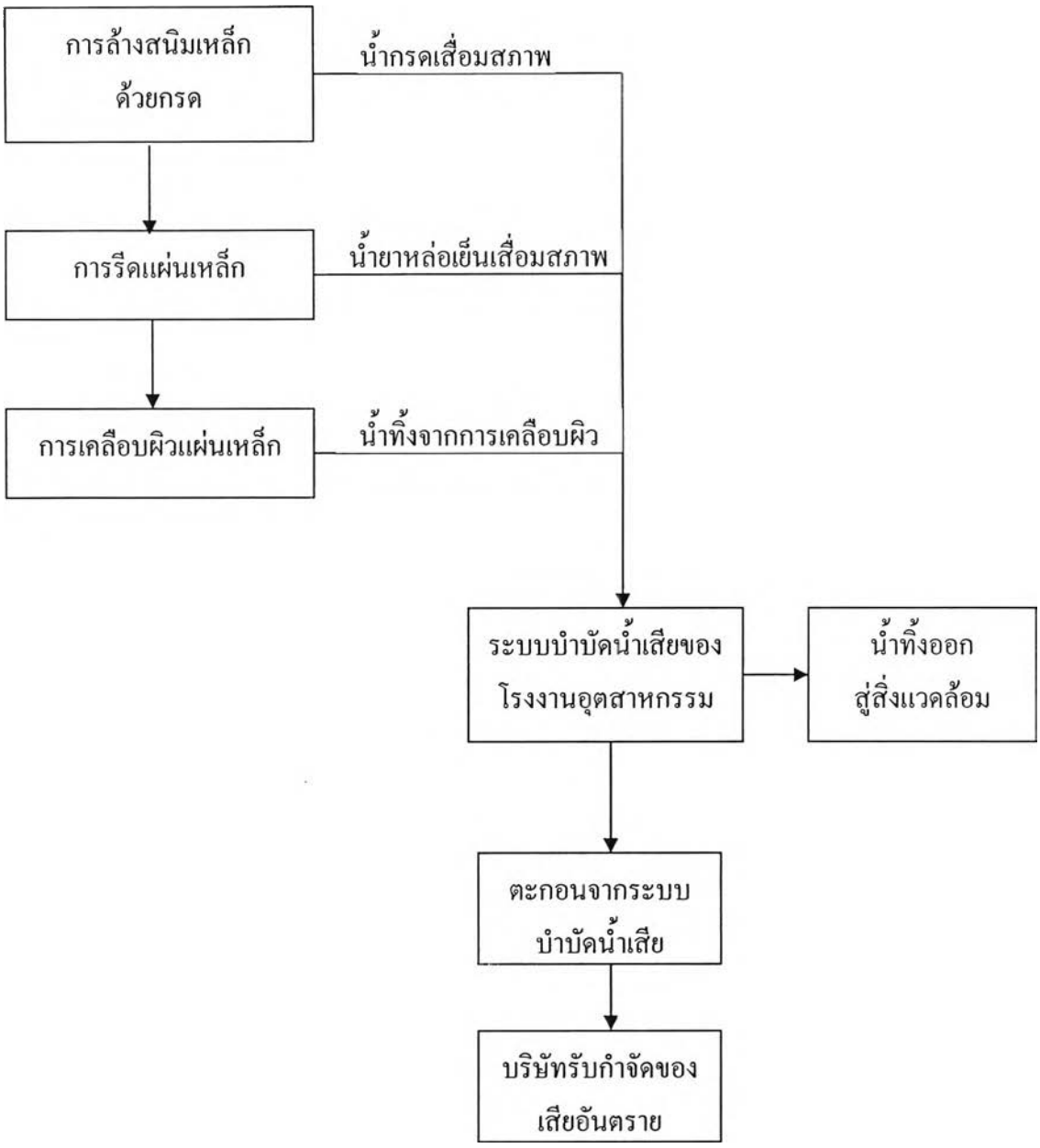
ฉ 4. ตะกอนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมรีดเหล็ก

อุตสาหกรรมรีดเหล็กประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการล้างสนิมเหล็กด้วยกรด
2. กระบวนการรีดแผ่นเหล็ก
3. กระบวนการเคลือบผิวแผ่นเหล็ก

เริ่มต้นขั้นตอนแรก จากการล้างสนิมแผ่นเหล็กด้วยกรดเข้มข้น ให้กรดทำการกัดสนิมบริเวณผิวเหล็ก แล้วจึงนำเหล็กที่ผ่านการล้างสนิมเข้าเครื่องรีดเหล็กให้เป็นแบบรีดเย็น โดยจะมีการใช้น้ำยาหล่อเย็นมาใช้ในการลดความร้อนในกระบวนการซึ่งน้ำยาหล่อเย็นจะมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อได้แผ่นเหล็กรีดเย็นแล้ว จะนำแผ่นเหล็กที่ได้เข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวแผ่นเหล็กเพื่อให้ได้แผ่นเหล็กตามที่ต้องการ โดยสารที่นำมาทำการเคลือบแผ่นเหล็กจะเป็นสังกะสี อลูมิเนียม โครเมียม หรือสีต่างๆ

ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาทำการวิจัย จะมาจากน้ำทิ้งจากทุกกระบวนการของอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งหลักที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานจะเป็นน้ำยาหล่อเย็นที่ใช้ในกระบวนการรีดแผ่นเหล็ก น้ำกรดจากการล้างสนิมเหล็ก และน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบแผ่นเหล็กด้วยอลูมิเนียม สังกะสีและสีต่างๆ โดยน้ำทิ้งจะบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะทำการส่งบริษัทรับกำจัดของเสียอันตรายต่อไป



รูปที่ ฉ.4 แผนผังกระบวนการรีดเหล็กและที่มาของตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็ก

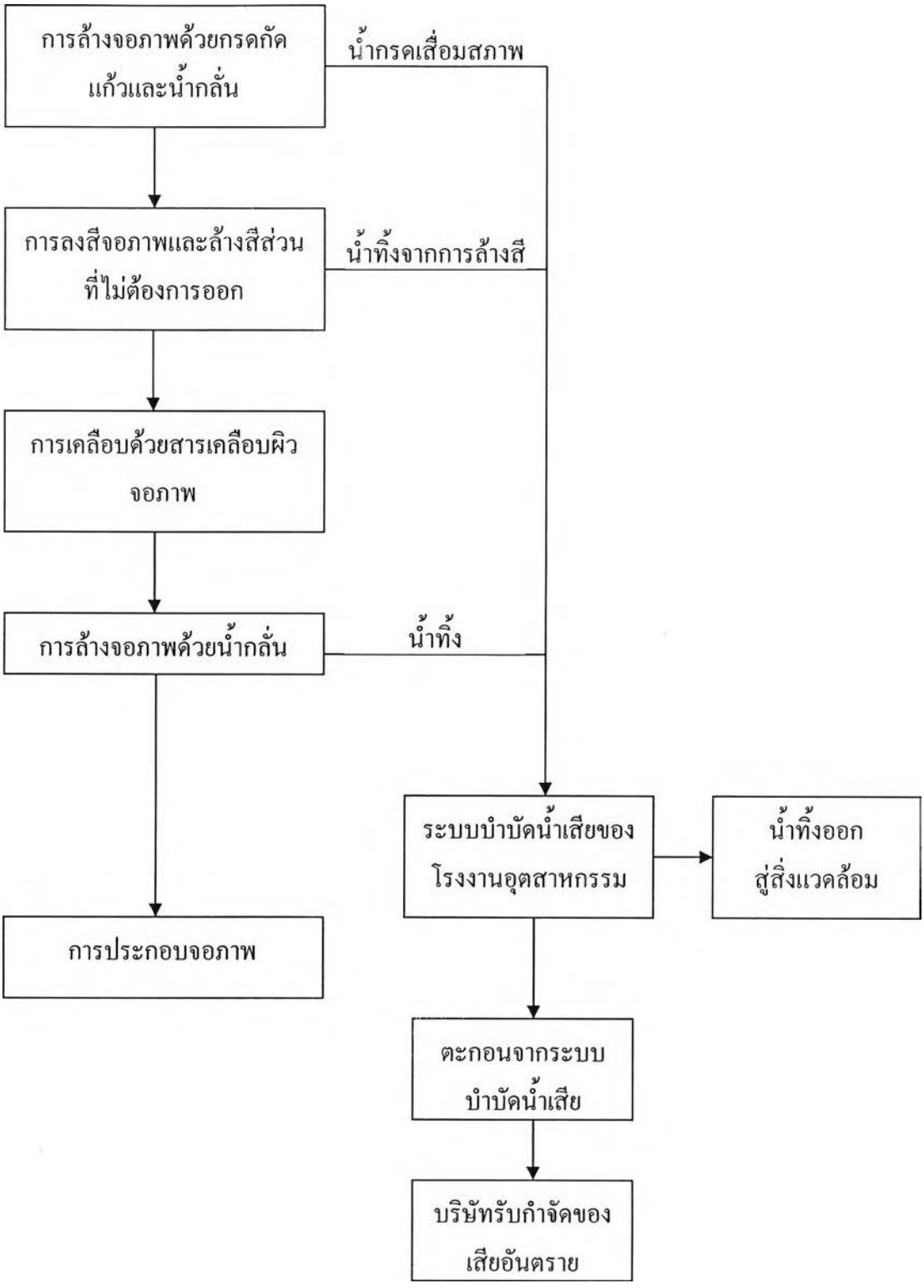
ฉ 5. ตะกอนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ

อุตสาหกรรมผลิตจอภาพประกอบด้วยกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการเคลือบสีจอภาพ
2. กระบวนการประกอบจอภาพ

เริ่มต้นขั้นตอนแรก จากการล้างจอภาพและกรวยด้วยกรดกัดแก้วและน้ำกลั่นแล้วจึงทำการลงสีเรืองแสงซึ่งจะทำการลงสีจอภาพหลายชั้นและแต่ละพื้นที่บนจอภาพจะมีจำนวนสีไม่เท่ากัน ทำให้ต้องมีการล้างสีในพื้นที่ส่วนที่ไม่ต้องการออก และทำการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจอภาพอีกชั้นหนึ่งแล้วทำการล้างจอภาพด้วยน้ำกลั่นเป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะนำไปประกอบกับกรวยเป็นจอภาพที่สมบูรณ์ ซึ่งจะพบว่าสีเรืองแสงจะมีสังกะสีเป็นส่วนประกอบหลัก และสารเคลือบผิวจอภาพจะมีตะกั่วเป็นส่วนประกอบหลัก

ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาทำการวิจัย จะมาจากน้ำทิ้งจากกระบวนการเคลือบสีจอภาพ โดยน้ำทิ้งหลักที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานจะเป็นน้ำทิ้งปนเปื้อนสีเรืองแสงและสารเคลือบผิวจอภาพ และกรดจากการล้างจอภาพ โดยน้ำทิ้งจะบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจะทำการส่งบริษัทรับกำจัดของเสียอันตรายต่อไป



รูปที่ ฉ.5 แผนผังกระบวนการผลิตจอภาพและที่มาของตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ

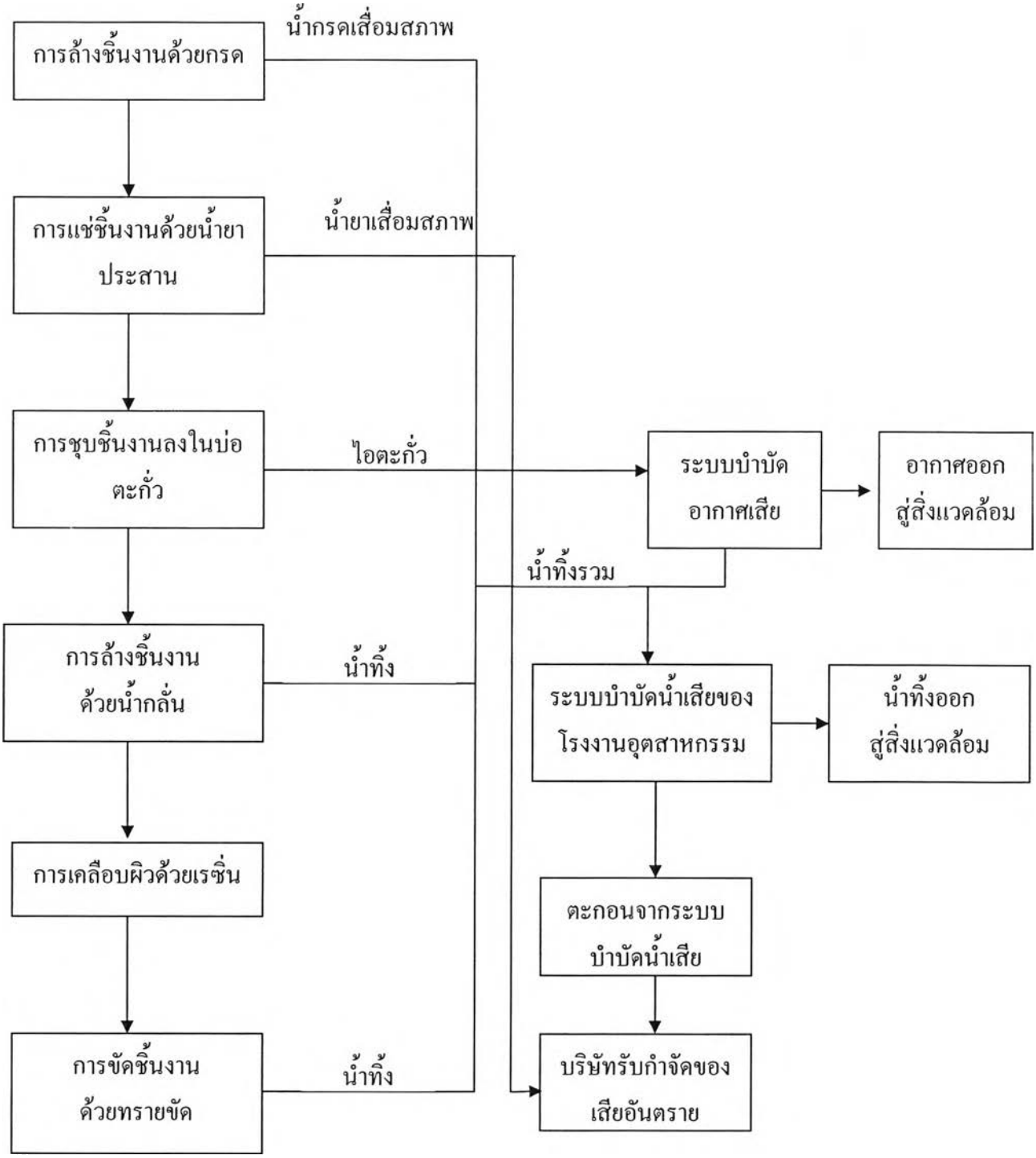
ฉ 6. ตะกอนโลหะหนักจากอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ

อุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำประกอบด้วยกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ ได้แก่

1. กระบวนการหุ้มชิ้นงานด้วยตะกั่ว
2. กระบวนการขัดด้วยทรายขัดชิ้นงาน

เริ่มต้นขั้นตอนแรก จากการนำชิ้นงานไปทำการแช่กรดบริเวณขาของชิ้นงานเพื่อทำการล้างแล้วจึงแช่น้ำยาประสานและชุบลงในบ่อตะกั่วเพื่อให้ตะกั่วหุ้มชิ้นงานแล้วทำการล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น ต่อไปจะเป็นกระบวนการเคลือบผิวด้วยเรซิ่น เมื่อทำการเคลือบผิวด้วยเรซิ่นเรียบร้อยแล้วจึงนำชิ้นงานไปขัดด้วยทรายขัดชิ้นงานซึ่งจะมีส่วนที่เป็นผงเรซิ่น ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีหลุดออกมาด้วย ซึ่งในกระบวนการหุ้มชิ้นงานจะต้องมีการดูดไอตะกั่วจากบ่อตะกั่วด้วยเครื่องสัมผัสหรือเครื่องเก็บฝุ่นแบบเปียก(Wet Scrubbers)

ที่มาของตะกอนโลหะหนักที่นำมาทำการวิจัย จะมาจากน้ำทิ้งจากทุกกระบวนการของอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งหลักที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานจะเป็นน้ำทิ้งการบำบัดไอตะกั่วด้วยเครื่องสัมผัสแบบเปียก น้ำล้างระบบผลิตน้ำกลั่น ผงจากการใช้ทรายขัดชิ้นงาน และกรดจากการทำความสะอาดขาชิ้นงาน โดยน้ำทิ้งจะบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำยาประสานที่ผ่านการใช้งานแล้วจะทำการส่งบริษัทรับกำจัดของเสียอันตรายต่อไป



รูปที่ ฉ.6 แผนผังกระบวนการผลิตสารกึ่งตัวนำและที่มาของตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภัทร กฤตานุสรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2523 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544