บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสีย

คุณสมบัติของตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

4.1.1 สมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ผลดังนี้

4.1.1.1 การดูดซึม (ร้อยละ)

จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C128-93 การทดสอบแต่ละตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละโดยน้ำหนักของการดูดซึมน้ำของตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 71 โดยตะกอนที่มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุดคือตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ ซึ่งมีค่าการดูดซึมเท่ากับร้อยละ 70.67 และตะกอนที่มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดคือตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็ก ซึ่งมีค่าการดูดซึมเท่ากับร้อยละ 7.63 ส่วนอุตสาหกรรมอื่นๆ นั้นจะมีค่าการดูดซึมใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 42 ถึงร้อยละ 67 ค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำในตะกอนชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

4.1.1.2 ความหนาแน่น

จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C188-95 การทดสอบแต่ละตัวอย่างเป็นจำนวน 3 ครั้ง พบว่าค่าความหนาแน่นของตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.29 ถึง 2.93 โดยตะกอนที่มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดคือตะกอนจากอุตสาหกรรมการผลิตจอภาพซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.93 และตะกอนที่มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดคือตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็กซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.29 ส่วนอุตสาหกรรมอื่นๆ นั้นจะมีค่าความหนาแน่นแบบกระจายตัว โดยมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 1.33 ถึง 2.51 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของตะกอนชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ

สมบัติทางด้านกายภาพ	ตัวอย่างตะกอน							
	ฟอกหนัง	รถยนต์	แบตเตอรี่	รีดเหล็ก	จอภาพ	สารกึ่งตัวนำ	ฟอกย้อม	บำบัดกลาง
1.1 การดูดซึม (ร้อยละ)	51.23	66.25	64.01	7.63	70.67	48.03	33.41	42.46
1.2 ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	2.51	2.49	2.21	1.29	2.93	1.33	1.91	2.06

4.1.2 สมบัติทางด้านเคมี

4.1.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นตามมาตรฐาน ASTM D5198-92 แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAs

สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุด 0.01 มก./ล. และความเข้มข้นสูงสุด 1000 มก./ล. ดังนั้นจึงทำการเจือจางก่อนการวัดด้วยเครื่องโดยทำการเจือจางในอัตราส่วน 1: 100

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนที่ผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นแล้วจะต้องทำการปรับหน่วยเพื่อให้ได้ค่าจริงก่อนที่จะนำไปคำนวณหาค่าปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอน ซึ่งในการย่อยตะกอนตัวอย่างนั้นจะใช้ตะกอนอบแห้ง 5 กรัม ย่อยด้วยกรดไนตริกจนกลายเป็นของเหลวแล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้เป็น 200 มล. และค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

ตัวอย่างตะกอน	ปริมาณโลหะหนักในตะกอนอบแห้ง(มก./น้ำหนักกรัมแห้ง)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
ฟอกหนัง	nd	71.68	nd
รถยนต์	nd	0.11	2.72
แบตเตอรี่	0.16	1.57	127.38
รีดเหล็ก	nd	4.41	0.38
จอภาพ	nd	nd	21.22
สารกึ่งตัวนำ	nd	nd	4.90
ฟอกย้อม	nd	0.07	0.35
บำบัดกลาง	nd	0.30	0.28

(nd = not detectable)

4.1.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดโดยใช้วิธีการสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.3 พบว่าตัวอย่าง

น้ำสกัดส่วนใหญ่จะตรวจพบแคดเมียมในปริมาณที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐาน (ค่ามาตรฐาน; แคดเมียม $\leq$ 1 มก./ล.) แต่ส่วนใหญ่จะตรวจพบโครเมียมหรือตะกั่วสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ค่ามาตรฐาน; โครเมียม ตะกั่ว $\leq$ 5 มก./ล.)

เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดจากตะกอนพบว่ามีถึง 6 ตัวอย่างได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ประกอบรถยนต์ ผลิตแบตเตอรี่ รีดเหล็ก ผลิตจอภาพ และผลิตสารกึ่งตัวนำ ที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักมากกว่าที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับสมบัติของสารพิษซึ่งเมื่อนำมาสกัดด้วยวิธีการสกัดสารและวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดไว้ ดังนั้นจึงถือว่าตะกอน 6 ตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นเกินมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นของเสียอันตรายและต้องได้รับการจัดการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดจากตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ โดยใช้วิธีการสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตัวอย่างตะกอน	ความเข้มข้นของโลหะหนัก(มก./ล.)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
ฟอกหนัง	nd	15.33	nd
รถยนต์	nd	0.40	5.67
แบตเตอรี่	nd	nd	8.97
รีดเหล็ก	nd	7.11	0.40
จอภาพ	nd	nd	5.31
สารกึ่งตัวนำ	nd	nd	6.52
ฟอกย้อม	nd	0.02	4.56
บำบัดกลาง	nd	1.56	1.67
ค่ามาตรฐาน	$\leq$ 1	$\leq$ 5	$\leq$ 5

(nd = not detectable)

I21337433

4.2 ผลการศึกษาการหาค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท

จากการศึกษาการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ด้วยการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ โดยทำการผสมตะกอนอบแห้งกับซีเมนต์ที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำที่อัตราส่วนผสม 0.5 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์ในอัตราส่วนแรก และอัตราส่วนผสมถัดไปให้เพิ่มสัดส่วนน้ำอีกอัตราส่วนละร้อยละ 10 จนถึงร้อยละ 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้งสำหรับการดูดซึมของตะกอนหรือจนก้อนตัวอย่างไม่สามารถก่อตัวได้ และทำการบ่มก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำก้อนตัวอย่างมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อหาค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการหล่อเป็นก้อนแข็งของเสียแต่ละชนิด ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

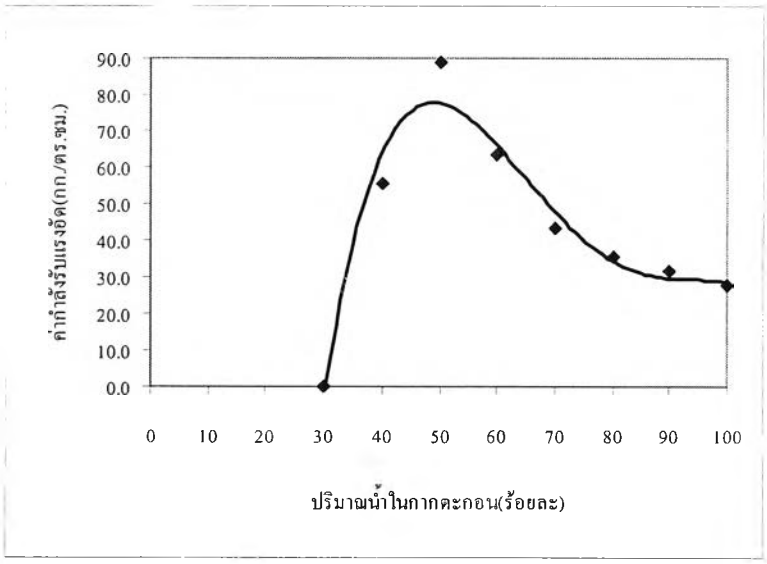
4.2.1 กำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนปริมาณน้ำในตะกอนต่างๆ

จากการทดสอบค่ากำลังแรงอัดซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109-86 ของก้อนตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการบ่มเป็นเวลา 7 วัน ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตะกอนจากอุตสาหกรรมนี้ แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.6

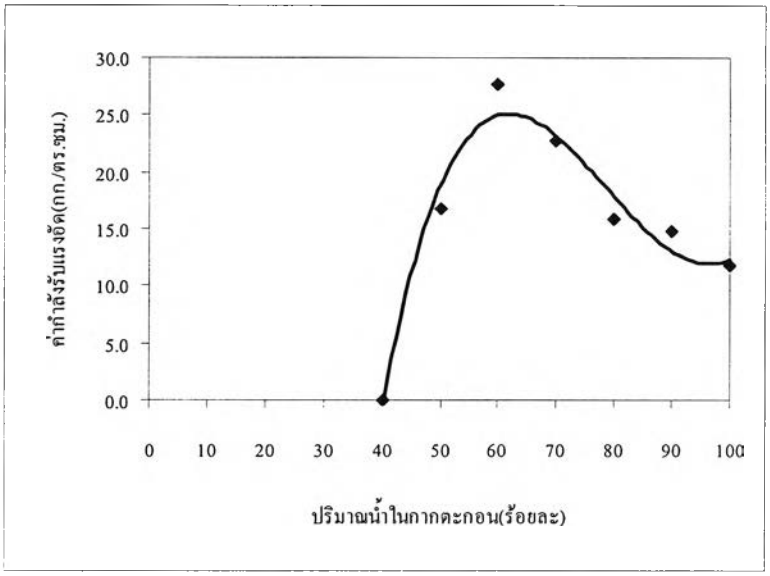
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์

ตัวอย่างตะกอน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)										
	ปริมาณน้ำในตะกอนที่กำหนด(ร้อยละ)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ฟอกหนัง	-	-	-	-	55.3	88.9	63.2	43.5	35.6	31.6	27.7
รถยนต์	-	-	-	-	-	16.8	27.7	22.7	15.8	14.8	11.9
แบตเตอรี่	-	-	-	-	-	-	28.6	34.6	19.8	15.8	11.9
รีดเหล็ก	27.7	29.6	25.7	23.7	21.7	19.8	15.8	11.9	7.9	5.9	-
จอภาพ	-	-	-	-	-	7.9	11.9	17.8	15.8	9.9	5.9
สารกึ่งตัวนำ	-	-	-	-	47.4	57.3	51.4	43.5	35.6	23.7	15.8

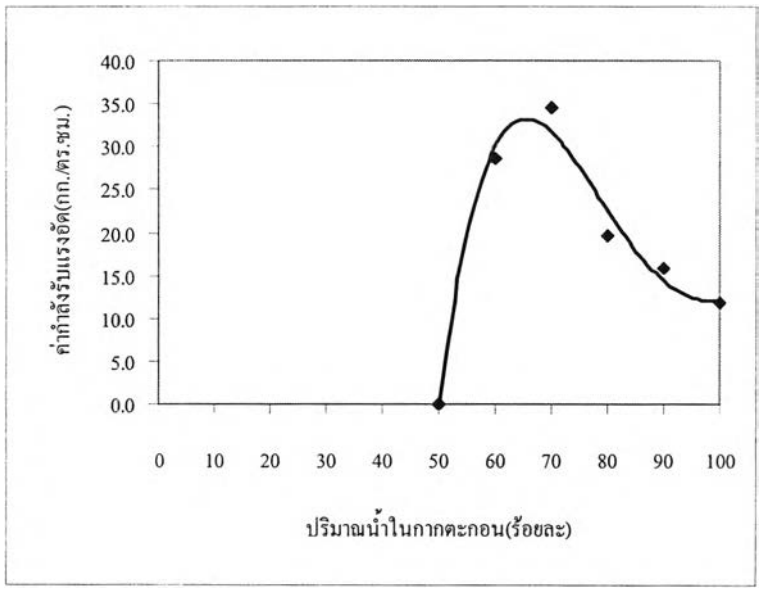
(- หมายถึงไม่สามารถก่อตัวเป็นก้อนแข็งได้)



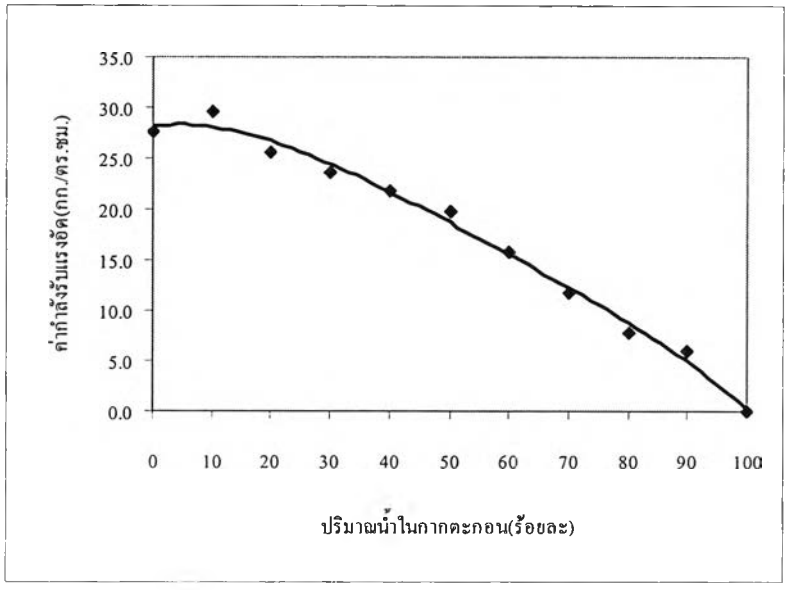
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมฟอกหนัง



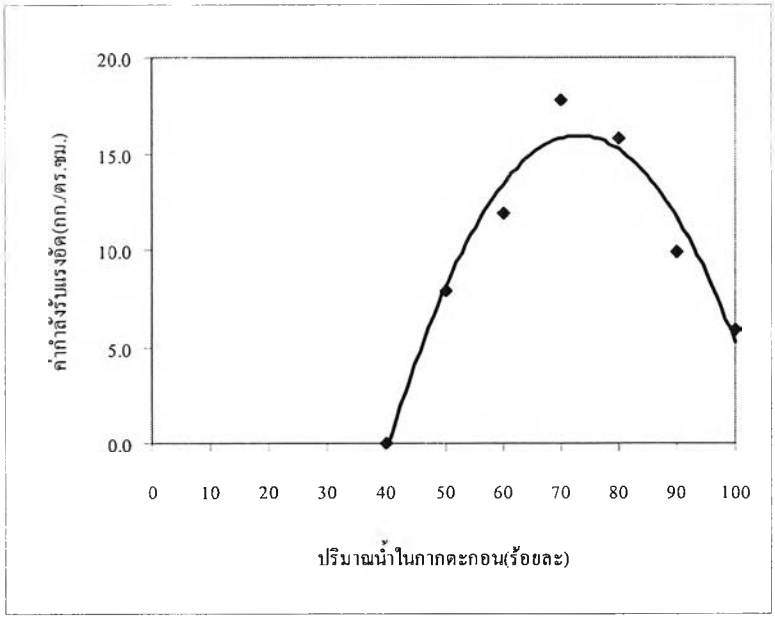
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์



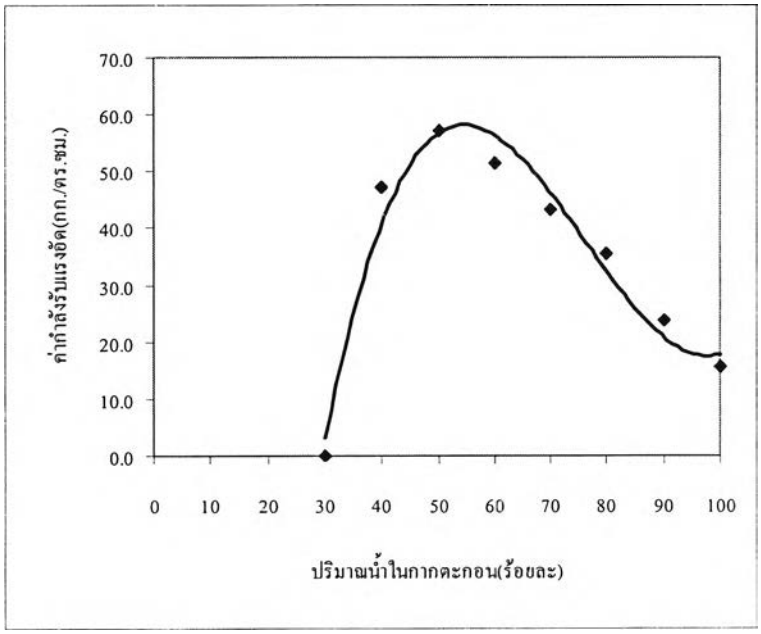
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมรีดเหล็ก



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและปริมาณน้ำในตะกอนของอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ

4.2.1.1 ตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนัง

หลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 30 นั้นไม่สามารถทำให้ก้อนแข็งก่อตัวเป็นก้อนได้ โดยก้อนตัวอย่างจะเริ่มก่อตัวที่ปริมาณน้ำในตะกอนร้อยละ 40 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 60 ขึ้นไปมีค่าลดลงไปจนกระทั่งมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 27.7 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ซึ่งจากรูปที่ 4.1 สามารถประมาณค่าของกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 78.5 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำในตะกอนเท่ากับร้อยละ 49 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง

4.2.1.2 ตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์

หลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 40 นั้นไม่สามารถทำให้ก้อนแข็งก่อตัวเป็นก้อนได้ โดยก้อนตัวอย่างจะเริ่มก่อตัวที่ปริมาณน้ำในตะกอนร้อยละ 50 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไปมีค่าลดลงไปจนกระทั่งมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 11.9 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ซึ่งจากรูปที่ 4.2 สามารถประมาณค่าของกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 25 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำในตะกอนเท่ากับร้อยละ 62 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง

4.2.1.3 ตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่

หลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 50 นั้นไม่สามารถทำให้ก้อนแข็งก่อตัวเป็นก้อนได้ โดยก้อนตัวอย่างจะเริ่มก่อตัวที่ปริมาณน้ำในตะกอนร้อยละ 60 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไปมีค่าลดลงไปจนกระทั่งมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 11.9 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ซึ่งจากรูปที่ 4.3 สามารถประมาณค่าของกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 33.3 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำในตะกอนเท่ากับร้อยละ 65 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง

4.2.1.4 ตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมรีดเหล็ก

หลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่ร้อยละ 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง นั้นไม่สามารถทำให้ก้อนแข็งก่อตัวเป็นก้อนได้ โดยก้อนตัวอย่างจะเริ่มก่อตัวตั้งแต่ที่ปริมาณน้ำในตะกอนร้อยละ 0 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไปมีค่าลดลงไปจนกระทั่งมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 5.9 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ซึ่งจากรูปที่ 4.4 สามารถประมาณค่าของกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 28.4 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำในตะกอนเท่ากับร้อยละ 5 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง

4.2.1.5 ตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ

หลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 40 นั้นไม่สามารถทำให้ก้อนแข็งก่อตัวเป็นก้อนได้ โดยก้อนตัวอย่างจะเริ่มก่อตัวที่ปริมาณน้ำในตะกอนร้อยละ 50 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไปมีค่าลดลงไปจนกระทั่งมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 5.9 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ซึ่งจากรูปที่ 4.5 สามารถประมาณค่าของกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 16 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำในตะกอนเท่ากับร้อยละ 74 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง

4.2.1.6 ตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ

หลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 30 นั้นไม่สามารถทำให้ก้อนแข็งก่อตัวเป็นก้อนได้ โดยก้อนตัวอย่างจะเริ่มก่อตัวที่ปริมาณน้ำในตะกอนร้อยละ 40 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณน้ำตั้งแต่ร้อยละ 60 ขึ้นไปมีค่าลดลงไปจนกระทั่งมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุดเท่ากับ 15.8 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 100 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ซึ่งจากรูปที่ 4.6 สามารถประมาณค่าของกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 58.3 กก./ตร.ซม. ที่ปริมาณน้ำในตะกอนเท่ากับร้อยละ 55 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานในการทำให้ตะกอนทั้ง 6 ตัวอย่างเป็นก้อนแข็งด้วยอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ที่คงที่แต่ทำการแปรค่าปริมาณน้ำในตะกอนเพื่อหาค่าที่เหมาะสม เมื่อดูจากกราฟผลการทดลอง จะเห็นได้ว่ารูปที่ได้นั้นกราฟมีลักษณะเอียงไปทางขวา เนื่องจากในตัวอย่างที่มีค่าปริมาณน้ำในตะกอนต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมส่วนมากไม่สามารถหล่อเป็นก้อนแข็งได้ เพราะเมื่อนำตะกอน ซีเมนต์และน้ำผสมกันแล้ว ตะกอนจะทำการดูดน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์จนทำให้มีปริมาณน้ำไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ก้อนแข็งจึงไม่สามารถก่อตัวได้ ส่วนก้อนแข็งที่มีค่าปริมาณน้ำในตะกอนสูงกว่าค่าที่เหมาะสมนั้นตัวอย่างมักจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ต่ำและบางตัวอย่างไม่สามารถก่อตัวได้ แม้ว่าค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่สูงขึ้นจะทำให้ก้อนตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์แต่ก็ทำให้ก้อนแข็งที่ได้มีความพรุนที่มากขึ้นด้วย

ค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมจากการทดลองจะพิจารณาจากค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงสุดของตัวอย่างที่ได้ ค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 74 โดยตะกอนที่มีค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมสูงสุดได้แก่ ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่มีค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 74 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนตะกอนที่มีค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมต่ำสุดได้แก่ ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมรีดเหล็กที่มีค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 5 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ส่วนตัวอย่างตะกอนอื่นๆ นั้นมีค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 49 ถึงร้อยละ 65 ของน้ำหนักตะกอนแห้ง ซึ่งค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมของแต่ละตัวอย่างจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมสำหรับหล่อเป็นก้อนแข็งในการทดลองที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างค่าการดูดซึมน้ำในตะกอนที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งกับค่าปริมาณน้ำในที่ตะกอนเหมาะสม จะพบว่าทั้งสองค่านั้นมีความแตกต่างกันน้อยมาก ทำให้สามารถนำค่าการดูดซึมน้ำในตะกอนที่มาใช้แทนค่าปริมาณน้ำในตะกอนได้

เพื่อให้ก้อนแข็งในการทดลองที่ 3 เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมของตะกอนแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมของตะกอนแต่ละประเภท

ตัวอย่างตะกอน	ปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสม (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ(ร้อยละ)
ฟอกหนัง	49	51.23
รถยนต์	62	66.25
แบตเตอรี่	65	64.01
รีดเหล็ก	5	7.63
จอภาพ	74	70.67
สารกึ่งตัวนำ	55	48.03

4.3 ผลการศึกษาการทดสอบกำลังรับแรงอัดและการทดสอบการสกัดสาร สำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท

จากการศึกษาการทำเสถียรตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ ด้วยการหล่อเป็นก้อนแข็ง โดยเริ่มจากทำการหล่อก้อนตัวอย่างในอัตราส่วนตะกอนอบแห้งต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1 แล้วทำการเพิ่มอัตราส่วนตะกอนอบแห้งต่อซีเมนต์อัตราส่วนละ 0.25 และคงที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1 และในทุกอัตราส่วนมีการเพิ่มค่าปริมาณน้ำในตะกอนที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 กำหนดระยะเวลาบ่มก้อนตัวอย่าง 7 วัน แล้วจึงนำก้อนตัวอย่างที่ได้มาทดสอบหาค่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และคุณสมบัติของน้ำสกัด ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

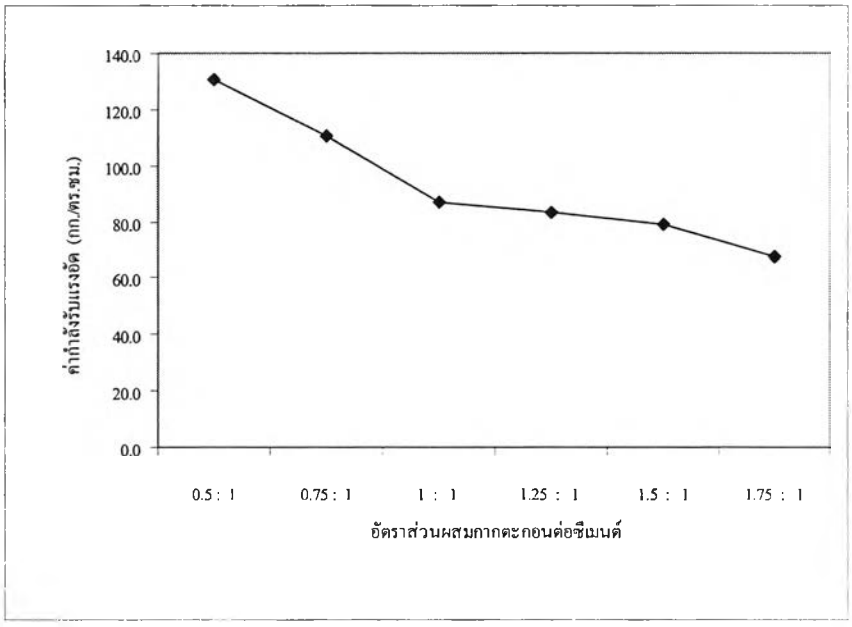
4.3.1 กำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1633-84 ของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 7 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดของตะกอนที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.12

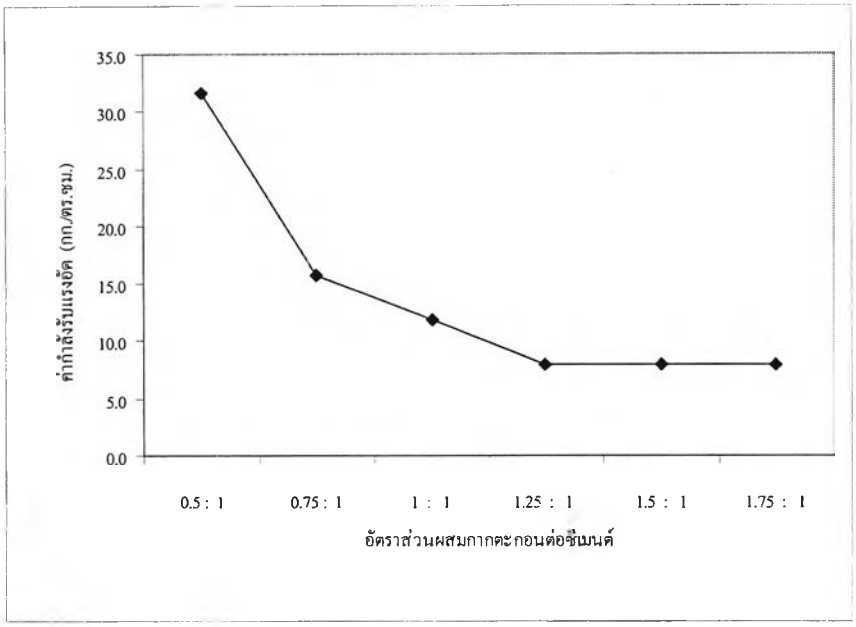
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์

ตัวอย่างตะกอน	กำลังรับแรงอัด(กก./ตร.ซม.)					
	อัตราส่วนผสมตะกอน/ซีเมนต์					
	0.5:1	0.75:1	1:1	1.25:1	1.5:1	1.75:1
ฟอกหนัง	130.4	110.6	86.9	83.0	79.0	67.2
รถยนต์	31.6	15.8	11.9	7.9	7.9	7.9
แบตเตอรี่	173.8	134.3	63.2	43.5	39.5	39.5
รีดเหล็ก	63.2	43.5	31.6	23.7	23.7	19.8
จอภาพ	94.8	43.5	27.7	19.8	11.9	7.9
สารกึ่งตัวนำ	138.3	98.8	83.0	51.4	35.6	31.6

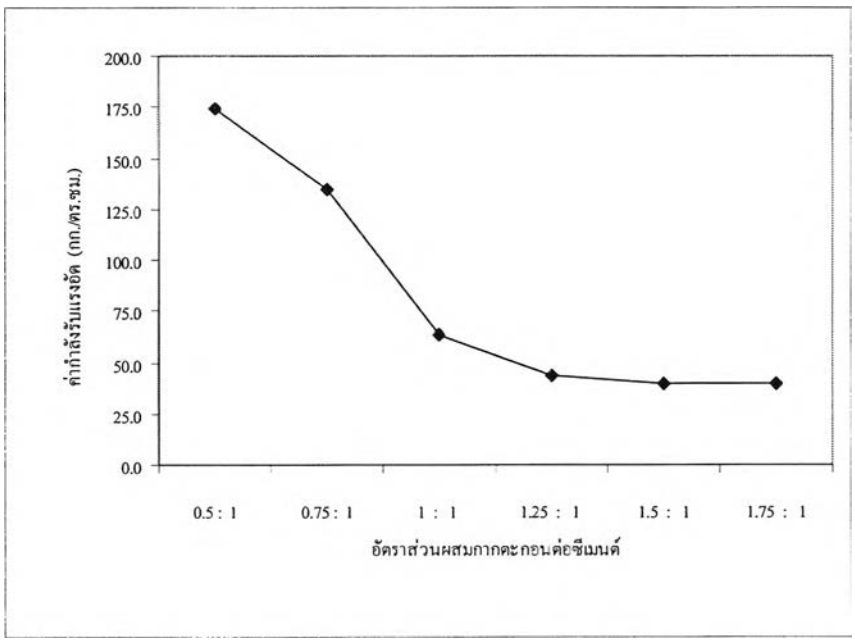
(มาตรฐานกำลังรับแรงอัด $\geq$ 3.5 กก./ตร.ซม.)



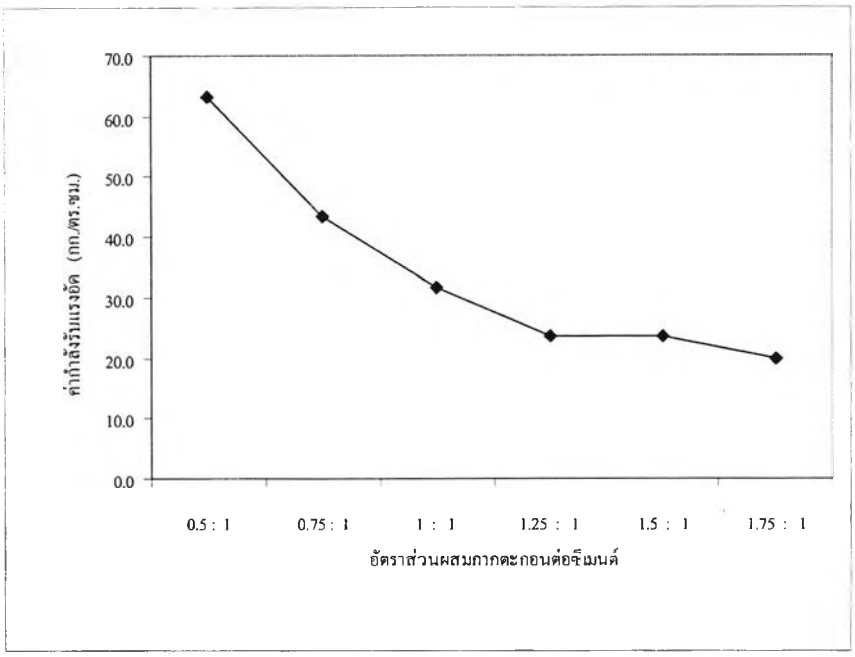
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนัง



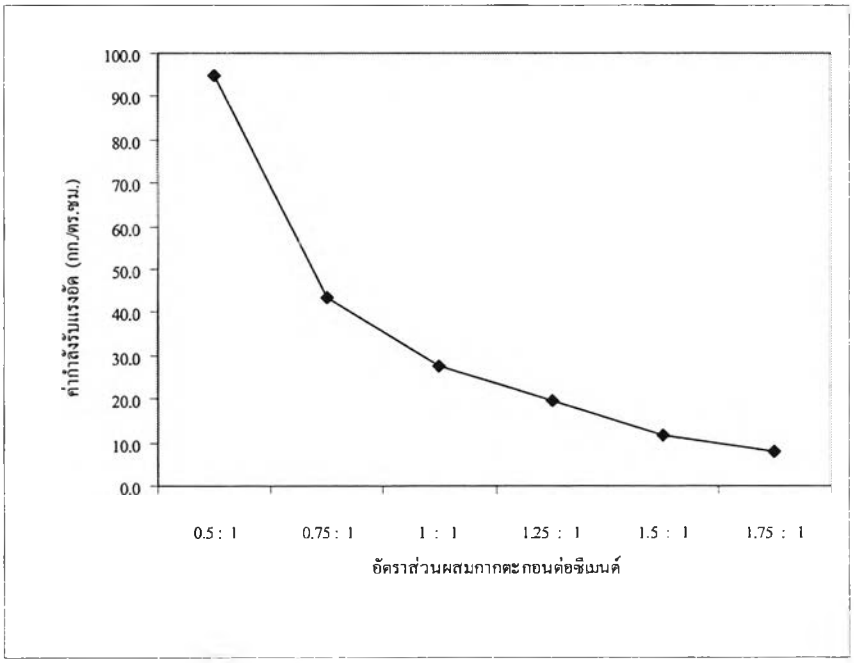
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์



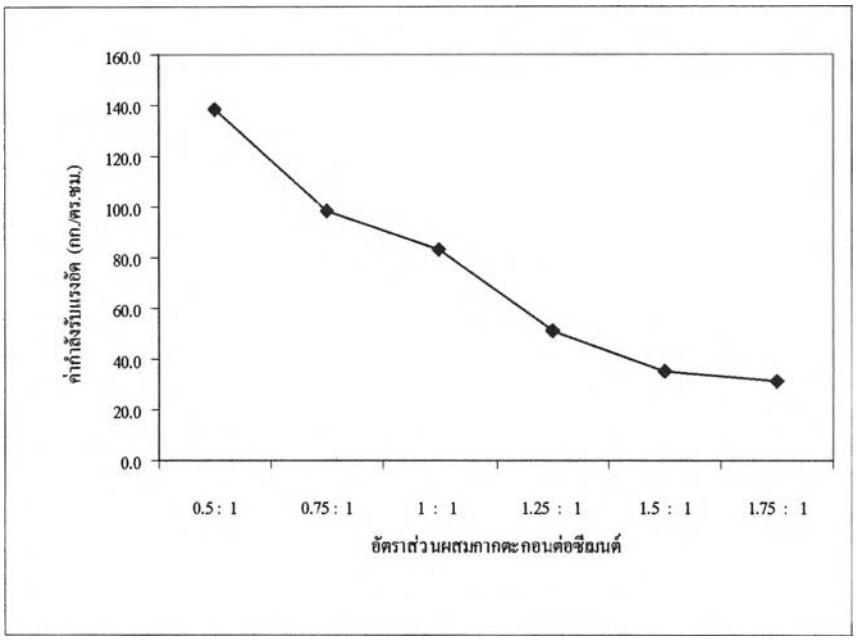
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่



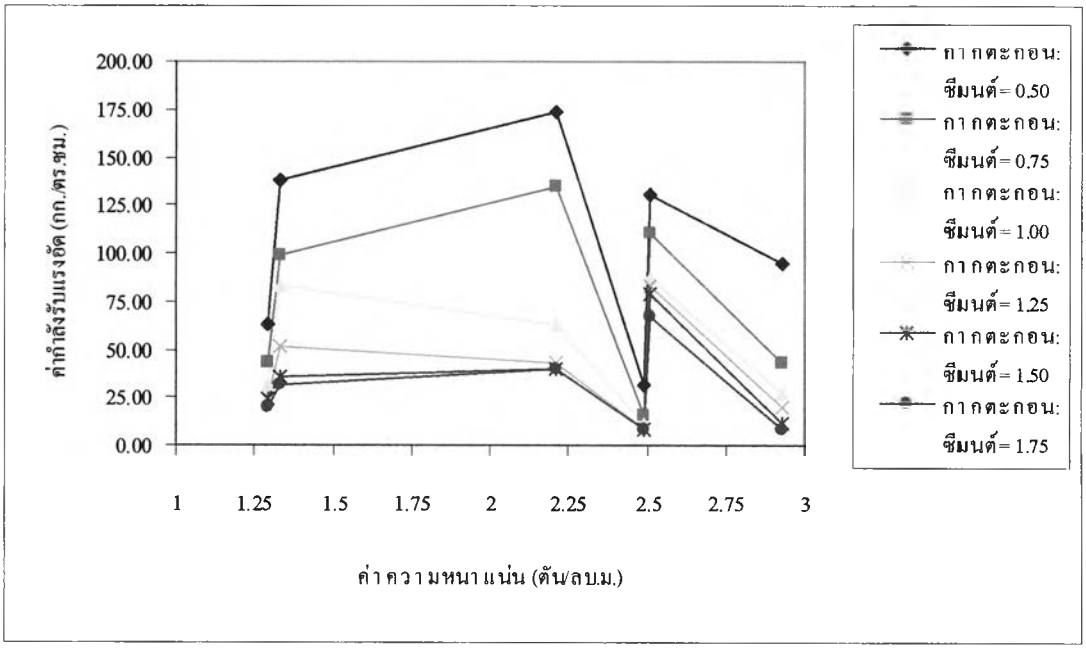
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมรีดเหล็ก



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและค่าความหนาแน่นของตะกอนทั้งหกประเภท ในการทดลองเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดสำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท

จากผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตะกอนทุกประเภทนั้นผ่านมาตรฐานที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 ในทุกอัตราส่วน โดยตะกอนแต่ละประเภทจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ ปริมาณตะกอนแต่ละประเภทที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงในอัตราที่ไม่เท่ากัน ตะกอนที่มีการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงอัดมากที่สุดได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ และตะกอนที่มีการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงอัดน้อยที่สุดได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง ส่วนตะกอนอื่นมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับแรงอัดในอัตราที่ใกล้เคียงกัน ตะกอนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ และตะกอนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำที่สุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ ตะกอนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.75 ได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง และตะกอนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำที่สุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.75 ได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์และผลิตจอภาพ

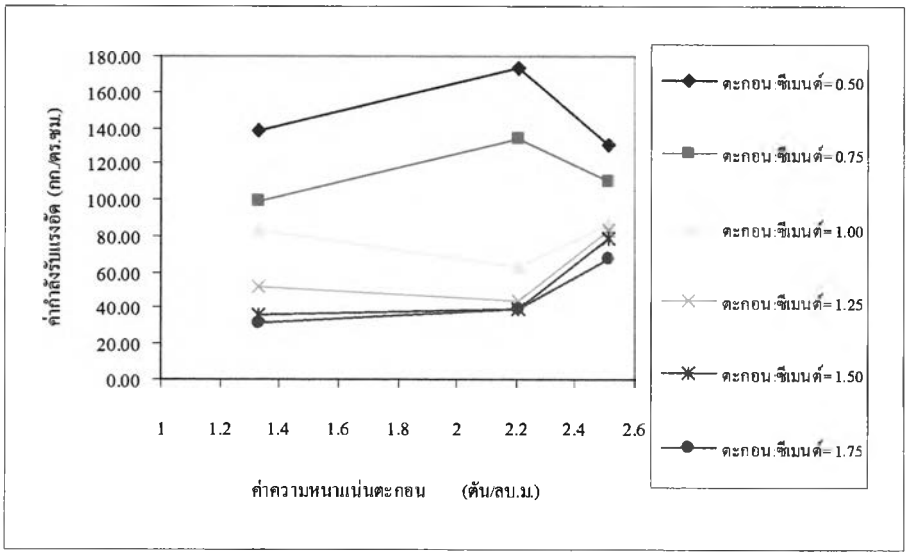
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.12 ซึ่งเป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของทั้งหกตัวอย่างตะกอน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่สมบูรณ์ของซีเมนต์จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงมาก แต่ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งจะลดลงเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในก้อนแข็งถูกรบกวนด้วยปัจจัยต่างๆ จากตะกอน เช่น สารอินทรีย์ และเกลือชนิดต่างๆ ทั้งที่มาจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมหรือจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ทำให้เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนตะกอนในก้อนแข็งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ในก้อนแข็งเกิดขึ้นช้าลง ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งลดลง

รูปที่ 4.13 เป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของตะกอนแต่ละประเภท ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของตะกอนทั้งหกประเภท อย่างไรก็ดีหากนำตะกอนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุด 3 ตัวอย่างได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ ประกอบรถยนต์และรีดเหล็กออกจากรูป จะพบว่ารูปที่ได้นั้นมีแนวโน้มที่ค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นตามค่าของความหนาแน่นของตะกอน และเมื่อทำการวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในตะกอนทั้ง 6 ตัวอย่างจะพบว่าตะกอนทั้ง 3 ตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ทำการคัดออกมีค่าปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าตะกอนที่เหลือมาก ดังนั้นการพิจารณาอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์สำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งอุตสาหกรรมจากค่าความ

หนาแน่นของตะกอนนั้นจะต้องมีการพิจารณาประเภทอุตสาหกรรม ที่มาของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย รวมถึงชนิดและปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในตะกอนด้วย

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมต่างๆ

ตัวอย่างตะกอน	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (ร้อยละ) ของน้ำหนักตะกอนอบแห้ง	ความหนาแน่นของตะกอน (ตัน/ลบ.ม.)
ฟอกหนัง	0.41	2.51
รถยนต์	6.91	2.49
แบตเตอรี่	1.55	2.21
รีดเหล็ก	66.67	1.29
จอภาพ	7.28	2.93
สารกึ่งตัวนำ	3.30	1.33



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและค่าความหนาแน่นของตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ ผลิตแบตเตอรี่ และฟอกหนัง ในการทดลองเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดสำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนแต่ละประเภท

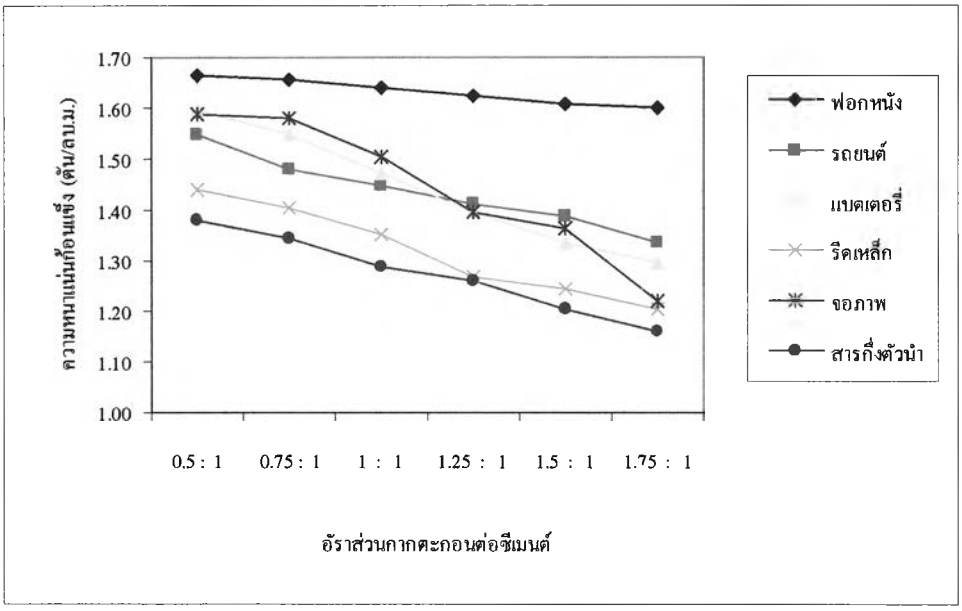
4.3.2 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง

จากการหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.15 ถึง รูปที่ 4.16

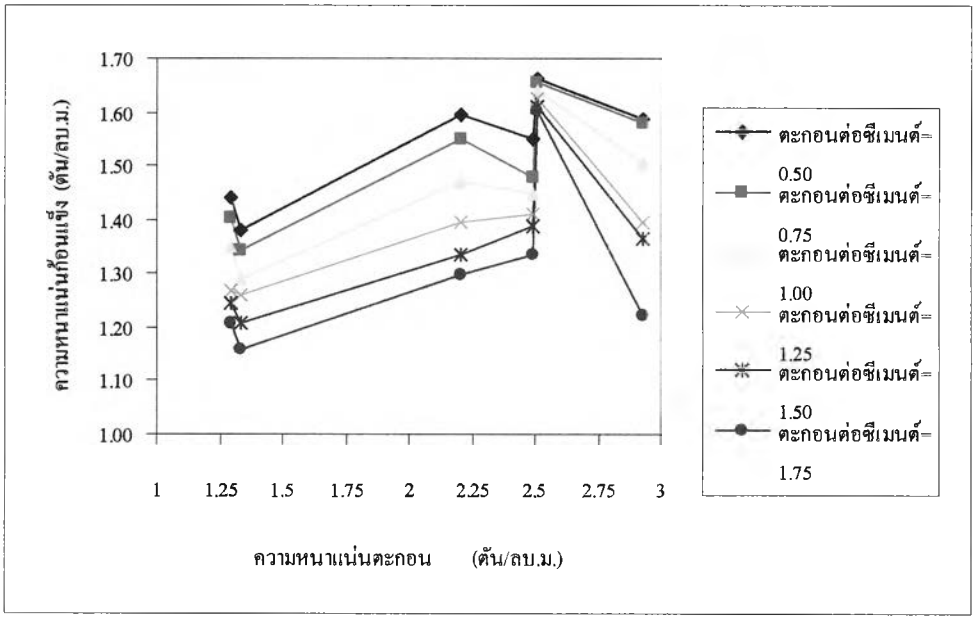
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์

ตัวอย่างตะกอน	ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)						มาตรฐาน (ตัน/ลบ.ม.)
	อัตราส่วนผสมตะกอน/ซีเมนต์						
	0.5:1	0.75:1	1:1	1.25:1	1.5:1	1.75:1	
ฟอกหนัง	1.66	1.66	1.64	1.62	1.61	1.60	1.15
รถยนต์	1.55	1.48	1.45	1.41	1.39	1.33	1.15
แบตเตอรี่	1.59	1.55	1.47	1.40	1.33	1.30	1.15
รีดเหล็ก	1.44	1.40	1.35	1.27	1.24	1.21	1.15
จอภาพ	1.59	1.58	1.50	1.40	1.37	1.22	1.15
สารกึ่งตัวนำ	1.38	1.34	1.29	1.26	1.21	1.16	1.15

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อนแข็งที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและอัตราส่วนผสมระหว่างตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างทั้งหกประเภท



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อนแข็งที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันและความหนาแน่นของตะกอน

จากผลความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง พบว่าค่าความหนาแน่นของก้อนแข็งตะกอนทุกประเภทนั้นผ่านมาตรฐานที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 ในทุกอัตราส่วนโดยตะกอนแต่ละประเภทจะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ 0.5 และมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ ตะกอนที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และ 1.75 ได้แก่ตะกอนจากอุตสาหกรรมจากอุตสาหกกรมฟอกหนัง และตะกอนที่ให้ค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และ 1.75 ได้แก่ตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของก้อนแข็งและอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์จะทำให้ค่าความหนาแน่นของก้อนแข็งที่ได้มีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณซีเมนต์ที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าตะกอน

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 เป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของก้อนแข็งและความหนาแน่นของตะกอน พบว่าไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของก้อนแข็งและความความหนาแน่นของตะกอนได้ อย่างไรก็ดีหากไม่พิจารณาตะกอน 3 ประเภทได้แก่ ตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตจอภาพ ประกอบรถยนต์และรีดเหล็ก จะพบว่ารูปที่ได้นั้นมีแนวโน้มที่ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามค่าของความหนาแน่นของตะกอน ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.3.1 ซึ่งเป็นการยืนยันว่าการพิจารณาอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์สำหรับการหล่อเป็นก้อนแข็งอุตสาหกรรมจากค่าความหนาแน่นของตะกอนนั้นการพิจารณาประเภทอุตสาหกรรม กระบวนการบำบัดของเสีย รวมถึงชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในตะกอนเป็นสิ่งจำเป็น

4.3.3 คุณสมบัติของน้ำสกัด

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยวิธีการสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption spectrophotometer (AAs) เนื่องจากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของตัวอย่างตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าโลหะหนักที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานจะเป็นโครเมียม และตะกั่ว (ค่ามาตรฐาน; โครเมียม ตะกั่ว $\leq$ 5 มก./ล.) ดังนั้นในขั้นตอนการทดลองนี้พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์มีดังนี้คือ พีเอช ปริมาณโครเมียมและตะกั่วในน้ำสกัด

จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำสกัดจากก้อนตัวอย่างที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง โดยใช้อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ต่างๆ ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.9 ถึง 4.15 และรูปที่4.17 ถึง 4.23

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

ตัวอย่างตะกอน	ค่าพีเอช					
	อัตราส่วนผสมตะกอน/ซีเมนต์					
	0.5:1	0.75:1	1:1	1.25:1	1.5:1	1.75:1
ฟอกหนัง	12.27	12.24	12.22	12.20	12.15	12.14
รถยนต์	12.47	12.27	12.17	12.03	11.83	11.73
แบตเตอรี่	11.88	11.80	11.78	11.63	11.52	11.44
รีดเหล็ก	12.34	12.34	12.30	12.30	12.30	12.25
จอภาพ	11.96	11.84	11.70	11.59	11.42	11.02
สารกึ่งตัวนำ	12.58	12.55	12.51	12.51	12.50	12.53

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด(มก./ล.)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
0.5:1	nd	3.15	nd
0.75:1	nd	4.31	nd
1:1	nd	5.14	nd
1.25:1	nd	6.98	nd
1.5:1	nd	7.37	nd
1.75:1	nd	8.72	nd
1:0	nd	15.33	nd
มาตรฐาน	$\leq$ 1	$\leq$ 5	$\leq$ 5

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด(มก./ล.)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
0.5:1	nd	0.04	0.72
0.75:1	nd	0.03	0.84
1:1	nd	0.03	0.82
1.25:1	Nd	0.05	1.24
1.5:1	nd	0.08	1.33
1.75:1	nd	0.32	3.96
1:0	nd	0.40	5.67
มาตรฐาน	≤ 1	≤ 5	≤ 5

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด(มก./ล.)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
0.5:1	nd	nd	1.19
0.75:1	nd	nd	1.68
1:1	nd	nd	1.73
1.25:1	nd	nd	1.76
1.5:1	nd	nd	2.12
1.75:1	nd	nd	4.96
1:0	nd	nd	8.97
มาตรฐาน	≤ 1	≤ 5	≤ 5

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมรีดเหล็กที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

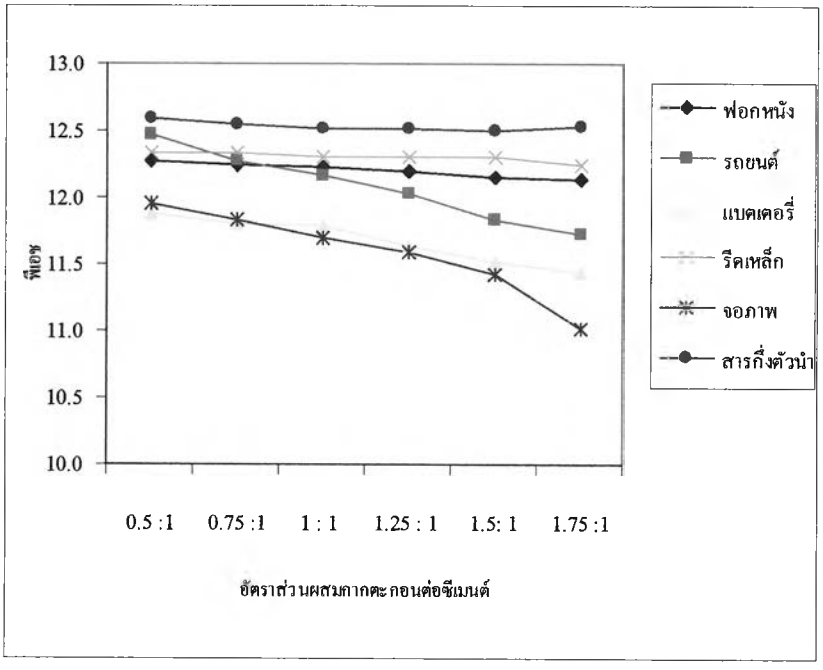
อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด(มก./ล.)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
0.5:1	nd	0.78	0.07
0.75:1	nd	0.86	0.09
1:1	nd	1.03	0.26
1.25:1	nd	1.56	0.23
1.5:1	nd	1.88	0.29
1.75:1	nd	1.92	0.36
1:0	nd	7.11	0.40
มาตรฐาน	≤ 1	≤ 5	≤ 5

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

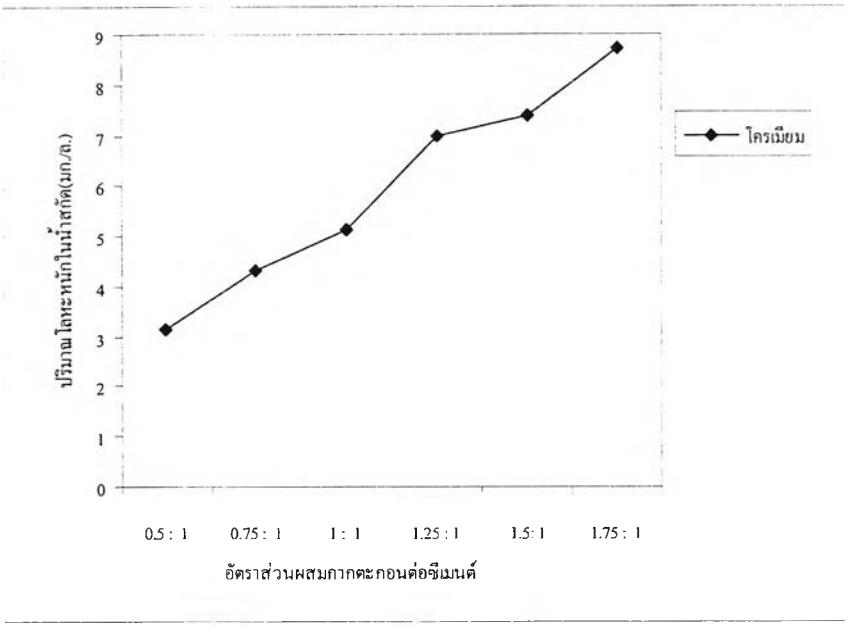
อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด(มก./ล.)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
0.5:1	nd	nd	0.14
0.75:1	nd	nd	0.33
1:1	nd	nd	0.39
1.25:1	nd	nd	0.58
1.5:1	nd	nd	0.76
1.75:1	nd	nd	1.12
1:0	nd	nd	5.31
มาตรฐาน	≤ 1	≤ 5	≤ 5

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

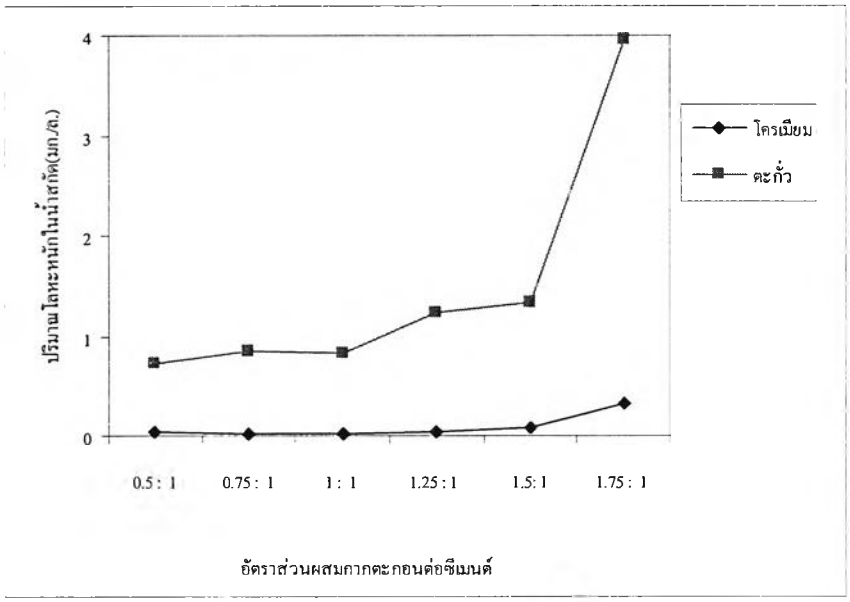
อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์	ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด(มก./ล.)		
	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
0.5:1	nd	nd	1.42
0.75:1	nd	nd	1.85
1:1	nd	nd	2.11
1.25:1	nd	nd	2.67
1.5:1	nd	nd	2.50
1.75:1	nd	nd	3.30
1:0	nd	nd	6.52
มาตรฐาน	≤ 1	≤ 5	≤ 5



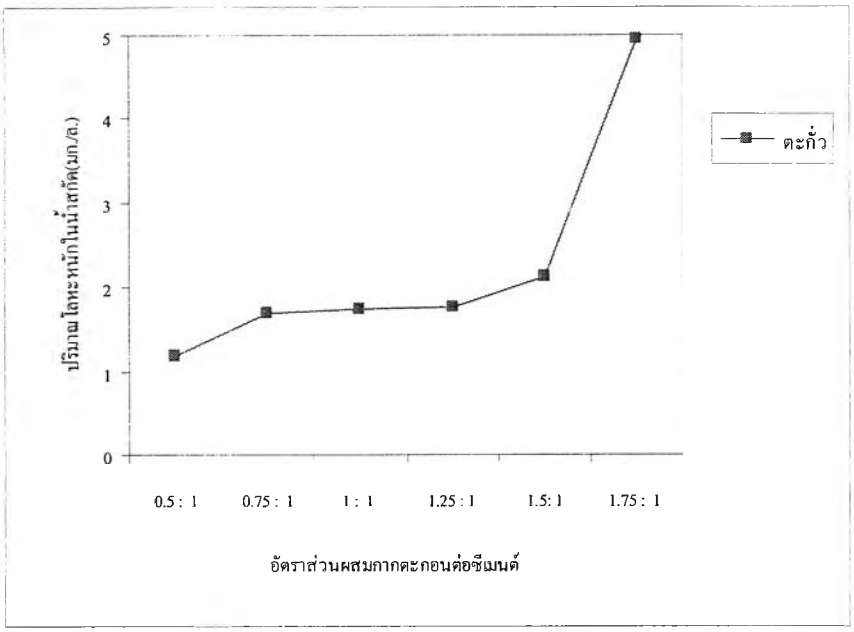
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำสกัดตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์



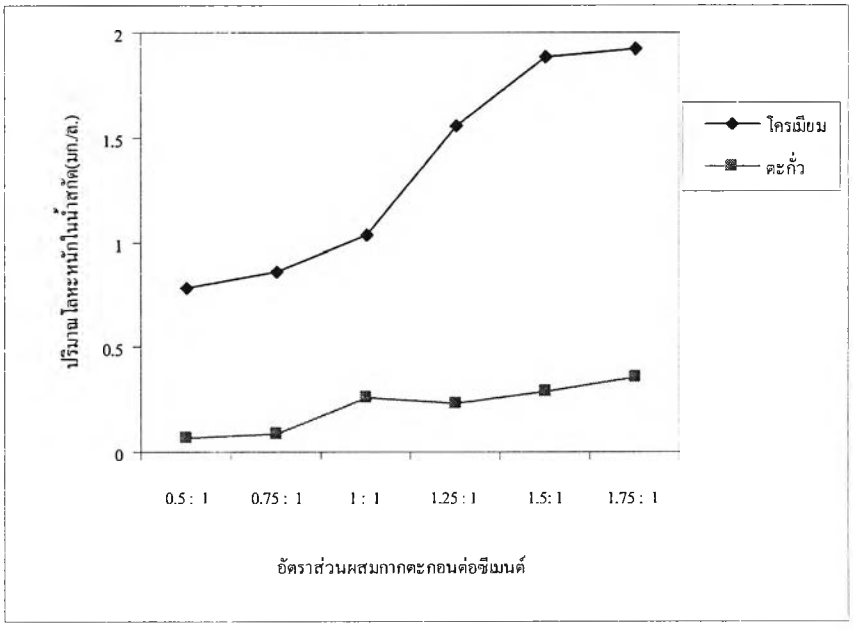
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนังที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง



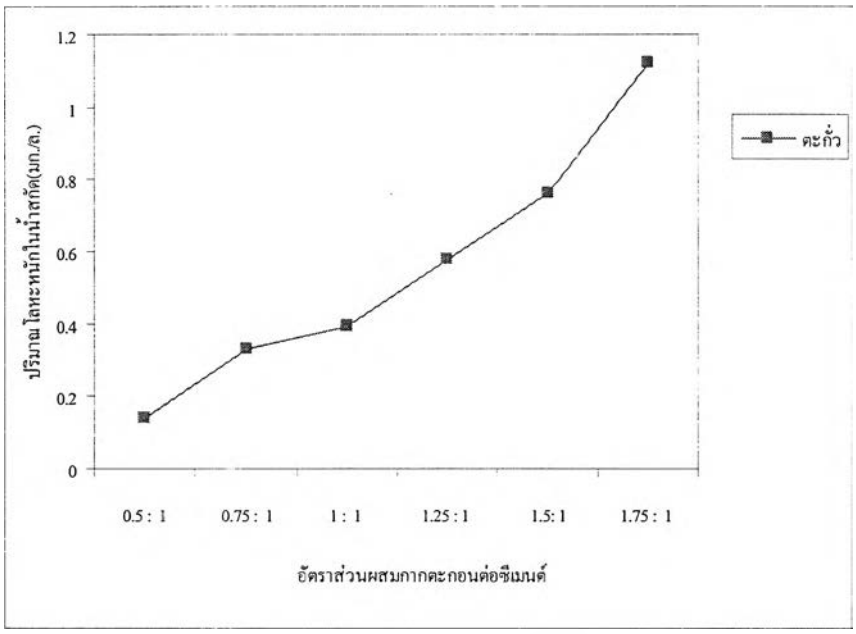
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง



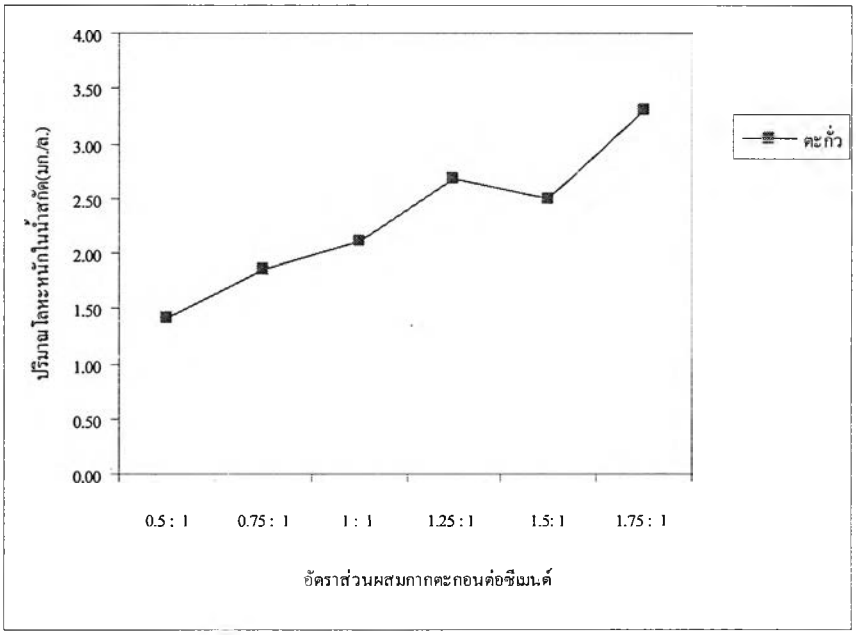
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตรีดเหล็กที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตจอภาพที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็ง

4.3.3.1 พีเอช

ตัวอย่างตะกอนที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งและผ่านการบ่มตัว 7 วัน วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัดด้วยวิธีการสกัดสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) พบว่าค่าพีเอชของน้ำสกัดของทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 11.02 ถึง 12.58 ซึ่งแสดงว่าน้ำสกัดมีสมบัติเป็นด่าง เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ และเมื่ออัตราส่วนผสมของตะกอนต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น ค่าพีเอชของน้ำสกัดจะมีค่าลดลง เนื่องจากการละลายที่ลดลงของไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

4.3.3.2 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัด

ตัวอย่างตะกอนจากอุตสาหกรรมทั้งหกประเภท พบว่ามีน้ำสกัดอย่างตะกอนจำนวน 2 ประเภทที่พบโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์มากกว่า 1 ชนิด ได้แก่ ตะกอนอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์และอุตสาหกรรมรีดเหล็กซึ่งพบทั้งโครเมียมและตะกั่ว ส่วนตะกอนที่เหลือนั้นพบโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์เพียง 1 ชนิด ได้แก่ ตะกอนอุตสาหกรรมฟอกหนังที่พบโครเมียม ส่วนตะกอนอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ จอภาพ และสารกึ่งตัวนำนั้นจะพบตะกั่ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก พบว่าปริมาณโลหะหนักของตะกอนทั้งหมดจะมีค่าโลหะหนักต่ำสุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1 และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่าโลหะหนักในตะกอนสูงสุดที่อัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.75:1 ปริมาณโลหะหนักของตะกอนบางประเภทไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) โดยน้ำสกัดของโครเมียมและตะกั่วได้กำหนดมาตรฐานน้ำสกัดไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. ซึ่งในน้ำสกัดของตะกอนจากอุตสาหกรรมฟอกหนังผ่านมาตรฐานที่กำหนดที่อัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1 และ 0.75:1 เท่านั้น ส่วนน้ำสกัดของตะกอนตัวอื่นนั้นผ่านมาตรฐานกำหนดในทุกอัตราส่วนผสม

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.22 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดและอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ของตัวอย่างตะกอนทั้งหก ซึ่ง พบว่าค่าปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์เนื่องจากน้ำสกัดมีค่าพีเอชสูง ทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปที่ละลายออกมาได้น้อย และเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ส่งผลให้สัดส่วนซีเมนต์ในก้อนแข็งลดลง ทำให้น้ำสกัดมีค่าพีเอชลดลง โลหะหนักอยู่ในรูปที่ละลายได้เพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับยึดกับซีเมนต์ลดลง

4.3.3.3 ปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ลดลงเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำสกัด พบว่าตะกอนแต่ละประเภทจะมีปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นแตกต่างกัน รวมถึงอัตราส่วนผสมตะกอนต่อซีเมนต์ที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่าง ส่งผลให้โลหะหนักในน้ำสกัดของแต่ละตัวอย่างมีปริมาณไม่เท่ากัน ทำให้ต้องมีการคำนวณร้อยละของปริมาณโลหะหนักที่ลดลงโดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนด ผลการคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่ลดลงเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของก้อนแข็งที่ผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน จากการทดลองหล่อเป็นก้อนแข็งตะกอนที่อัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่างตะกอน	ชนิดของโลหะหนัก	การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดที่อัตราส่วนต่างๆ(ร้อยละ)						
		1:0	0.5:1	0.75:1	1:1	1.25:1	1.5:1	1.75:1
ฟอกหนัง	โครเมียม	0.00	37.00	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00
	ตะกั่ว	-	-	-	-	-	-	-
รถยนต์	โครเมียม	92.00	99.20	99.40	99.40	99.00	98.40	93.60
	ตะกั่ว	0.00	85.60	83.20	83.60	75.20	73.40	20.80
แบตเตอรี่	โครเมียม	-	-	-	-	-	-	-
	ตะกั่ว	0.00	76.20	66.40	65.40	64.80	57.60	0.80
รีดเหล็ก	โครเมียม	0.00	84.40	82.80	79.40	68.80	62.40	61.60
	ตะกั่ว	92.00	98.60	98.20	94.80	95.40	94.20	92.80
จอภาพ	โครเมียม	-	-	-	-	-	-	-
	ตะกั่ว	0.00	97.20	93.40	92.20	88.40	84.80	77.60
สารกึ่งตัวนำ	โครเมียม	-	-	-	-	-	-	-
	ตะกั่ว	0.00	71.67	63.00	57.80	46.67	41.33	34.07

- ไม่สามารถคำนวณค่าได้เนื่องจากไม่สามารถวัดปริมาณโลหะหนักได้

จากการทดสอบการสกัดตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการหล่อเป็นก้อนแข็งทั้งหกประเภท พบว่าค่าการลดปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของตัวอย่างตะกอนมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ สาเหตุเนื่องจากการแข็งตัวของซีเมนต์จะช่วยยึดจับโลหะหนักไม่ให้ไหลออกมา เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนตะกอนต่อซีเมนต์ทำให้สัดส่วนซีเมนต์ในก้อนแข็งลดลง ทำให้ความสามารถในการจับยึดกับโลหะหนักลดลง ส่วนในตะกอนแต่ประเภทที่ให้ค่าประสิทธิภาพไม่เท่ากันนั้นมาจากชนิดของเกลือโลหะในตะกอนแต่ละประเภทแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ตลอดจนในตะกอนที่มีโลหะหนัก 2 ชนิดอยู่ด้วยกัน มีปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดแตกต่างกัน ทำให้การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดของแต่ละตัวอย่างตะกอนมีค่าไม่เท่ากัน