บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

5.1 ลักษณะสมบัติของตะกอนโลหะหนัก

ก. ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

1. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียซีโอดี

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียซีโอดี ซึ่งเก็บตัวอย่างจาก ห้องปฏิบัติการน้ำเสีย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามตารางที่ 5.1 พบว่ามีค่าพีเอช ค่อนข้างต่ำ สภาพนำไฟฟ้ามีค่า 140 มิลลิซีเมนต์/ซม. ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท โครเมียม และเหล็ก มีค่า 907 510 และ 661 มก./ล. ส่วนปริมาณโลหะหนักอื่นๆได้แก่ ตะกั่ว อาร์ซีนิค และแคดเมี่ยม มีค่าต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการศึกษาของ นฤมิต(2538) และอนุวัฒน์(2539) พบว่าปริมาณปรอท โครเมียม และ เหล็ก มีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของนฤมิต(2538) แต่มีค่าต่ำกว่าผลการศึกษาของอนุวัฒน์(2539) ค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำเสียซีโอดีจากแหล่งต่างกัน และช่วงเวลาเก็บรวบรวมต่างกัน จึงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

2. องค์ประกอบของตะกอนโลหะหนัก

ตะกอนโลหะหนักที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เตรียมจากน้ำเสียซีโอดี โดยการตกผลึกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก. พบว่าน้ำเสียซีโอดี 1 ลิตร จะทำให้เกิดตะกอนโลหะหนักมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแห้ง 197 กรัม ปริมาณโลหะหนักในตะกอนที่ตรวจวิเคราะห์ประกอบด้วยปรอท โครเมียม และเหล็ก มีค่า 3.78 4.40 และ 2.90 มก./ก. ส่วนโลหะหนักอื่นๆได้แก่ อาร์ซีนิค แคดเมี่ยม และตะกั่ว ตรวจพบในปริมาณที่ต่ำมาก (ตารางที่ 5.2) เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการศึกษาของนฤมิต(2538) อนุวัฒน์(2539) และดวงสมร (2540) พบว่าโครเมียม และเหล็ก มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปรอทมีค่าใกล้เคียงกับนฤมิต(2538) แต่มีค่าน้อยกว่าของอนุวัฒน์(2539) และ ดวงสมร(2540).

ตารางที่ 5.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียซีโอดีที่ตรวจวัด เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ลักษณะสมบัติ	ความเข้มข้น (มก./ล.)		
	ค่าที่วัดได้*	นฤมิต (2538)	อนุวัฒน์ (2539)
พีเอช	< 1	0	< 1
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	140	38.2	44.6
ปรอท (Hg)	907	703	2,562
โครเมียม (Cr)	510	492	675
เหล็ก (Fe)	661	540	1,083
ตะกั่ว (Pb)	ND.	2.7	ND.
อาร์ซีนิค (As)	ND.	ND.	ND.
แคดเมี่ยม (Cd)	ND.	ND.	ND.

ND. = มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้แน่นอน

* = ค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 5.2 ลักษณะสมบัติของตะกอนโลหะหนักที่ตรวจวัดเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในตะกอน (มก./ก.)			
	ค่าที่วัดได้*	นฤมิต (2538)	อนุวัฒน์ (2539)	ดวงสมร (2540)
ปรอท (Hg)	3.78	4.31	9.93	9.68
โครเมียม (Cr)	4.40	4.15	3.91	1.79
เหล็ก (Fe)	2.90	5.00	4.59	3.59
ตะกั่ว (Pb)	ND.	0.35	ND.	ND.
อาร์ซีนิค (As)	ND.	ND.	ND.	ND.
แคดเมี่ยม (Cd)	ND.	ND.	ND.	ND.

ND. = มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้แน่นอน

* = ค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่าง

3. ทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนัก

การทดสอบการชะละลายสำหรับงานวิจัยนี้ถือตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำสกัดที่ได้จากการทดสอบการชะละลาย ดังแสดงในตาราง

ที่ 5.5 ซึ่งประกอบด้วย ค่าพีเอช 8.90 สภาพนำไฟฟ้า 68.50 มิลลิซีเมนต์/ซม. ความเป็นด่าง 339 ม.ก./ล. ของหินปูน ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท โครเมียม และเหล็ก มีค่า 6.67 7.25 และ 0.32 ม.ก./ล. ส่วน ตะกั่ว อาร์ซีนิค และแคดเมี่ยมตรวจพบในปริมาณที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบผลกับเกณฑ์มาตรฐานสารพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว พบว่าปรอทและโครเมียมมีค่าสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้น ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีจึงจัดอยู่ในข่ายของสารมีพิษ ดังนั้นจึงต้องทำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้คงตัวโดยการทำให้เป็นก้อนต่อไป

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากโรงงานผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์แห่งหนึ่งในจังหวัด กรุงเทพฯ

1. องค์ประกอบของตะกอนโลหะหนัก

ลักษณะสมบัติของตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือเศษแก้ว และผงโลหะหนักสีขาวขุ่นผสมปนกัน เมื่อไปย่อยด้วยกรดไนตริกแล้วนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก ดังแสดงในตารางที่ 5.3 พบว่าตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 1 กรัมประกอบด้วยปรอท และเหล็กเท่ากับ 3.69 และ 21.00 มก./ก.ตามลำดับ ส่วนโลหะหนักอื่นๆเช่น โครเมียม ตะกั่ว อาร์ซีนิค และแคดเมี่ยม ตรวจพบในปริมาณที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการศึกษาของดวงสมร(2540) พบว่า ปรอท และเหล็กมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.3 ลักษณะสมบัติของตะกอนโลหะหนักที่ตรวจวัดเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในตะกอน (มก./ก.)	
	ค่าที่วัดได้*	ดวงสมร (2540)
ปรอท (Hg)	3.69	5.201
โครเมียม (Cr)	ND.	-
เหล็ก (Fe)	21.00	17.41
ตะกั่ว (Pb)	ND.	-
อาร์ซีนิค (As)	ND.	-
แคดเมี่ยม (Cd)	ND.	-

ND. = มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้แน่นอน

\- = ไม่ได้ระบุค่าไว้

* = ค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่าง

2. ทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนัก

ผลการวิเคราะห์การชะละลาย ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.5 พบว่า น้ำสกัดมีค่าพีเอชประมาณ 8.82 สภาพนำไฟฟ้า 0.562 มิลลิซีเมนต์/ซม. ความเป็นด่าง 148 ม.ก./ล.ของหินปูน มีค่าความเข้มข้นของปรอทและเหล็กเท่ากับ 3.07 และ 0.62 ม.ก./ล.ตามลำดับ ส่วนโลหะอื่นๆ เช่น โครเมียม ตะกั่ว อาร์ซีนิค และแคดเมียมถูกตรวจพบในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของปรอทที่ถูกชะละลาย ตามเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงต้องทำตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้คงตัวโดยการทำให้เป็นก้อนต่อไป

ค. ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่ใช้ในการทดลองนำมาจากโรงงานผลิตสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. องค์ประกอบของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว มีลักษณะเป็นเม็ดๆ ขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร เมื่อนำไปบดเป็นผง และย่อยด้วยกรดไนตริก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าปริมาณปนเปื้อนโลหะหนัก (ตารางที่ 5.4) สรุปได้ว่าซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักอันตราย และเมื่อตรวจสอบประเภทของแหล่งกำเนิดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว กับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) หมวด 2. เรื่อง สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดไม่จำเพาะประเภทหรือไม่จำเพาะชนิด (Non-specific source) และจากแหล่งกำเนิดจำเพาะประเภทหรือจำเพาะชนิด (Specific source) ไม่พบว่าแหล่งกำเนิดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเข้าข่ายดังกล่าว จึงไม่จัดว่าซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นของเสียอันตราย

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าการปนเปื้อนโลหะหนักของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในตะกอน (มก./ก.)*
ปรอท (Hg)	ND.
โครเมียม (Cr)	ND.
เหล็ก (Fe)	ND.
ตะกั่ว (Pb)	ND.
อาร์ซีนิค (As)	ND.
แคดเมียม (Cd)	ND.

ND. = มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้แน่นอน

* = ค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่าง

2. ทดสอบการชะละลายซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

ผลการวิเคราะห์การชะละลายซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 5.5 พบว่า น้ำสกัดมีค่าพีเอชประมาณ 8.54 สภาพนำไฟฟ้า 4.91 มิลลิซีเมนต์/ซม. ความเป็นด่าง 172 ม.ก./ล.ของหินปูน มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก เช่น ปรอท โครเมียม ตะกั่ว อาร์ซีนิค และแคดเมี่ยมถูกตรวจพบในปริมาณที่น้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าที่แน่นอนได้ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษจึงไม่จัดว่าเป็นของเสียอันตราย

ตารางที่ 5.5 ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายตะกอนโลหะหนักและซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

ลักษณะสมบัติ	ตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียซีโอดี*	กากหลอดฟลูออเรสเซนต์*	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว*	เกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษ
พีเอช	8.90	8.82	8.54	-
สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	68.50	0.562	4.91	-
ความเป็นด่าง (มก./ล. ของหินปูน)	339	148	172	-
ปรอท (มก./ล.)	6.67	3.07	ND.	> 0.2
โครเมียม (มก./ล.)	7.25	ND.	ND.	> 5.0
เหล็ก (มก./ล.)	0.32	0.62	ND.	-
ตะกั่ว (มก./ล.)	ND.	ND.	ND.	> 5.0
อาร์ซีนิค (มก./ล.)	ND.	ND.	ND.	> 5.0
แคดเมี่ยม (มก./ล.)	ND.	ND.	ND.	> 1.0

ND. = มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้แน่นอน

\- = ไม่ได้ระบุค่าไว้

* = ค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่าง

การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมของตะกอนปรอทซัลไฟด์

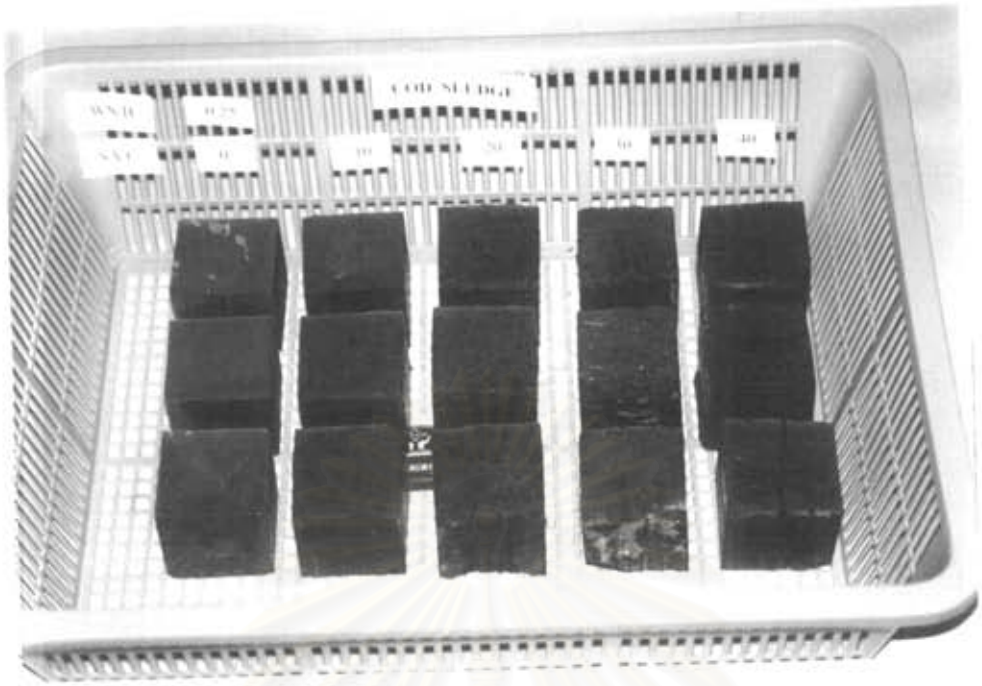
การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาการระงับฤทธิ์ของตะกอนโลหะหนักซึ่งได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีและกากหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยการผสมกับโซเดียมซัลไฟด์ก่อนจนเกิดตะกอนปรอทซัลไฟด์ โดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว โดยศึกษาผลของอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักและอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ระหว่าง 0 ถึง 40% ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน นำตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแล้วไปทดสอบลักษณะสมบัติทางกายภาพและทดสอบการชะละลาย และเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนและมาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการทดลองต่อไป ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

ก. ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 1 เป็นวัสดุประสาน

1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

เนื่องจากก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0ถึง40% (ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 1) อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาบ่ม 7 วัน พบว่าก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 % จะยังคงรูปก้อนลูกบาศก์ แต่จะพบว่าก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 % จะเกิดการแตกร้าว และรอยแตกร้าวจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าในตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีมีส่วนประกอบของสารประกอบซัลเฟต(SO_4^{2-}) ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของก้อนซีเมนต์ ดังนั้นจึงใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 5 ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้ดีผสมกับซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ ชนิด 1.



รูปที่ 5.1 แสดงก้อนตัวอย่างที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 1 ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 0 - 40 % และอัตราส่วนตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25

ก. ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 5 เป็นวัสดุประสาน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 5 เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสำหรับงานก่อสร้างซึ่งต้องการป้องกันการสึกกร่อนที่เกิดจากซัลเฟต ซัลเฟตในรูปของไอออนที่ก่อให้เกิดการสึกกร่อนของคอนกรีตนั้นจะอยู่ในรูปของแร่ธาตุที่มีสารประกอบซัลเฟอร์ หรือสารประกอบซัลเฟอร์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมีของแร่ธาตุซัลเฟอร์ หลักปฏิบัติโดยทั่วไปจะต้องให้มีการป้องกันการสึกกร่อนของคอนกรีตทันทีที่มีปริมาณซัลเฟตมากกว่า 300 มก./ล. และข้อกำหนดตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดระดับความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีผลต่อคอนกรีตไว้ดังนี้

ตารางที่ 5.6 แสดงความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-})ที่มีผลต่อคอนกรีต

ความเข้มข้น	SO_4^{2-} ในดิน (%)	SO_4^{2-} ในน้ำ (มก./ล.)
ไม่มีผล	0.00 - 0.10	0 - 150
อ่อน	0.10 - 0.20	150 - 1000
ปานกลาง	0.20 - 0.50	1000 - 2000
รุนแรง	> 0.50	> 2000

ที่มา : เอกสารของ บ. ซลประทานซีเมนต์ จก. (มหาชน)

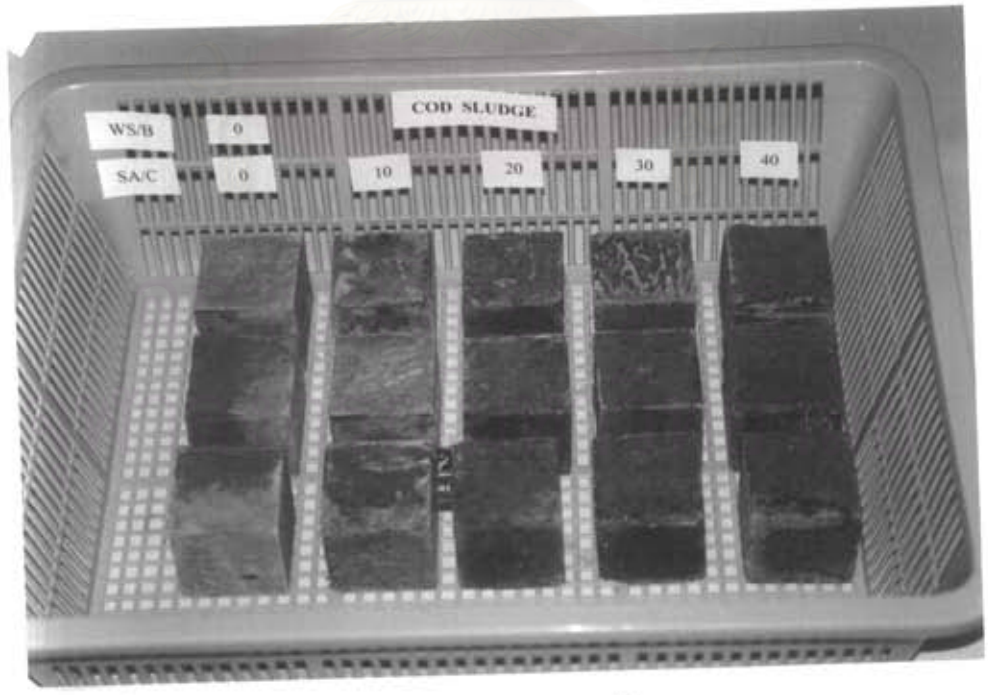
โดยความเข้มข้นชนิดอ่อน กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ชนิด 2 หรือ ชนิด 5 ความเข้มข้นปานกลาง – รุนแรง กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 5

1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

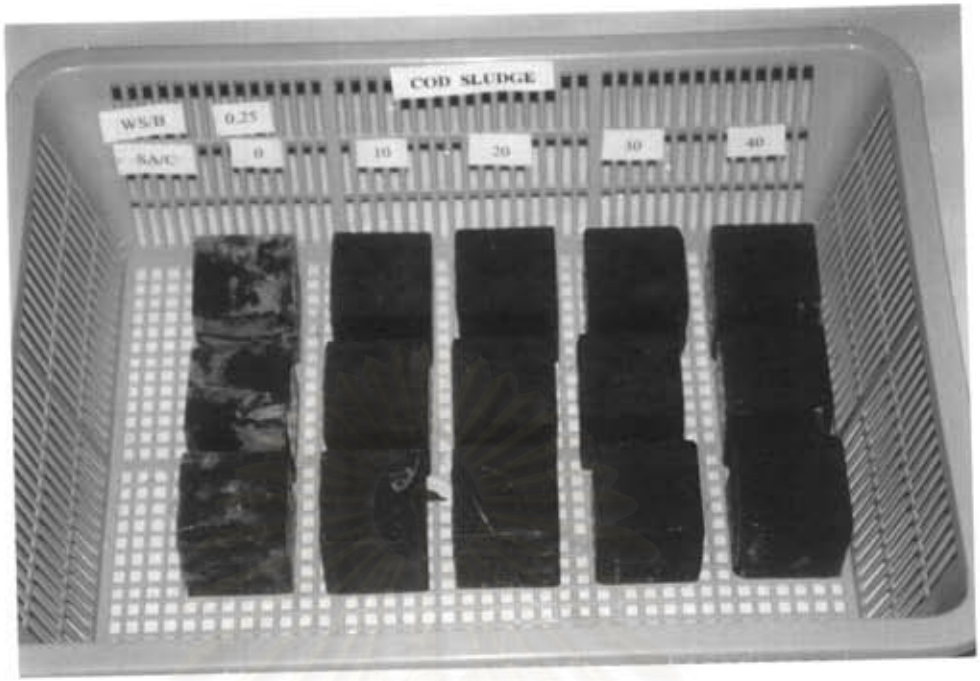
1.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.7 และกราฟรูปที่ 5.6 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันลดลงตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าสูงสุด 251 และลดลงเป็น 215 187 และ 144 ก.ก./ซม.^{2} เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

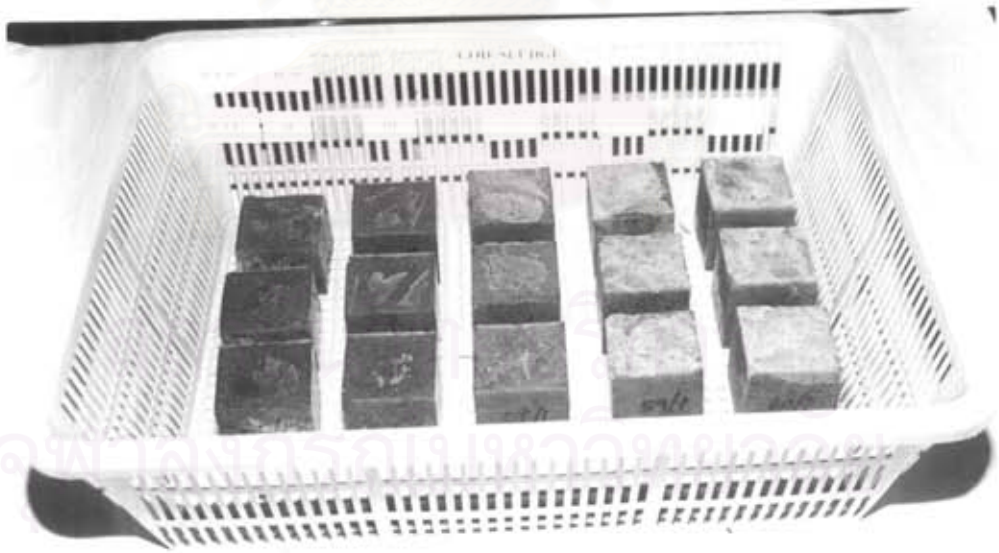
สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีลดลงตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง และค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในทุกๆอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 14 กก./ซม.^{2})



รูปที่ 5.2 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40% และตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0



รูปที่ 5.3 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40%
และตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25

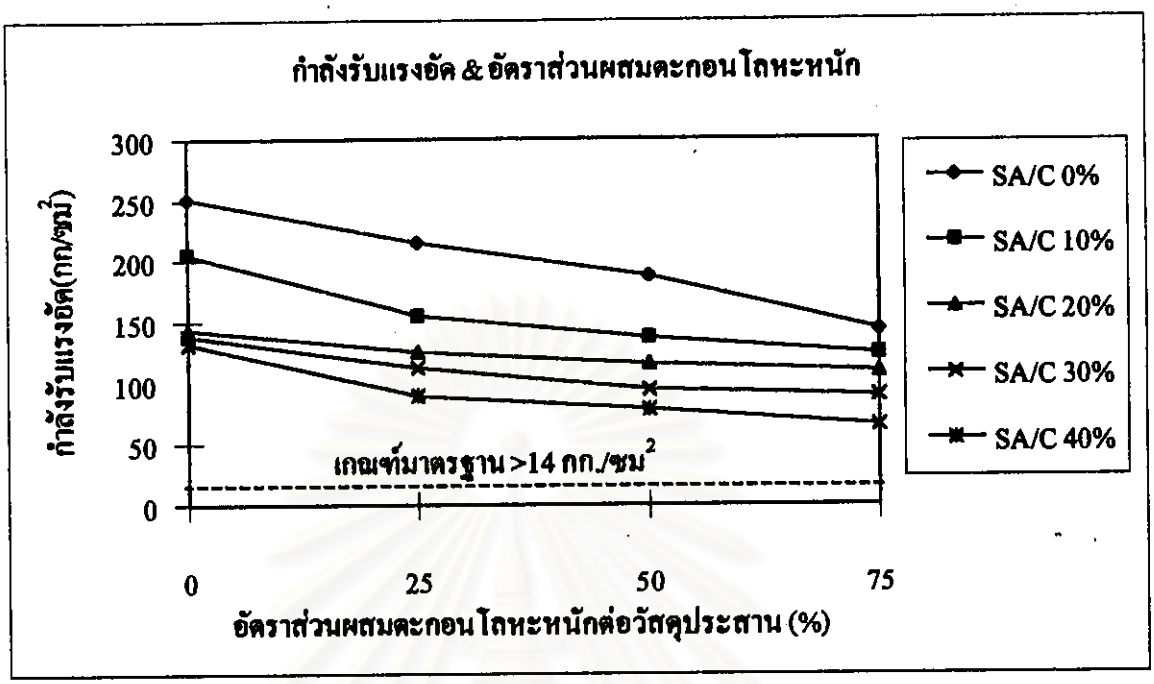


รูปที่ 5.4 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40%
และตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50

รูปที่ 5.5 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40% และตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	251	215	187	144
10	205	155	137	124
20	143	125	116	110
30	138	112	94	90
40	132	89	78	65
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 กก./ซม.^{2}				



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

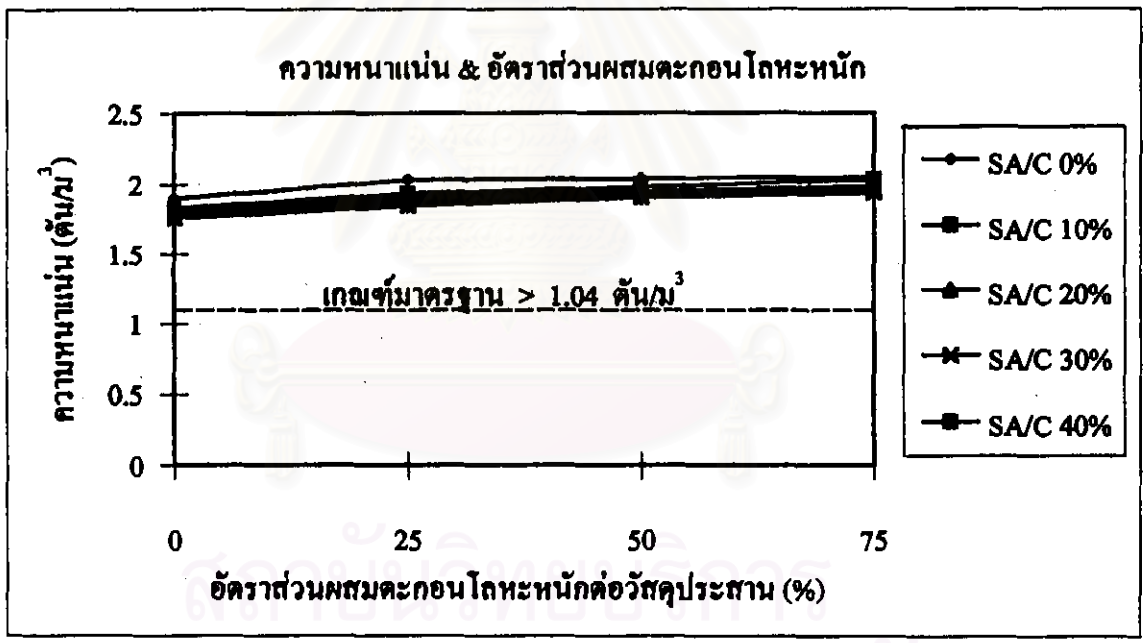
1.2 ความหนาแน่น

จากตารางที่ 5.8 และกราฟรูปที่ 5.7 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าความหนาแน่นมีค่า 1.90 และเพิ่มขึ้นเป็น 2.03 2.04 และ 2.05 ตัน/ม.^{3} เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าความหนาแน่นจะมีค่าลดลงเล็กน้อยตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ค่าความหนาแน่นลดลงเล็กน้อย และค่าความหนาแน่นจากการทดลองในทุกๆอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 1.04 ตัน/ม.^{3})

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม^3)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	1.90	2.03	2.04	2.05
10	1.83	1.93	1.98	2.03
20	1.80	1.91	1.95	1.99
30	1.77	1.88	1.92	1.96
40	1.76	1.85	1.91	1.94
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3				



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

2. ทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย แสดงผลดังนี้

2.1 พีเอช

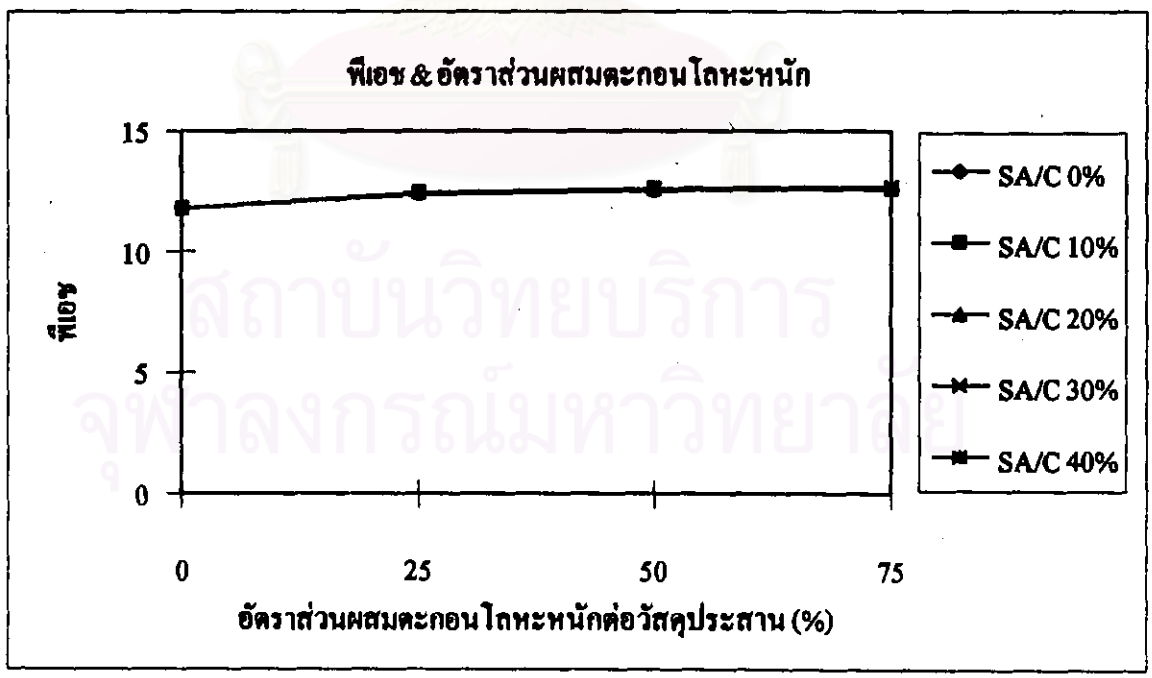
จากตารางที่ 5.9 และกราฟรูปที่ 5.8 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าพีเอชที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูน

ซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าพีเอชค่า 11.80 และเพิ่มขึ้นเป็น 12.41 12.54 และ 12.60 เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ 5.8 พบว่าวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าพีเอชจะมีค่าไม่แตกต่างจากค่าพีเอชที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 % ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ต่อปูนซีเมนต์ (%)	พีเอช			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	11.80	12.41	12.54	12.60
10	11.84	12.42	12.62	12.66
20	11.84	12.42	12.64	12.70
30	11.84	12.42	12.64	12.70
40	11.84	12.42	12.64	12.70



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของน้ำสกัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

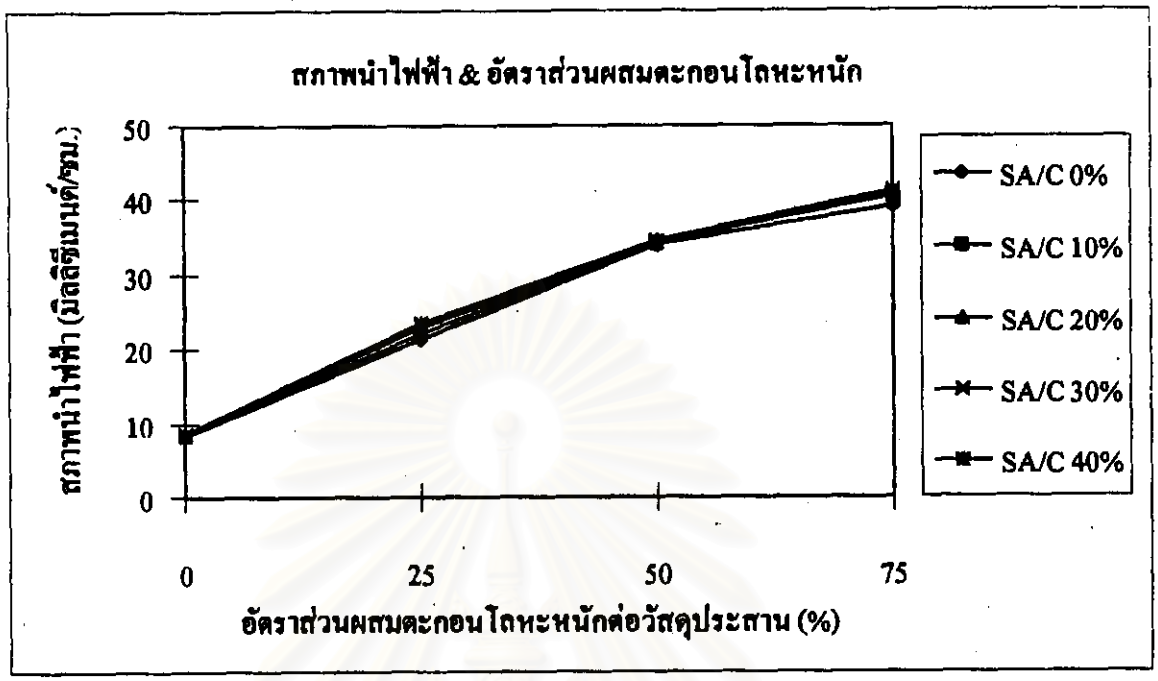
จากตารางที่ 5.10 และกราฟรูปที่ 5.9 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว =0%) ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่า 8.25 และเพิ่มขึ้นเป็น 21.50 33.93 และ 39.13 มิลลิซีเมนต์/ซม. เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ 5.9 พบว่าสำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าสภาพนำไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ลงในวัสดุประสานจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพนำไฟฟ้าเล็กน้อย

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	8.25	21.50	33.93	39.13
10	8.40	22.30	34.20	40.37
20	8.44	23.07	34.27	40.47
30	8.49	23.20	34.27	40.67
40	8.54	23.43	34.53	41.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก

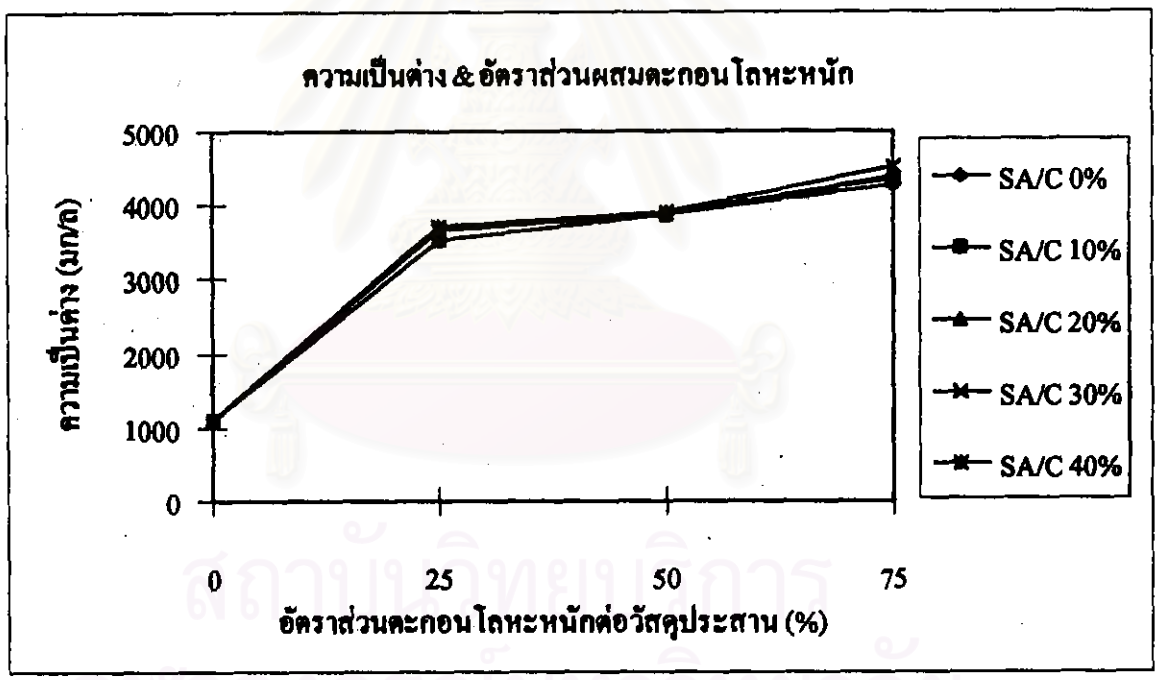
2.3 ความเป็นด่าง

จากตารางที่ 5.11 และกราฟรูปที่ 5.10 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าความเป็นด่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าความเป็นด่างมีค่า 1,100 และเพิ่มขึ้นเป็น 3,527 3,873 และ 4,287 มก./ล.ของหินปูน เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ 5.10 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าความเป็นด่างจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างเล็กน้อย

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ความเป็นด่าง (มก./ล.)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	1100	3527	3873	4287
10	1100	3533	3880	4347
20	1100	3660	3880	4393
30	1107	3667	3900	4507
40	1110	3713	3900	4507



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก

2.4 ปรอท

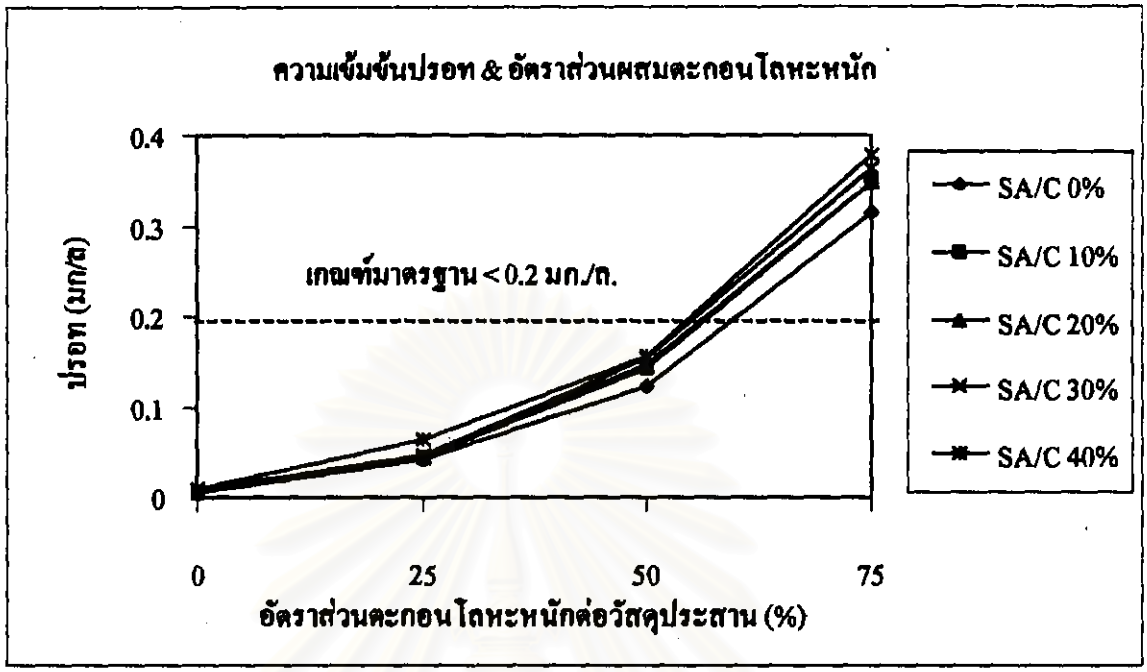
จากตารางที่ 5.12 และกราฟรูปที่ 5.11 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าปริมาณปรอทมีค่า 0.005 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.042 0.123 และ 0.314 มก./ล. เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน

0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท)

สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าปริมาณปรอทจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ค่าปริมาณปรอทมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 0.2 มก./ล. แล้วพบว่าที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 และ 0.50 ที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 10 20 30 และ40 % สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 10 20 30 และ 40% มีค่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดสูงเกินมาตรฐาน

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	0.005	0.042	0.123	0.314
10	0.005	0.044	0.143	0.347
20	0.009	0.045	0.148	0.347
30	0.009	0.047	0.153	0.363
40	0.009	0.063	0.157	0.379
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 มก./ล.				



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

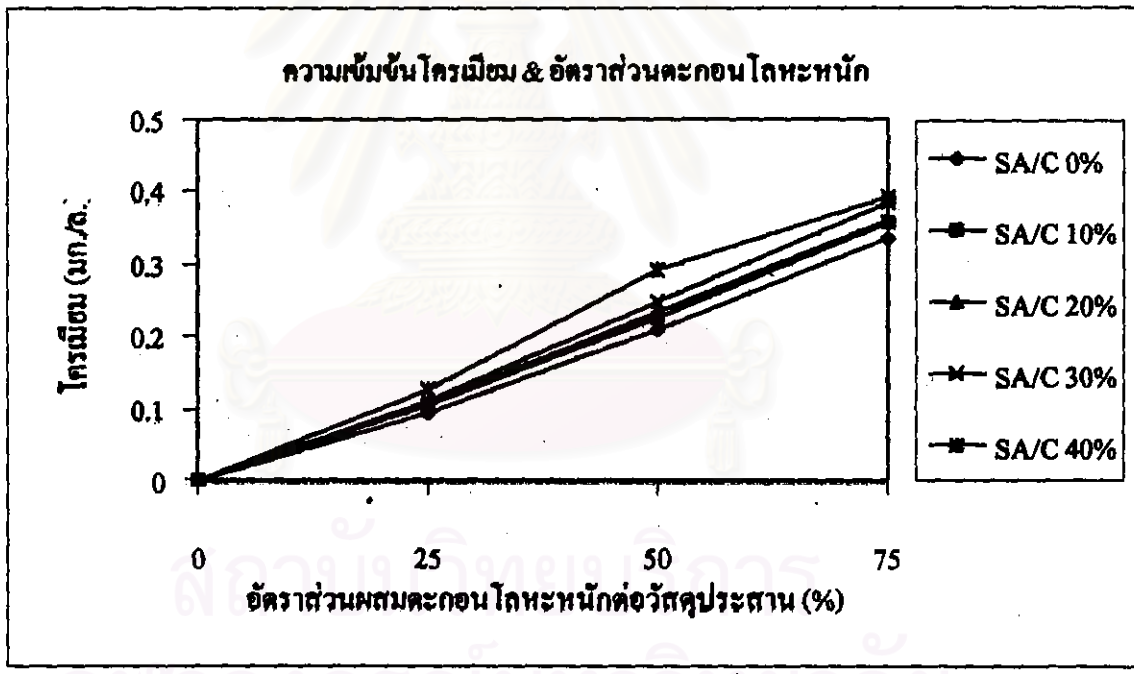
2.5 โครเมียม

จากตารางที่ 5.13 และกราฟรูปที่ 5.12 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ = 0%) ค่าปริมาณโครเมียมมีค่า 0 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.094 0.208 และ 0.336 มก./ล. เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของโครเมียม)

สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40% ค่าปริมาณโครเมียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่ม %ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ค่าปริมาณโครเมียมมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของโครเมียม) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 5.0 มก./ล. แล้วพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	โครเมียม (มก./ล.)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	0.000	0.094	0.208	0.336
10	0.000	0.104	0.225	0.358
20	0.000	0.108	0.234	0.360
30	0.000	0.110	0.248	0.384
40	0.000	0.126	0.290	0.394
เกณฑ์มาตรฐาน < 5.0 มก./ล.				



รูปที่5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมกับอัตราส่วนผสมโลหะหนัก

2.6 เหล็ก

จากตารางที่ 5.14 และกราฟรูปที่ 5.13 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าปริมาณเหล็กในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าปริมาณเหล็กมีค่า 0.176 และเพิ่ม

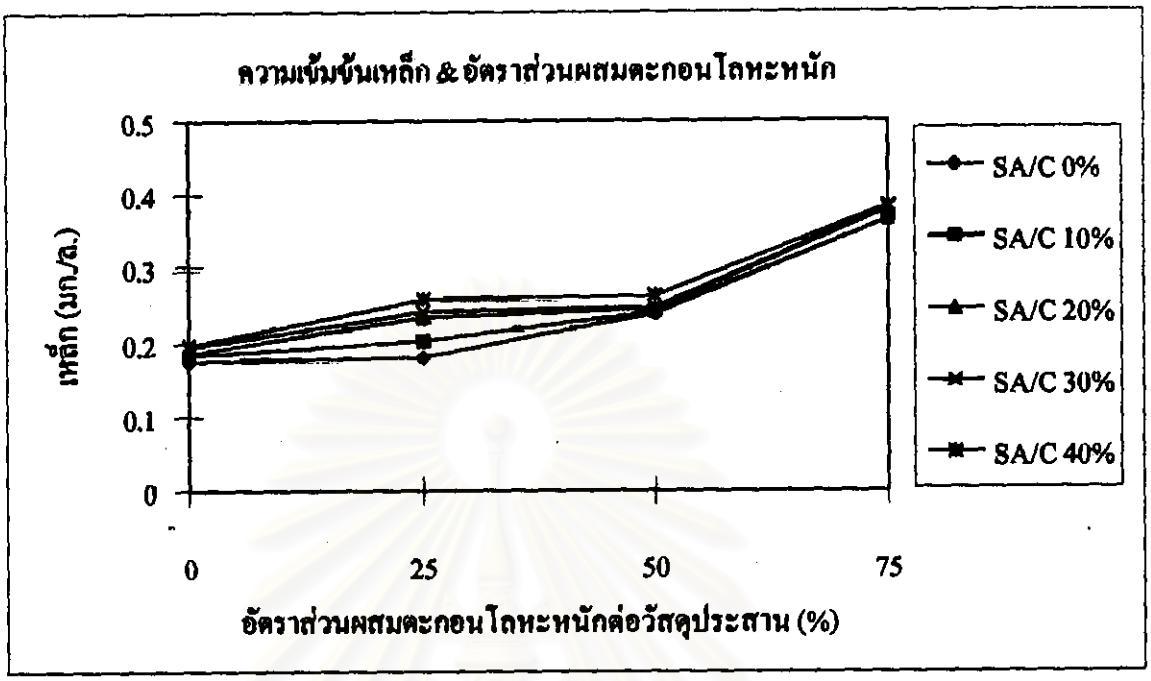
ขึ้นเป็น 0.181 0.240 และ 0.365 มก./ล. เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก)

จากกราฟรูปที่ 5.13 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 พบว่าการเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าปริมาณเหล็กสูงขึ้นเล็กน้อย และที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานอื่นๆพบว่าการเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ต่อปูนซีเมนต์จะไม่ทำให้ค่าปริมาณเหล็กเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ค่าปริมาณเหล็กมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเฉพาะที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของโครเมียม)

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (มก./ล.)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	0.176	0.181	0.240	0.365
10	0.183	0.201	0.243	0.366
20	0.185	0.234	0.245	0.379
30	0.193	0.243	0.246	0.381
40	0.195	0.259	0.264	0.385

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 1 เป็นวัสดุประสาน

1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

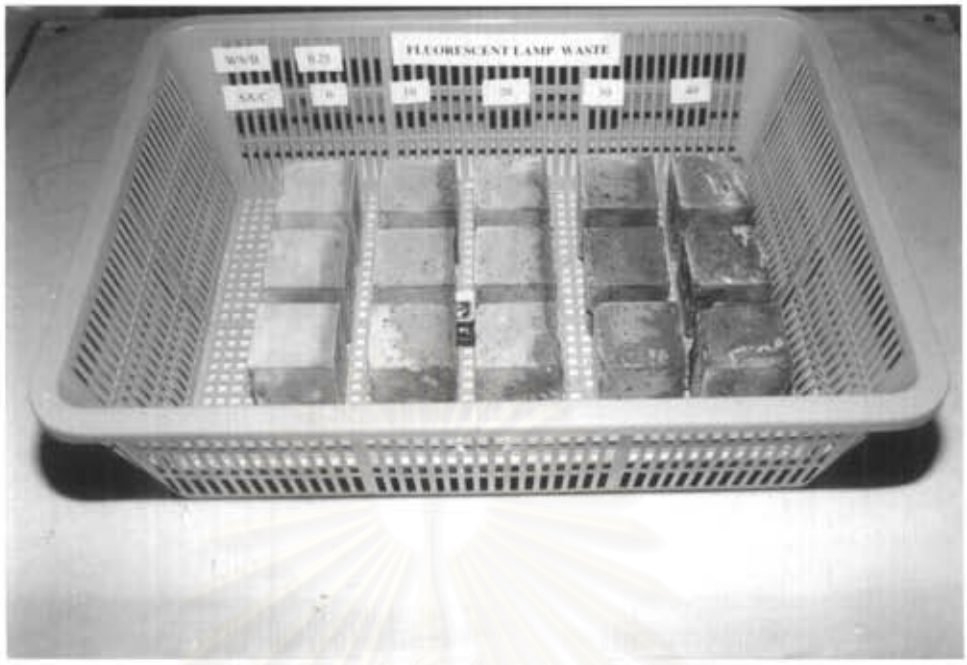
1.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.15 และกราฟรูปที่ 5.18 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันลดลงตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าสูงสุด 260 และลดลงเป็น 207 155 และ 137 ก.ก./ซม.^{2} เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

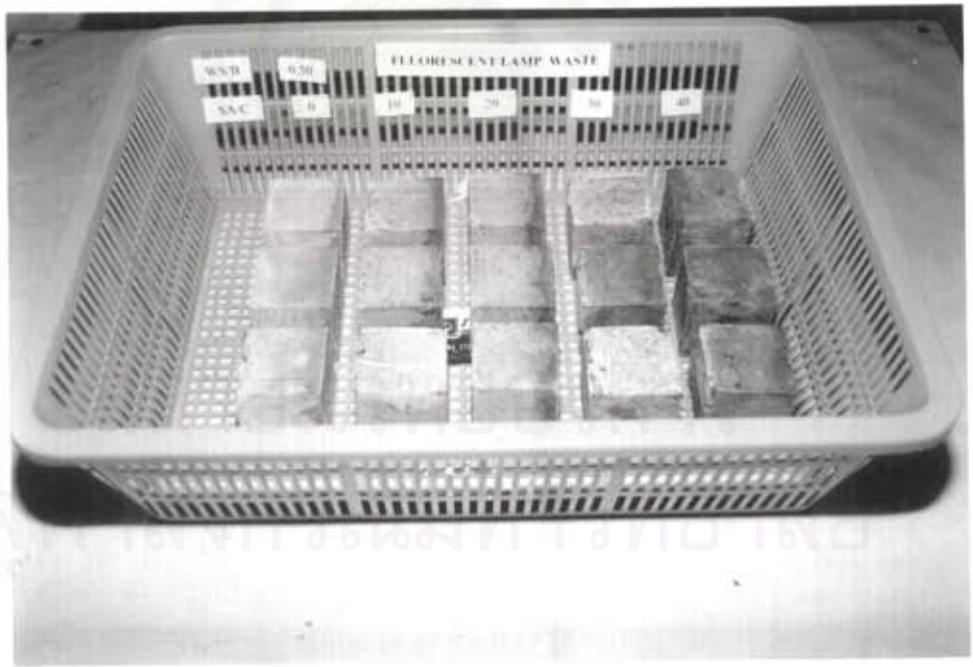
สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เช่นที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 เมื่อเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0 - 40 % ค่า

กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงจาก 207 เป็น 78 กก./ซม.^{2} ที่อัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 เมื่อเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0 - 40 % ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงจาก 155 เป็น 62 กก./ซม.^{2} และที่อัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 เมื่อเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0 - 40 % ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงจาก 137 เป็น 54 กก./ซม.^{2} ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงดูได้จากที่อัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 เมื่อเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ จาก 0- 40 % ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงจาก 260 เป็น 152 กก./ซม.^{2} แต่ทั้งนี้พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในทุกๆอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 14 ก.ก./ซม.^{2})

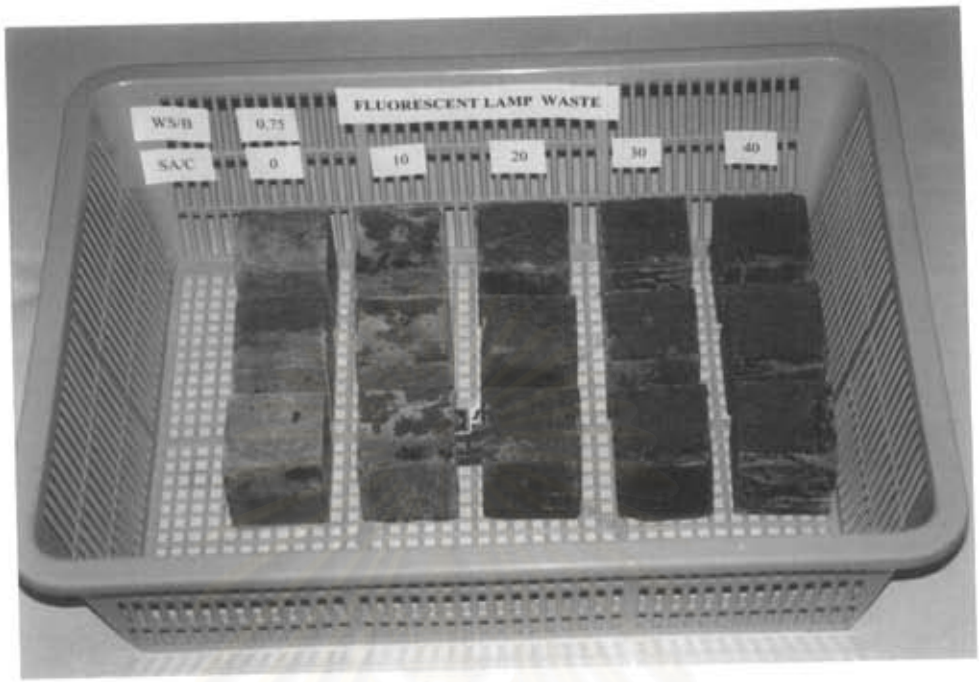
รูปที่ 5.14 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40% และตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0



รูปที่ 5.15 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40% และตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25



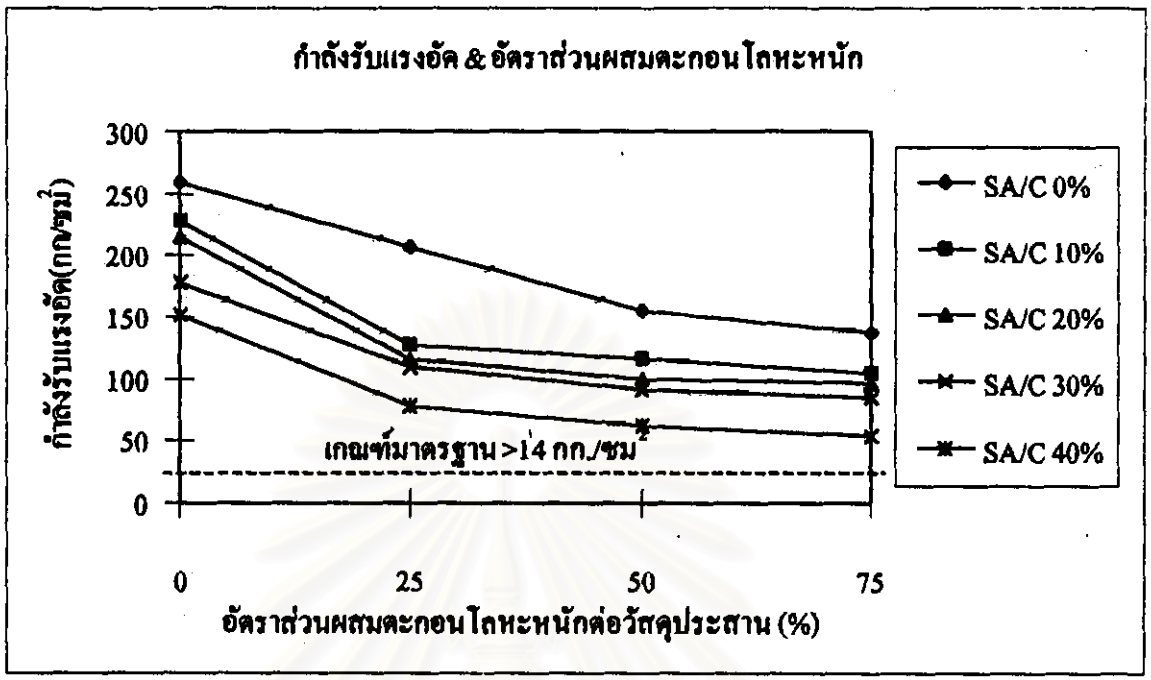
รูปที่ 5.16 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40% และตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50



รูปที่ 5.17 แสดงก้อนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 - 40% และตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	260	207	155	137
10	229	127	116	104
20	215	115	100	97
30	177	110	92	84
40	152	78	62	54
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 ก.ก./ซ.ม.^{2}				



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนัก

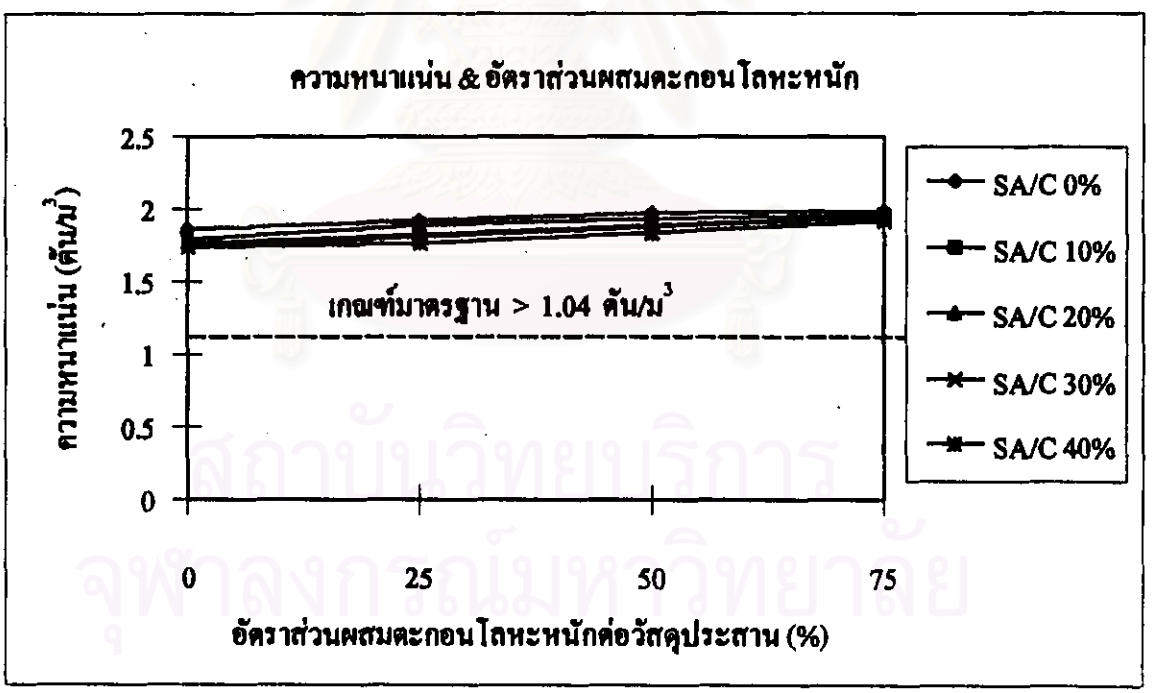
1.2 ความหนาแน่น

จากตารางที่ 5.16 และกราฟรูปที่ 5.19 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าความหนาแน่นมีค่า 1.86 และเพิ่มขึ้นเป็น 1.92 1.97 และ 1.98 ตัน/ม.^{3} เมื่อมีมีอัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าความหนาแน่นจะมีค่าลดลงเล็กน้อยตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์มีผลให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ทั้งนี้พบว่าค่าความหนาแน่นจากการทดลองในทุกๆอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 1.04 ตัน/ม.^{3})

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม^3)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	1.86	1.92	1.97	1.98
10	1.79	1.89	1.93	1.96
20	1.76	1.82	1.89	1.95
30	1.74	1.81	1.87	1.94
40	1.73	1.76	1.83	1.92
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3				



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

2. ทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย แสดงผลไว้ดังนี้

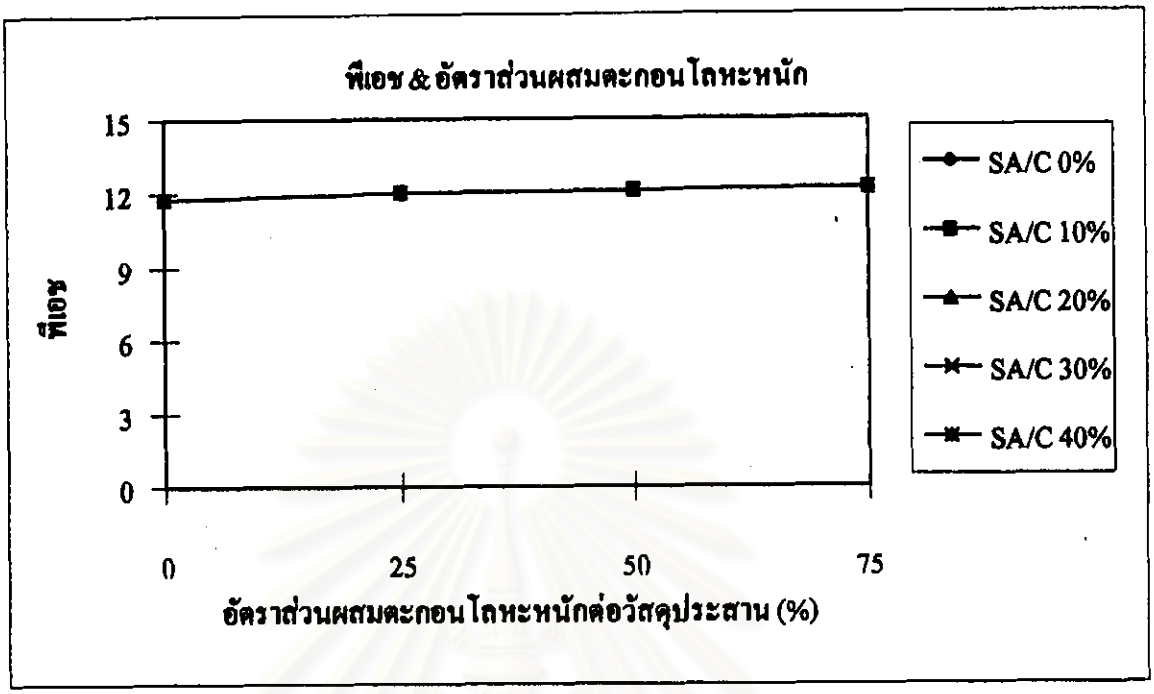
2.1 พีเอช

จากตารางที่ 5.17 และกราฟรูปที่ 5.20 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าพีเอชที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าพีเอชต่ำ 11.80 และเพิ่มขึ้นเป็น 12.06 12.11 และ 12.18 เมื่อมีมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ 5.20 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40% ค่าพีเอชจะมีค่าไม่แตกต่างจากค่าพีเอชที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชน้อยมาก

ตารางที่ 5.17 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	พีเอช			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	11.80	12.06	12.11	12.18
10	11.81	12.06	12.11	12.20
20	11.81	12.06	12.11	12.20
30	11.81	12.06	12.11	12.20
40	11.81	12.07	12.11	12.20



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

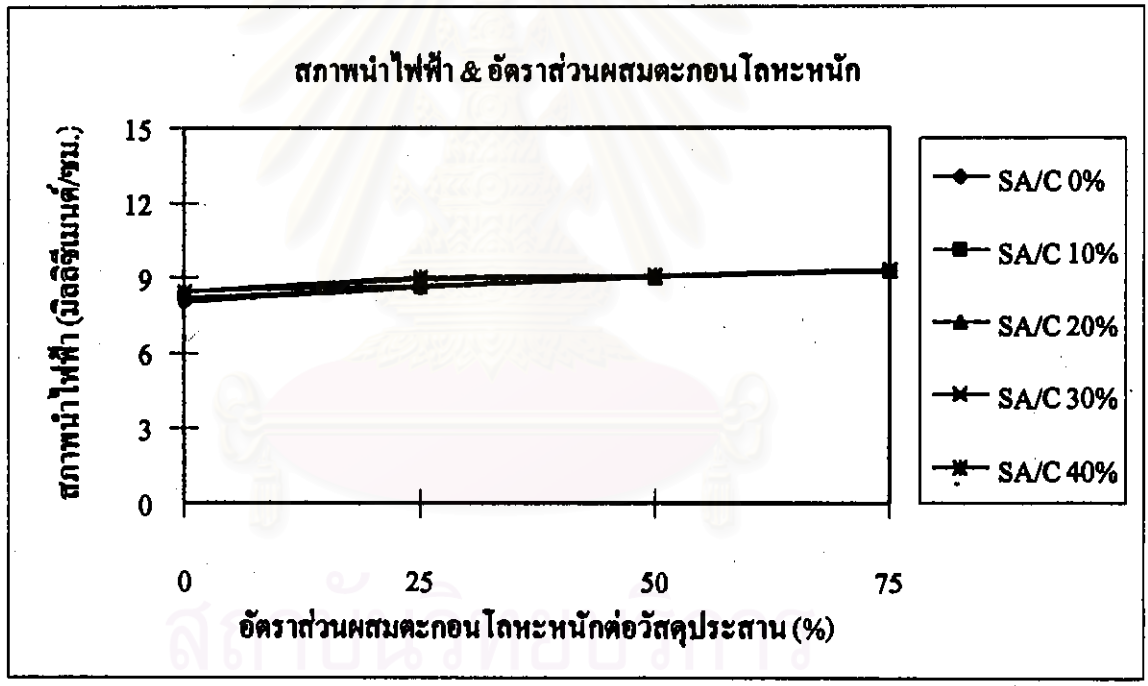
2.2 สภาพนำไฟฟ้า

จากตารางที่ 5.18 และกราฟรูปที่ 5.21 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่า 8.06 และเพิ่มขึ้นเป็น 8.64 9.07 และ 9.24 มิลลิซีเมนต์/ซม. เมื่อมีมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ 5.21 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าสภาพนำไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพนำไฟฟ้าน้อยมาก

ตารางที่ 5.18 แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.) อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	8.06	8.64	9.07	9.24
10	8.24	8.64	9.07	9.25
20	8.43	8.72	9.07	9.30
30	8.43	8.92	9.09	9.36
40	8.43	9.00	9.14	9.39



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้าและอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก

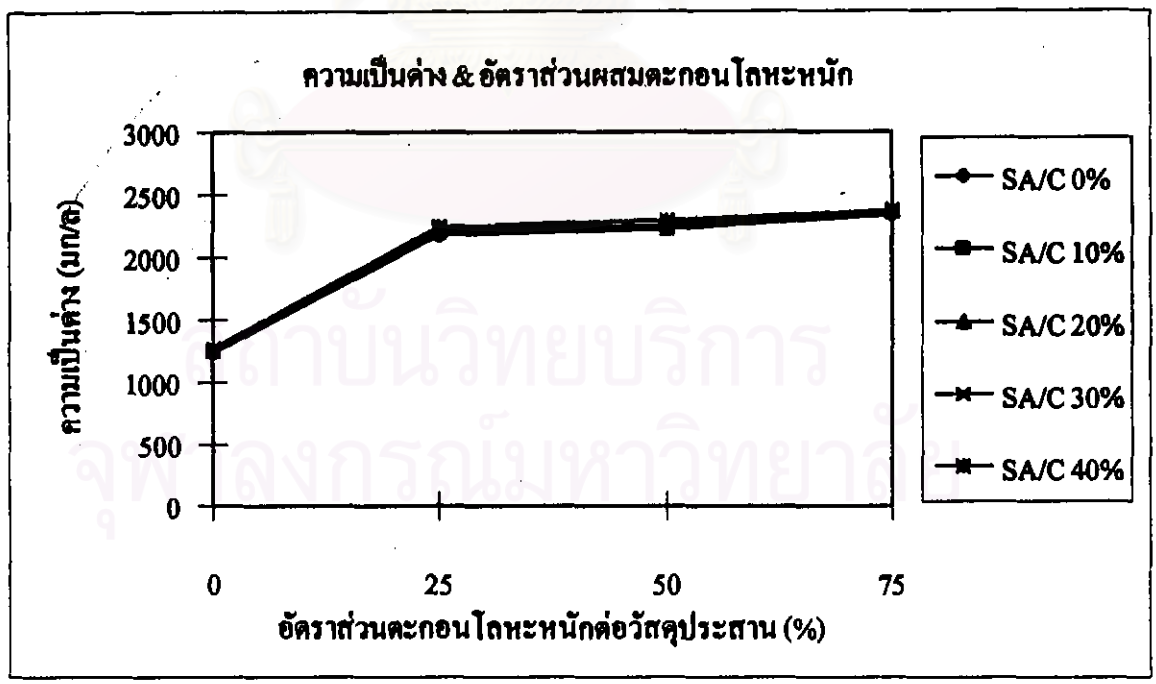
2.3 ความเป็นด่าง

จากตารางที่ 5.19 และกราฟรูปที่ 5.22 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าความเป็นด่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าความเป็นด่างมีค่า 1,240 และเพิ่มขึ้นเป็น 2,180 2,218 และ 2,344 มก./ล.ของหินปูน เมื่อมีมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ

จากกราฟรูปที่ 5.22 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าความเป็นด่างจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างน้อยมาก

ตารางที่ 5.19 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ความเป็นด่าง (มก./ล.) อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	1240	2180	2218	2344
10	1260	2188	2218	2348
20	1260	2192	2223	2367
30	1269	2231	2266	2367
40	1269	2242	2297	2371



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างและอัตราส่วนตะกอนโลหะหนัก

2.4 ปรอท

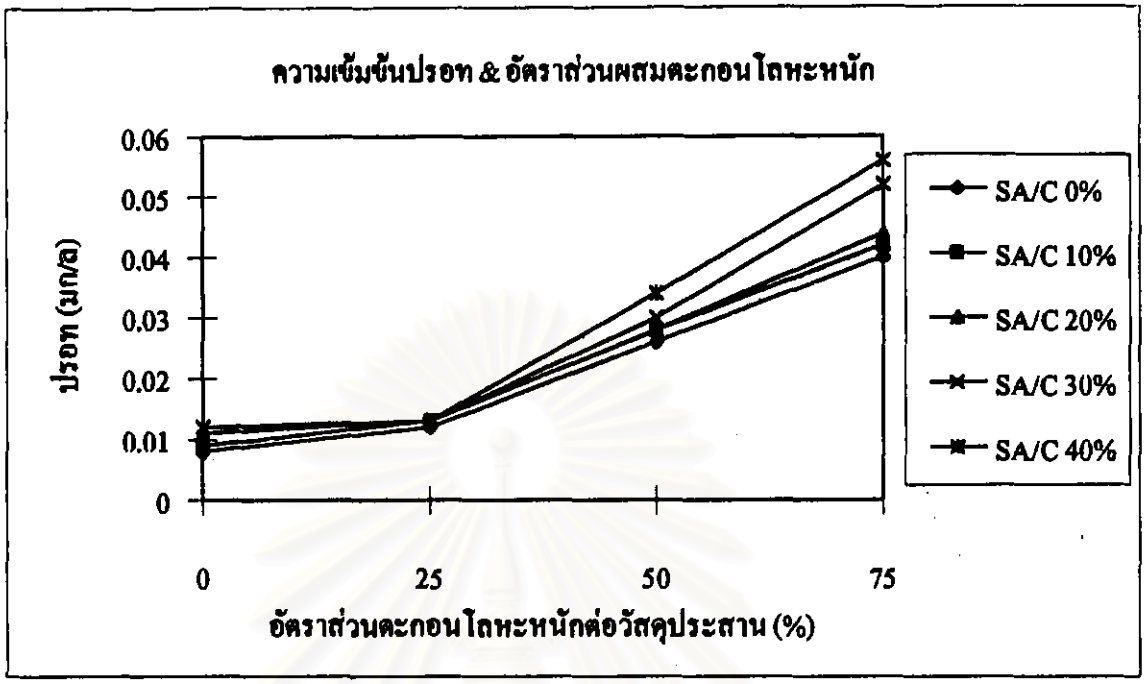
จากตารางที่ 5.20 และกราฟรูปที่ 5.23 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าปริมาณปรอทมีค่า 0.008 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.012 0.026 และ 0.040 มก./ล. เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท)

จากกราฟรูปที่ 5.23 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40 % ค่าปริมาณปรอทจะค่อนข้างคงที่ที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 และ 0.25 และจะมีค่าส่วนที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.75 พบว่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ค่าปริมาณปรอทมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานจะมีผลทำให้ค่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดมีค่าสูงขึ้น โดยจะมีค่าปริมาณปรอทสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่อัตราส่วนตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.5 และ 0.75 (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท)

แต่ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 0.2 มก./ล. แล้วพบว่าที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 10 20 30 และ40% สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกอัตราส่วน

ตารางที่ 5.20 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	0.008	0.012	0.026	0.040
10	0.009	0.013	0.028	0.042
20	0.011	0.013	0.028	0.044
30	0.012	0.013	0.030	0.052
40	0.012	0.013	0.034	0.056
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 มก./ล.				



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

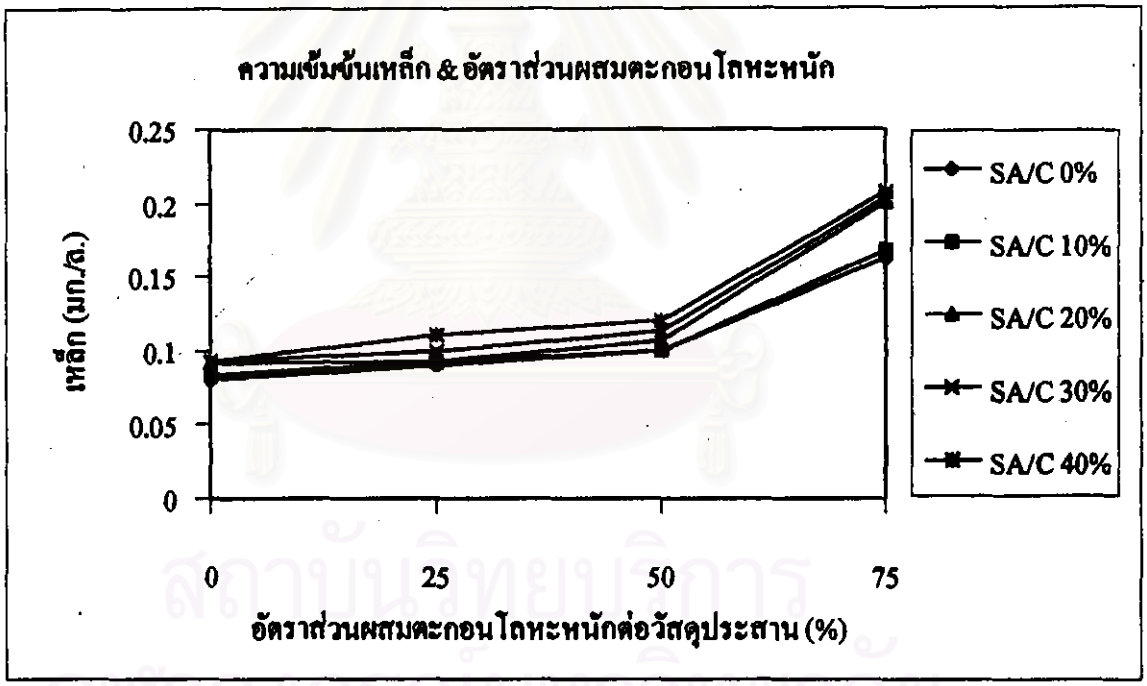
2.5 เหล็ก

จากตารางที่ 5.21 และกราฟรูปที่ 5.24 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน จะมีผลให้ค่าปริมาณเหล็กในน้ำสกัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อใช้วัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์ล้วน (ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ =0%) ค่าปริมาณเหล็กมีค่า 0.081 และเพิ่มขึ้นเป็น 0.090 0.100 และ 0.163 มก./ล. เมื่อมีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 0.25 0.50 และ 0.75 ตามลำดับ (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก)

จากกราฟที่ 5.24 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 10 20 30 และ 40% ค่าปริมาณเหล็กจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลทำให้ค่าปริมาณเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ผลการคำนวนทางสถิติในภาค ผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก)

ตารางที่ 5.21 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (มก./ล.)			
	อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน			
	0	0.25	0.50	0.75
0	0.081	0.090	0.100	0.163
10	0.083	0.093	0.100	0.168
20	0.091	0.093	0.107	0.201
30	0.093	0.100	0.113	0.204
40	0.093	0.110	0.120	0.207



รูปที่5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนัก

3. การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น

การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำของเสียให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสานจะพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนซึ่งกำหนดให้มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 14 กก./ซม.^{2} ความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตัน/ม^3 และเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยพิจารณาโลหะหนักเฉพาะปรอท

และโครเมียม คุณสมบัติของสารมีพิษจะต้องมีปริมาณปรอทในน้ำสกัดมากกว่า 0.2 มก./ล. และมีปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดมากกว่า 5 มก./ล.

3.1 การทำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นพบว่าที่ทุกอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานและอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 10 20 30 และ 40% สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท (ตารางที่ 5.12) และโครเมียม (ตารางที่ 5.13) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทและโครเมียมให้อยู่ในเกณฑ์บาตรฐานมี ดังนี้

อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน	0.25 และ 0.50
อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	40%

3.2 การทำตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นพบว่าที่ทุกอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานและอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท (ตารางที่ 5.20) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ

อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน	0.75
อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	40%

การทดลองที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมของตะกอนปรอทซัลไฟด์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อน และอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมสำหรับการระงับฤทธิ์ตะกอนโลหะหนัก โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนดังนี้

ก.ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีไอดี

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 0 และ 40% และมีระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน แปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานระหว่าง 0.3 - 0.7 สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

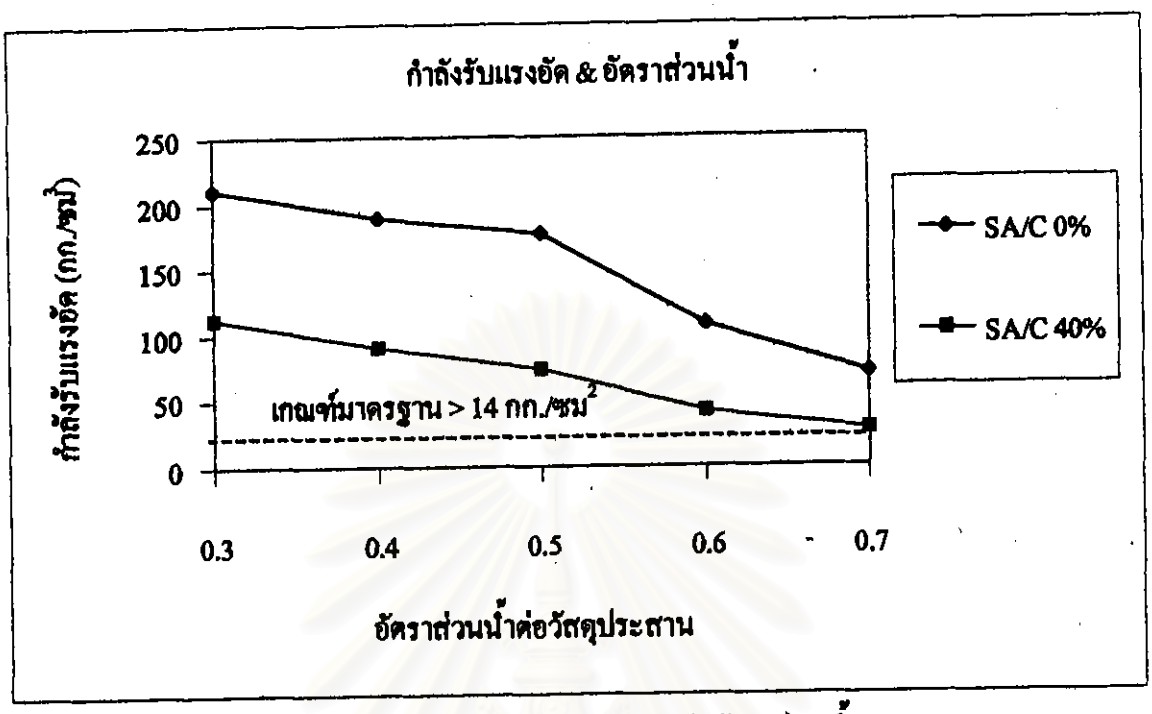
1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

1.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.22 และ รูปที่ 5.25 ค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 210 189 176 108 และ 70 กก./ซม.^{2} และซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่า 112 90 73 41 และ 27 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น และวัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% (หรือปูนซีเมนต์ล้วน) จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าวัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 14 กก./ซม.^{2}) พบว่าทุกค่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.22 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})				
	อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	210	189	176	108	70
40	112	90	73	41	27
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 ก.ก./ซ.ม.^{2}					



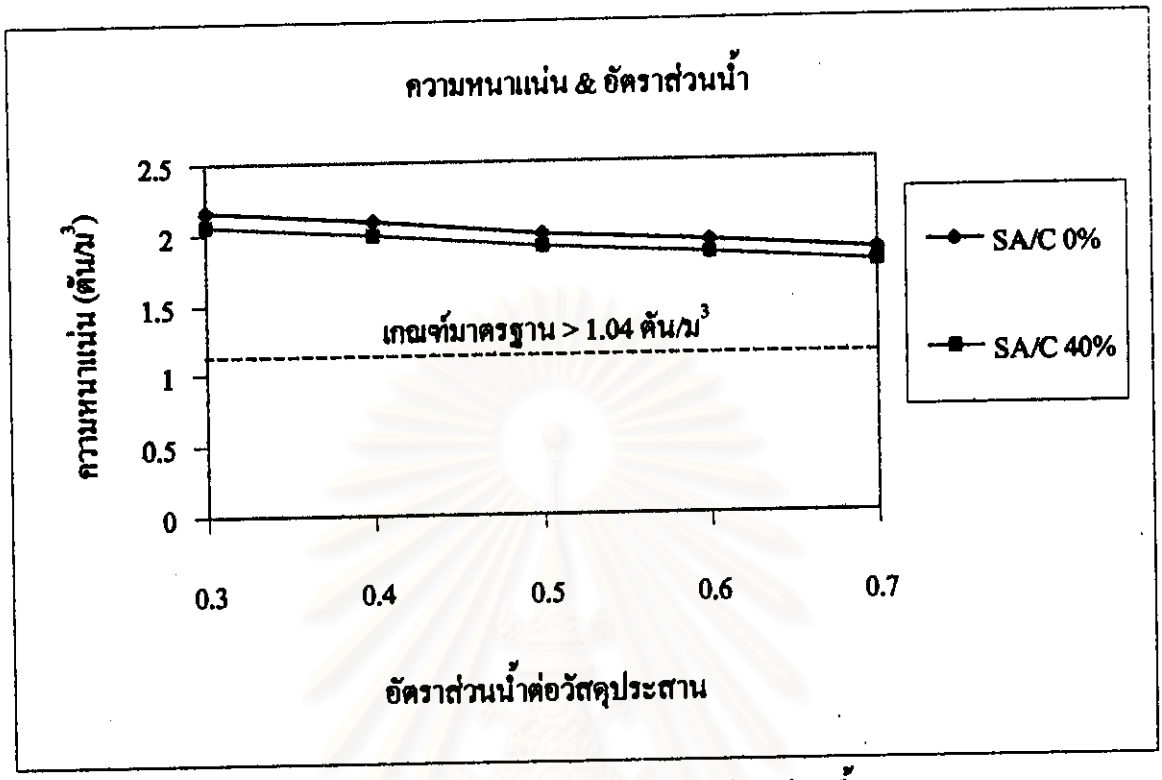
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำ

1.2 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ทำให้เป็นก้อนแล้วที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 2.15 2.08 1.98 1.93 และ 1.86 ตัน/ม.^{3} ส่วนวัสดุประสานที่ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่า 2.05 1.98 1.90 1.84 และ 1.77 ตัน/ม^3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.23) จากรูปที่ 5.26 จะเห็นว่าความหนาแน่นมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น และวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% (หรือปูนซีเมนต์ล้วน) จะให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 1.04 ตัน/ม.^{3}) พบว่าทุกค่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.23 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม^3)				
	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	2.15	2.08	1.98	1.93	1.86
40	2.05	1.98	1.90	1.84	1.77
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3					



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนน้ำ

2.ทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

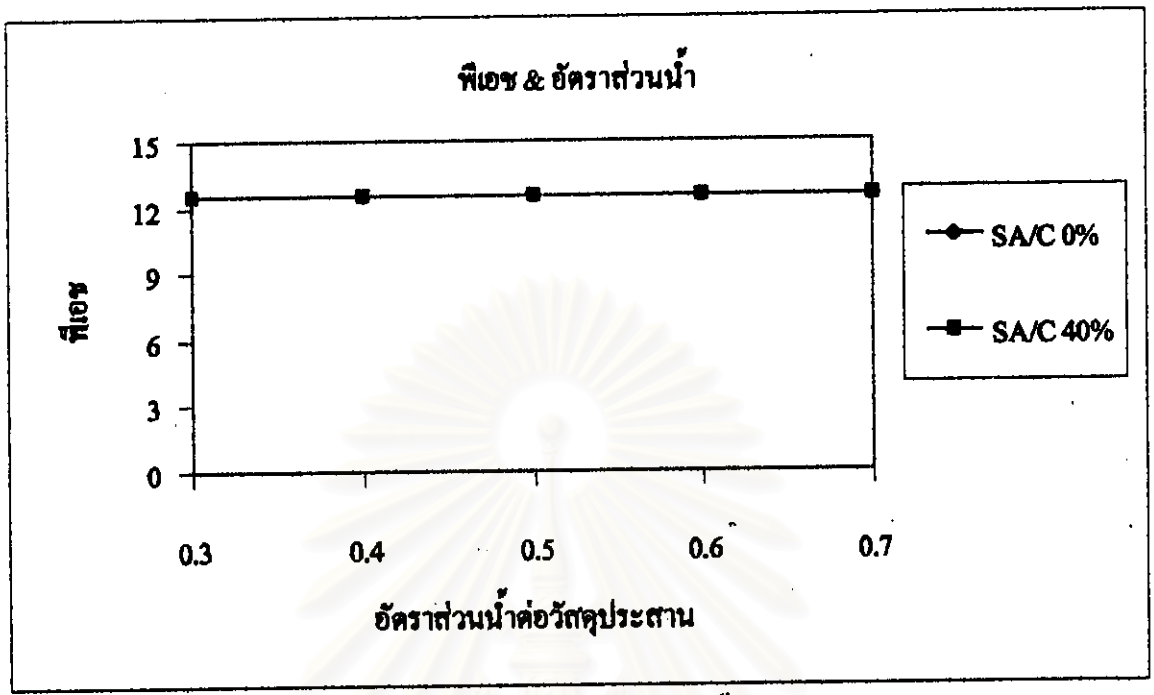
ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากทดสอบการชะละลาย แสดงผลดังนี้

2.1 พีเอช

ค่าพีเอชที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 12.47 12.47 12.49 12.50 และ 12.51 ส่วนวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่าพีเอช 12.48 12.49 12.51 12.52 และ 12.52 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.27 ค่าพีเอชที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40 % มีค่าไม่แตกต่างจากค่าพีเอชที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 % ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0% เป็น 40% มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก และการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก

ตารางที่5.24 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	พีเอช				
	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	12.47	12.47	12.49	12.50	12.51
40	12.48	12.49	12.51	12.52	12.52



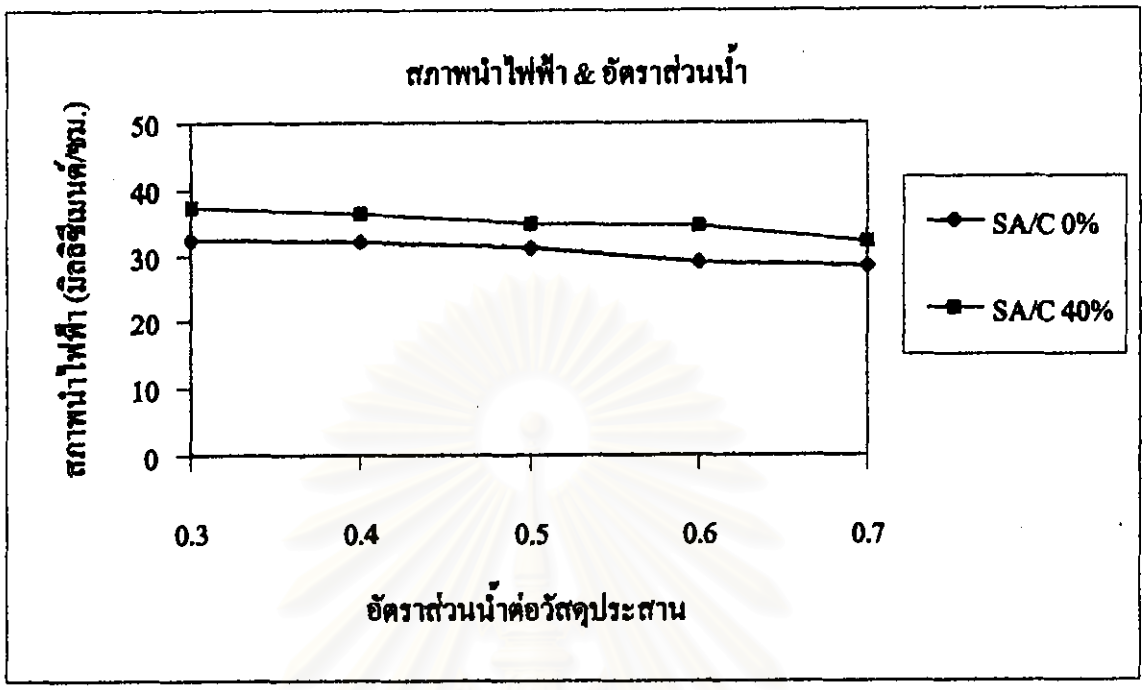
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับอัตราส่วนน้ำ

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

สภาพนำไฟฟ้าที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 32.17 32.00 31.23 28.83 และ 28.33 มิลลิซีเมนต์/ซม และมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% โดยมีค่าสภาพนำไฟฟ้า 37.33 36.40 34.77 34.30 และ 31.93 มิลลิซีเมนต์/ซม. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.28 ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพนำไฟฟ้าเล็กน้อย ในขณะที่การเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0% เป็น 40% จะมีผลทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่5.25 แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	32.17	32.00	31.23	28.83	28.33
40	37.33	36.40	34.77	34.30	31.93



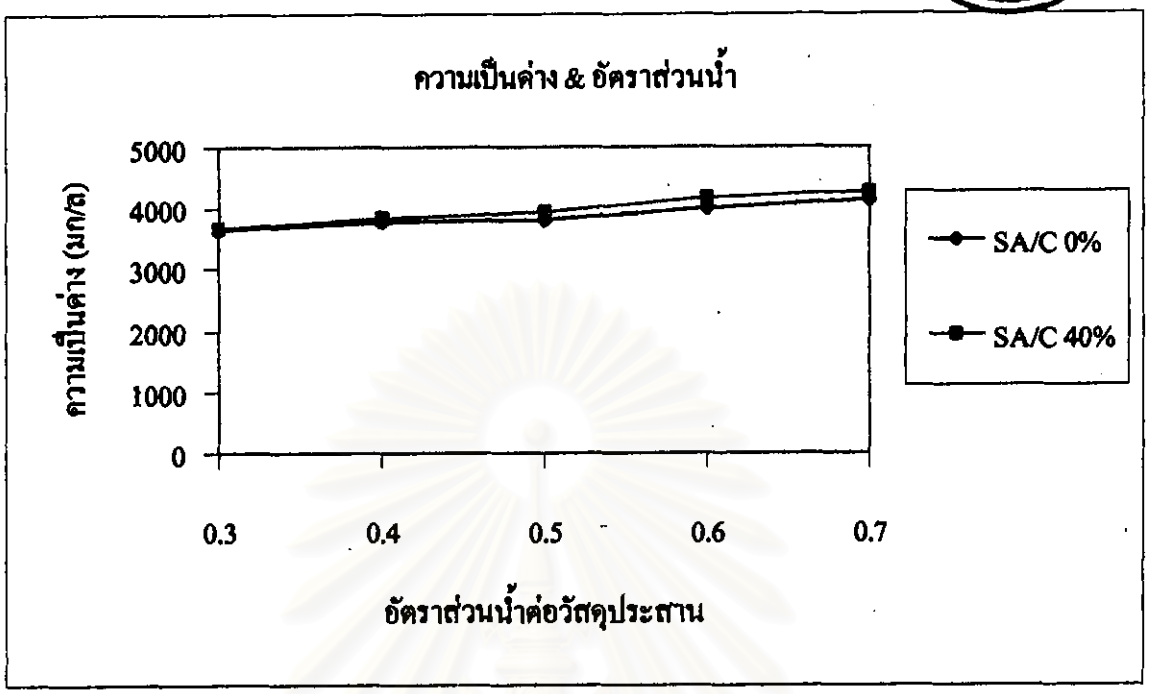
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนน้ำ

2.3 ความเป็นด่าง

ตารางที่ 5.26 แสดงค่าความเป็นด่างที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 3,649 3,790 3,810 4,009 และ 4,129 มก./ล. ของหินปูน และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% โดยมีค่าความเป็นด่าง 3,690 3,829 3,949 4,180 และ 4,260 มก./ล.ของหินปูน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.29 พบว่าค่าความเป็นด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่5.26 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ความเป็นด่าง (ม.ก./ล.)				
	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	3649	3790	3810	4009	4129
40	3690	3829	3949	4180	4260



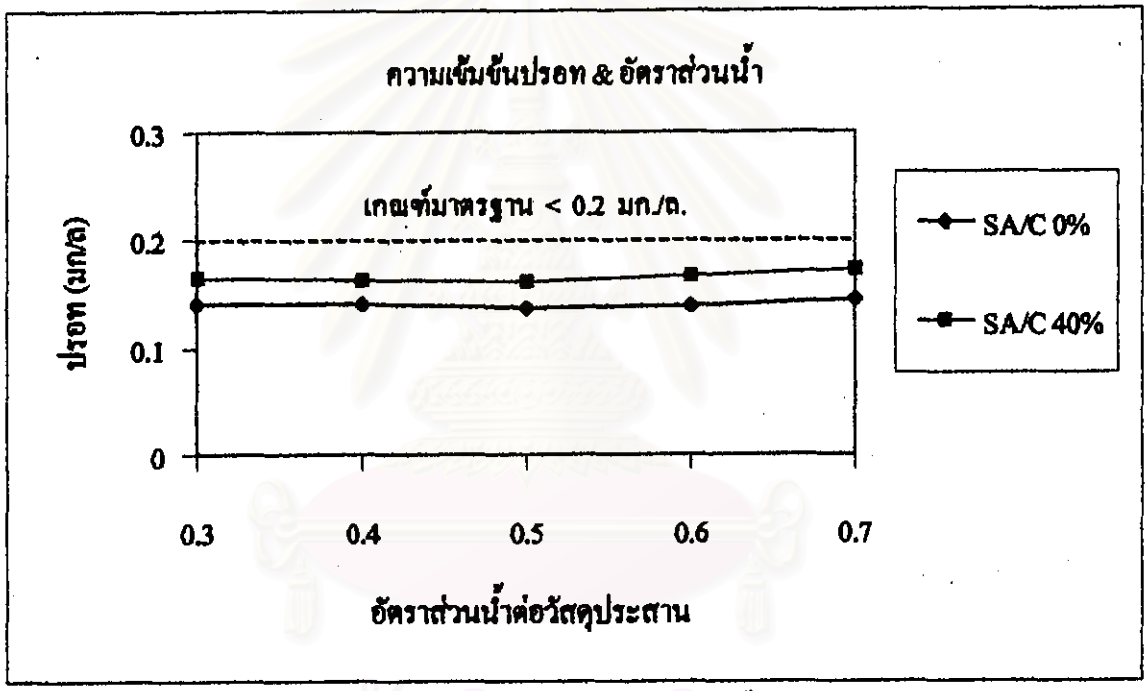
รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับอัตราส่วนน้ำ

2.4 ปรอท

ปริมาณปรอทในน้ำสกัดที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 0.141 0.140 0.136 0.139 และ 0.145 มก./ล. โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ซึ่งมีค่า 0.165 0.163 0.161 0.167 และ 0.172 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.30 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำ 0.5 จะมีค่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดต่ำที่สุด ไม่ว่าจะใช้วัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% หรือ 40% (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (น้อยกว่า 0.2 มก./ล.) ปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

ตารางที่5.27 แสดงผลการวิเคราะห์ปรอทกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.) อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.141	0.140	0.136	0.139	0.145
40	0.165	0.163	0.161	0.167	0.172
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 ม.ก./ล.					



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอัตราส่วนน้ำ

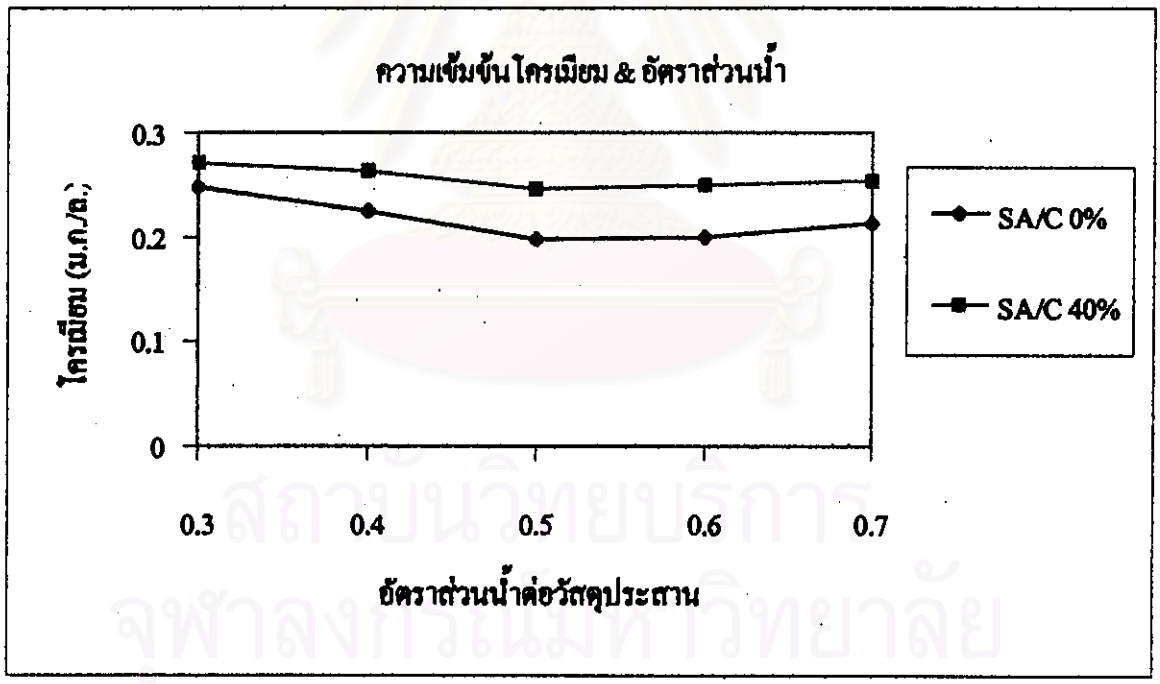
2.5 โครเมียม

ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 0.247 0.225 0.198 0.200 และ 0.212 มก./ล. โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ซึ่งมีค่า 0.271 0.263 0.245 0.250 และ 0.253 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.31 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำ 0.5 จะมีค่าปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดต่ำที่สุด ไม่ว่าจะใช้วัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% หรือ 40% (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของโครเมียม และการเพิ่มอัตราส่วนผสม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของโครเมียม) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (น้อยกว่า 5.0 มก./ล.)แล้ว ปริมาณโครเมียมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับในทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลอง

ตารางที่5.28 แสดงผลการวิเคราะห์โครเมียมกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	โครเมียม (มก./ล.) อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.247	0.225	0.198	0.200	0.212
40	0.271	0.263	0.245	0.250	0.253
เกณฑ์มาตรฐาน < 5.0 ม.ก./ล.					



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโครเมียมกับอัตราส่วนน้ำ

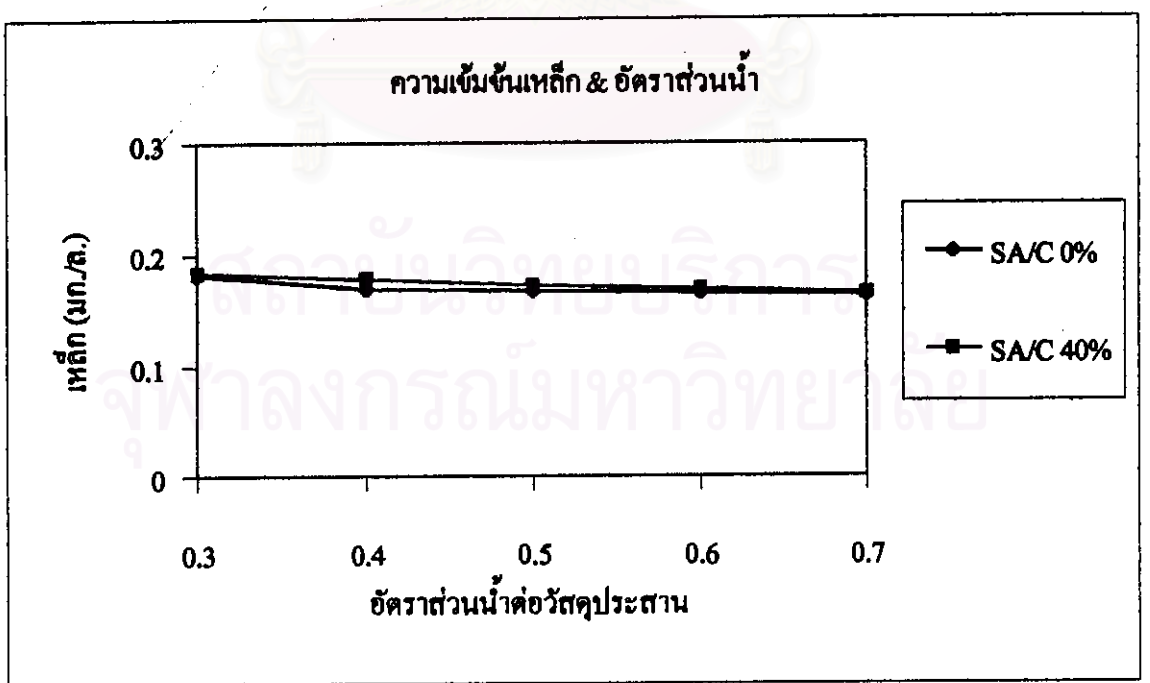
2.6 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 0.181 0.175 0.167 0.166 และ 0.163 มก./ล. และเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% จะมีค่า 0.183 0.179 0.173 0.169 และ

0.169 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.32 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำมากขึ้น จะมีค่าปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยไม่ว่าจะใช้วัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% หรือ 40% (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก) เนื่องจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของเหล็กไว้ แต่เนื่องจากในตะกอนโลหะหนักที่ได้จากน้ำเสียซีโอดีมีส่วนประกอบของเหล็กปะปนอยู่จึงทำการตรวจวัดให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณเหล็ก

ตารางที่5.29 แสดงผลการวิเคราะห์เหล็กกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (มก./ล.) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.181	0.175	0.167	0.166	0.163
40	0.183	0.179	0.173	0.169	0.169



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กกับอัตราส่วนน้ำ

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 0 และ 40% และมีระยะเวลาบ่ม 7 วัน แปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานระหว่าง 0.3 - 0.7 สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

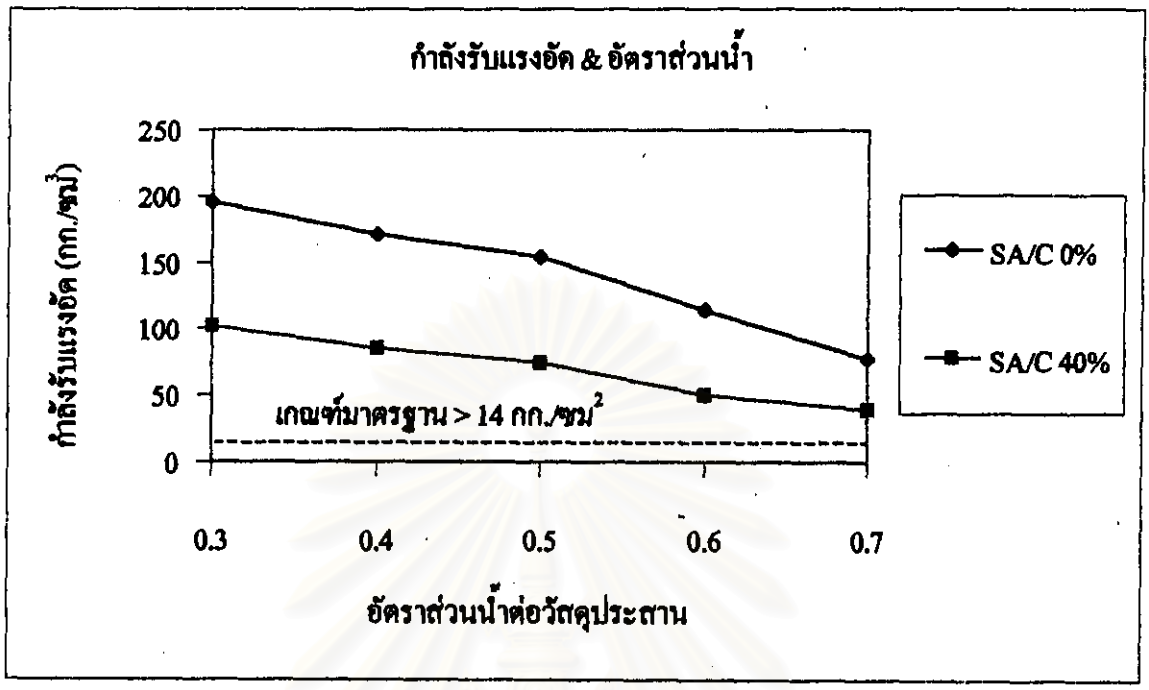
1. ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

1.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.30 และ รูปที่ 5.33 ค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 195 171 154 115 และ 78 กก./ซม.^{2} และซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่า 102 86 74 50 และ 40 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น และวัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% (หรือปูนซีเมนต์ล้วน) จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าวัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 14 กก./ซม.^{2}) พบว่าทุกค่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.30 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})				
	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	195	171	154	115	78
40	102	86	74	50	40
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 ก.ก./ซ.ม.^{2}					



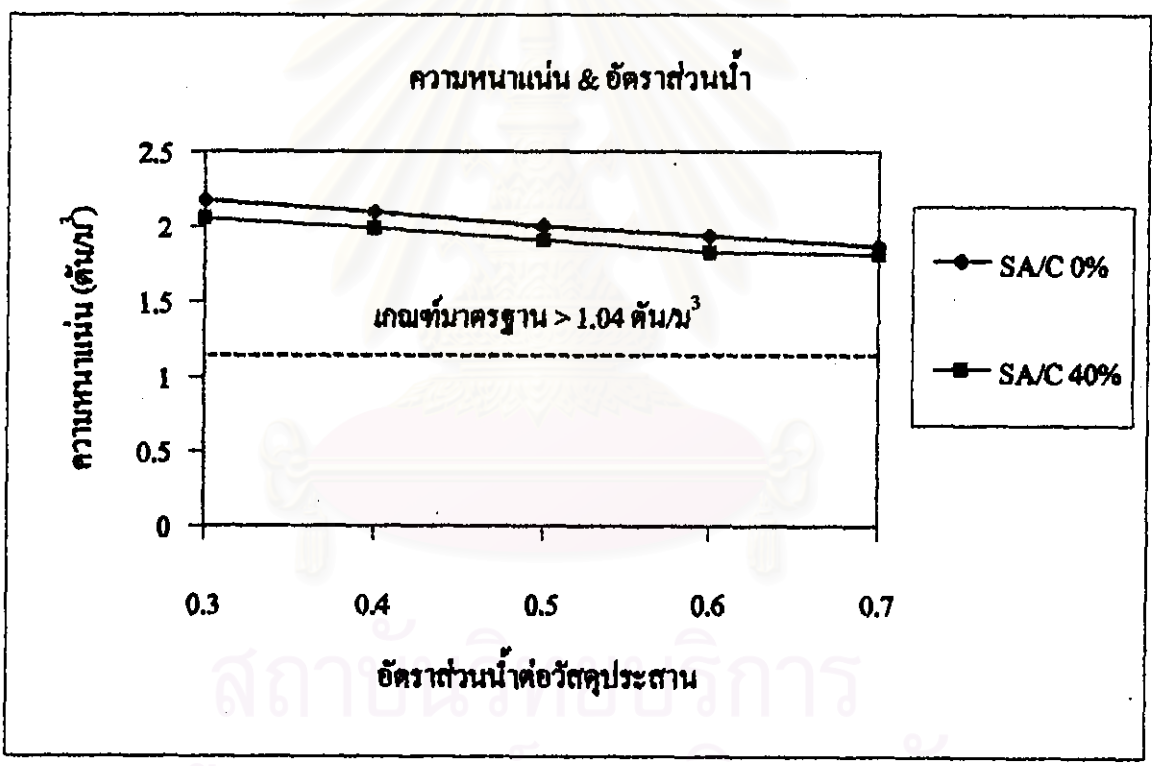
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำ

1.2 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ทำให้เป็นก้อนแล้วที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 2.17 2.10 2.00 1.93 และ 1.86 ตัน/ม.^{3} ส่วนวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่า 2.05 1.98 1.90 1.83 และ 1.81 ตัน/ม^3 ตามลำดับ (ตารางที่ 5.31) จากรูปที่ 5.34 จะเห็นว่าความหนาแน่นมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น และวัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% (หรือปูนซีเมนต์ล้วน) จะให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 1.04 ตัน/ม.^{3}) พบว่าทุกค่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.31 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม^3) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	2.17	2.10	2.00	1.93	1.86
40	2.05	1.98	1.90	1.83	1.81
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3					



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนน้ำ

2. ทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากการทดสอบการชะละลาย แสดงผลดังนี้

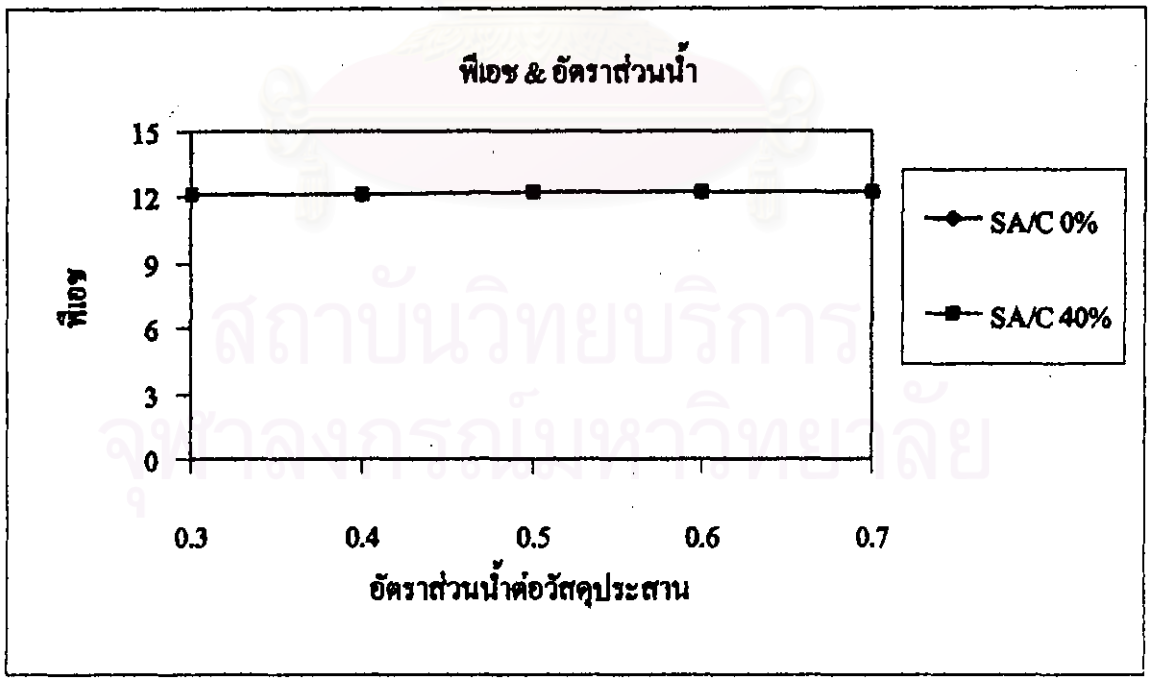
2.1 พีเอช

ค่าพีเอชที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 12.10 12.16 12.20 12.21 และ 12.21 และมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้วัสดุ

ประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% โดยมีค่าพีเอช 12.12 12.17 12.21 12.23 และ 12.23 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.35 ค่าพีเอชของอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่าไม่แตกต่างจากอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0% เป็น 40% มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก และการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก

ตารางที่5.32 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชของกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	พีเอช				
	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	12.10	12.16	12.20	12.21	12.21
40	12.12	12.17	12.21	12.23	12.23



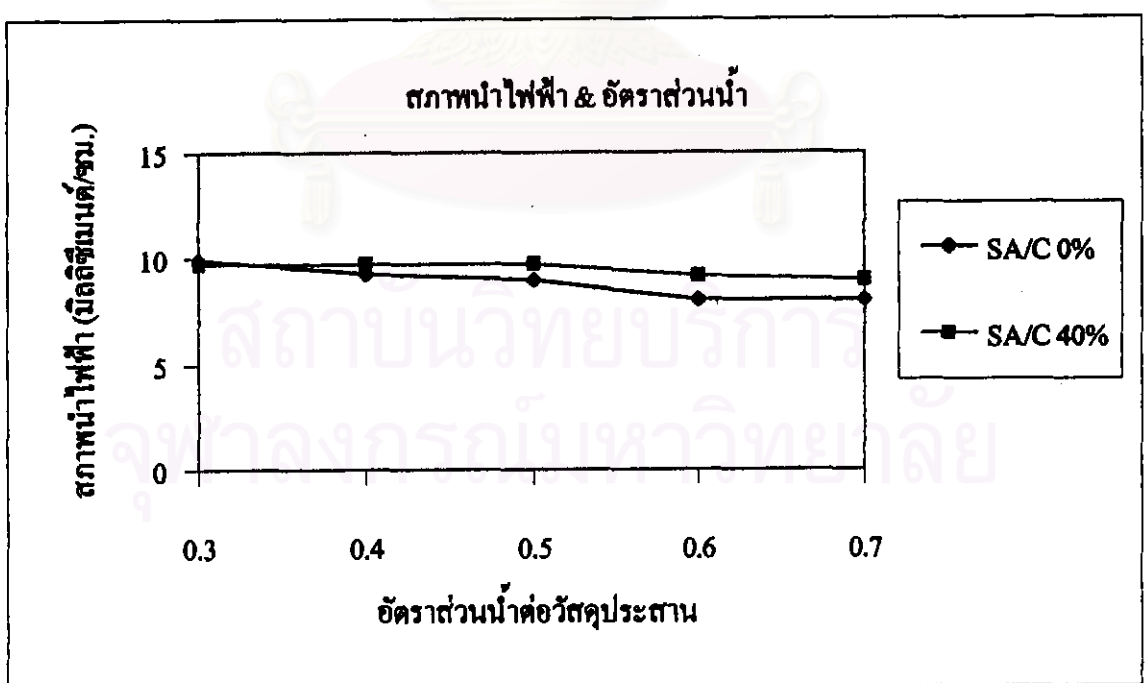
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับอัตราส่วนน้ำ

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

สภาพนำไฟฟ้าที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 9.92 9.28 9.01 8.06 และ 8.00 มิลลิซีเมนต์/ซม. และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% (ยกเว้นที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.3) โดยมีค่าสภาพนำไฟฟ้า 9.77 9.70 9.74 9.20 และ 8.95 มิลลิซีเมนต์/ซม. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.36 พบว่าค่าสภาพนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพนำไฟฟ้าเล็กน้อย

ตารางที่5.33 แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	9.92	9.28	9.01	8.06	8.00
40	9.77	9.70	9.74	9.20	8.95



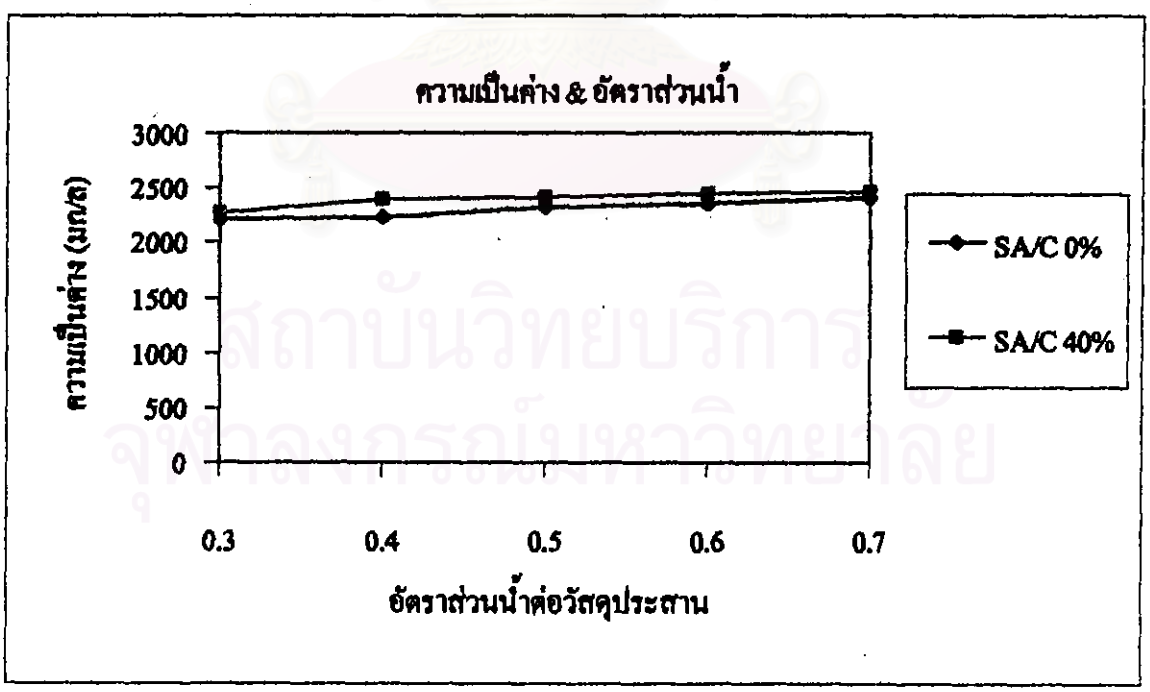
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนน้ำ

2.3 ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 2,200 2,234 2,314 2,354 และ 2,406 มก./ล.ของหินปูน และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% โดยมีค่าความเป็นด่าง 2,200 2,386 2,414 2,454 และ 2,466 มก./ล.ของหินปูน ตามลำดับ จากรูปที่ 5.37 ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างเล็กน้อย

ตารางที่5.34 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ความเป็นด่าง (มก./ล.)				
	อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	2200	2234	2314	2354	2406
40	2266	2386	2414	2454	2466



รูปที่ 5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับอัตราส่วนน้ำ

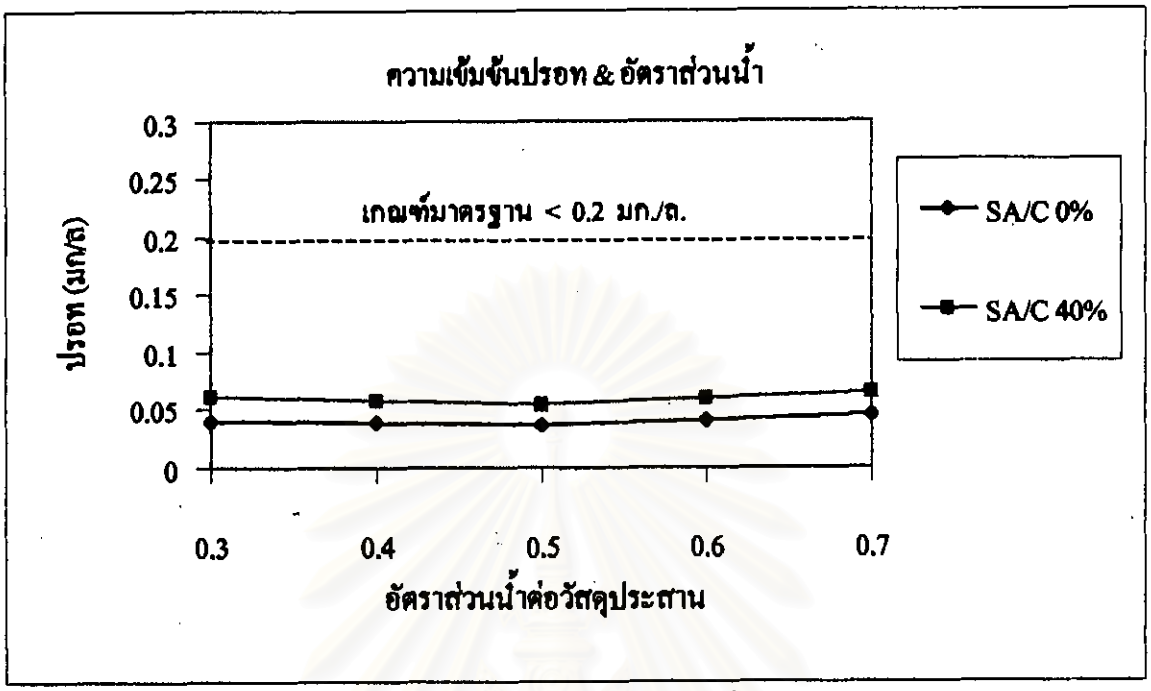
2.4 ปรอท

ปริมาณปรอทในน้ำสกัดที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 0.040 0.039 0.037 0.041 และ 0.046 มก./ล. โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ซึ่งมีค่า 0.061 0.058 0.055 0.060 และ 0.065 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.38 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำ 0.5 จะมีค่าปริมาณปรอทในน้ำสกัดต่ำที่สุด ไม่ว่าจะใช้วัสดุประสานที่มีปริมาณซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% หรือ 40% (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษแล้วปริมาณปรอทมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับทุกอัตราส่วน

ตารางที่5.35 แสดงผลการวิเคราะห์ปรอทกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.040	0.039	0.037	0.041	0.046
40	0.061	0.058	0.055	0.060	0.065
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 ม.ก./ล.					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



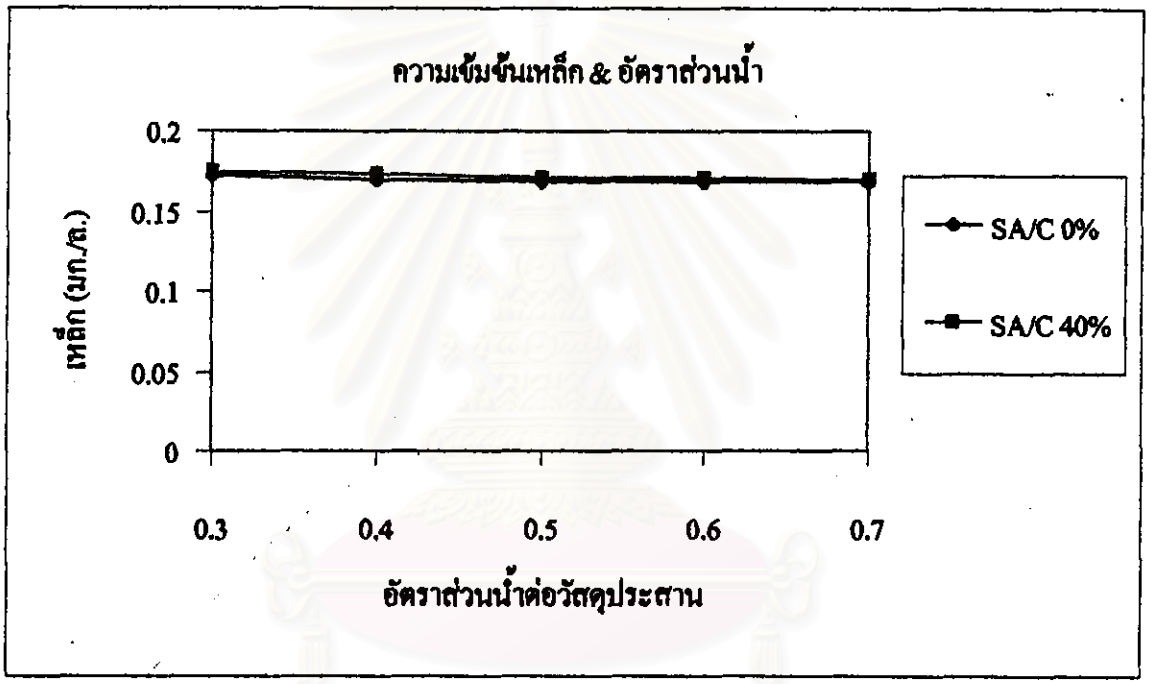
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปรอทกับอัตราส่วนน้ำ

2.5 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดที่อัตราส่วนน้ำ 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% มีค่า 0.172 0.169 0.168 0.168 และ 0.168 มก./ล. โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ซึ่งมีค่า 0.175 0.173 0.171 0.171 และ 0.170 มก./ล. ตามลำดับ จากรูปที่ 5.39 ค่าพีเอชมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อมีอัตราส่วนน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณเหล็กน้อยมาก (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก) เนื่องจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของเหล็กไว้ แต่ในตะกอนโลหะหนักมีส่วนประกอบของเหล็กปะปนอยู่จึงทำการตรวจวัดให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณเหล็ก

ตารางที่5.36 แสดงผลการวิเคราะห์เหล็กกับอัตราส่วนน้ำ

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (มก./ล.) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0	0.172	0.169	0.168	0.168	0.168
40	0.175	0.173	0.171	0.171	0.170



รูปที่ 5.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กกับอัตราส่วนน้ำ

3. การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น

การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำของเสียให้เป็นก้อน โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสาน จะพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ซึ่งกำหนดให้มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 14 กก./ซม.^{2} ความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตัน/ม^3 และเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยพิจารณาโลหะหนักเฉพาะปรอท และโครเมียม ลักษณะสมบัติของสารมีพิษจะต้องมีปริมาณปรอทในน้ำสกัดมากกว่า 0.2 มก./ล. และมีปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดมากกว่า 5 มก./ล.

3.1 การทำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นพบว่าที่ทุกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 10 20 30 และ 40% สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท(ตารางที่ 5.27) และโครเมียม(ตาราง 5.28) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทและโครเมียม ได้ดีที่สุด และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมีดังนี้

1) อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50
อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40%
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50
(อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 เป็นอัตราส่วนที่ปรอท และโครเมียมถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุด จึงใช้อัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด)

3.2 การทำตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นพบว่าที่ทุกอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานและ%ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท (ตารางที่ 5.35) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทได้ดีที่สุด และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ

1. อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75
อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40%
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50
(อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 เป็นอัตราส่วนที่ปรอท ถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุด จึงใช้อัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 3/1 ศึกษาผลของระยะเวลาบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนซีเมนต์

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาบ่มต่อกระบวนการการทำให้เป็นก้อน และระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมสำหรับการระงับฤทธิ์ตะกอนโลหะหนัก โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนดังนี้

ก.ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซิโอดี

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 0 และ 40 % แปรค่าระยะเวลาบ่มเป็น 1 3 7 14 และ 28 วัน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

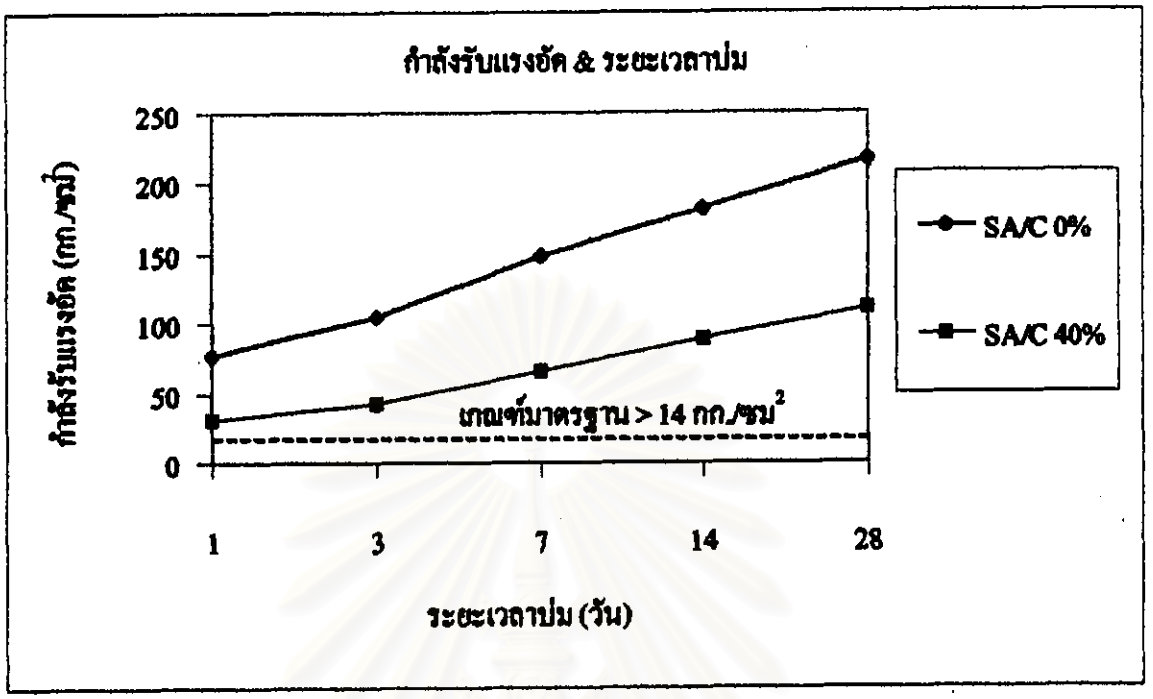
1.ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

1.1 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 77 105 148 182 และ 217 กก./ซม.^{2} สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าลดลงเป็น 30 42 65 88 และ 111 กก./ซม.^{2} สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.37) จากรูป 5.40 จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น และค่ากำลังรับแรงอัดที่เวลาบ่มดังกล่าวทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.37 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})				
	ระยะเวลาบ่ม. (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	77	105	148	182	217
40	30	42	65	88	111
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 ก.ก./ซ.ม.^{2}					



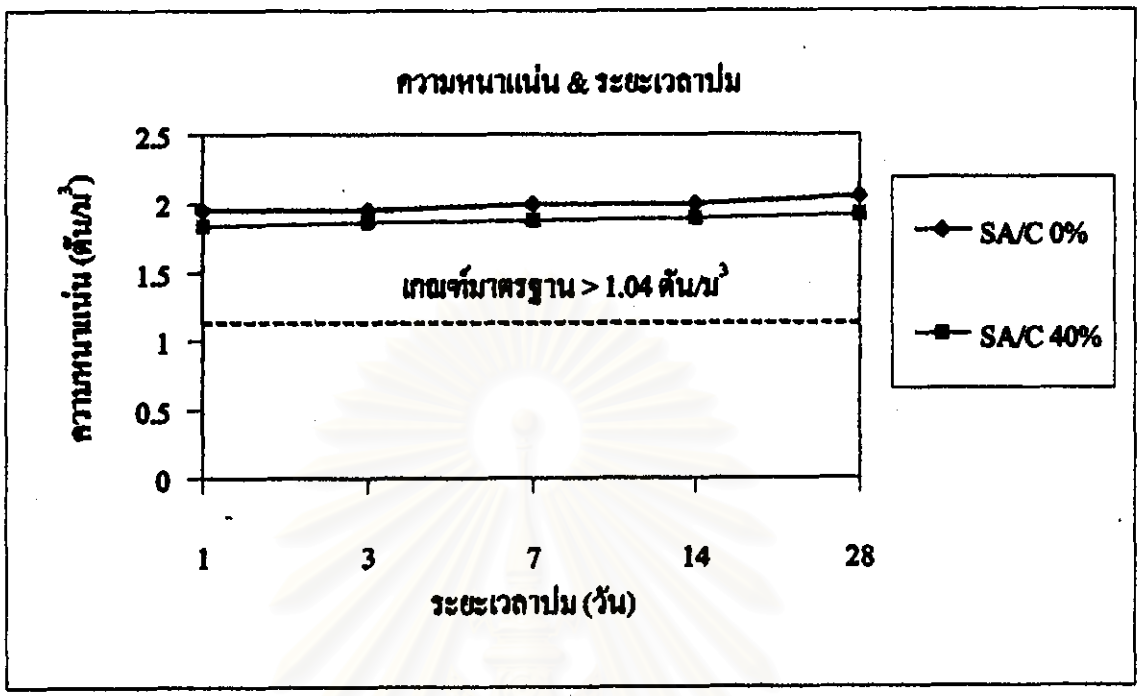
รูปที่ 5.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่ม

1.2 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 1.95 1.96 2.00 2.00 และ 2.06 ตัน/ม.^{3} สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าลดลงเป็น 1.84 1.86 1.88 1.90 และ 1.93 ตัน/ม.^{3} สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.38) จากรูป 5.41 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นที่เวลาบ่มดังกล่าวทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.38 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม^3)				
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	1.95	1.96	2.00	2.00	2.06
40	1.84	1.86	1.88	1.90	1.93
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3					



รูปที่ 5.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับระยะเวลาบ่ม

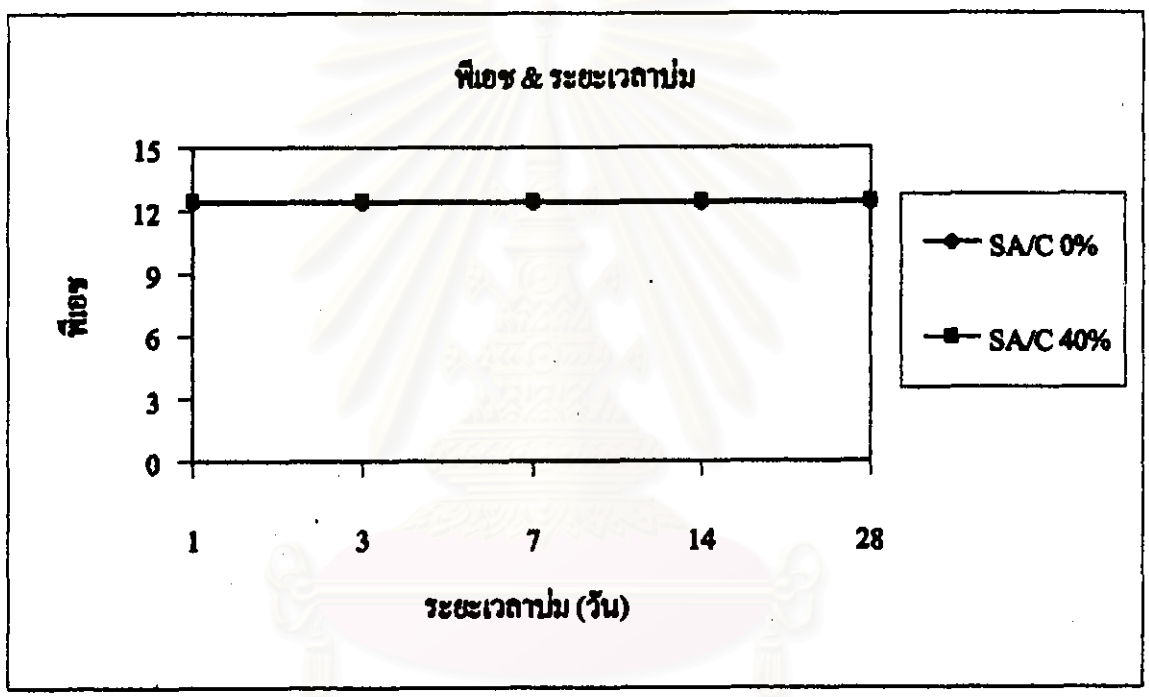
2. ทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

2.1 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 12.43 12.43 12.42 12.42 และ 12.42 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 12.49 12.49 12.48 12.48 และ 12.48 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.39) จากรูป 5.42 ค่าพีเอชที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่าไม่แตกต่างจากอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0% เป็น 40% มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก และพบว่าค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาบ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก

ตารางที่ 5.39 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	พีเอช				
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	12.43	12.43	12.42	12.42	12.42
40	12.49	12.49	12.48	12.48	12.48



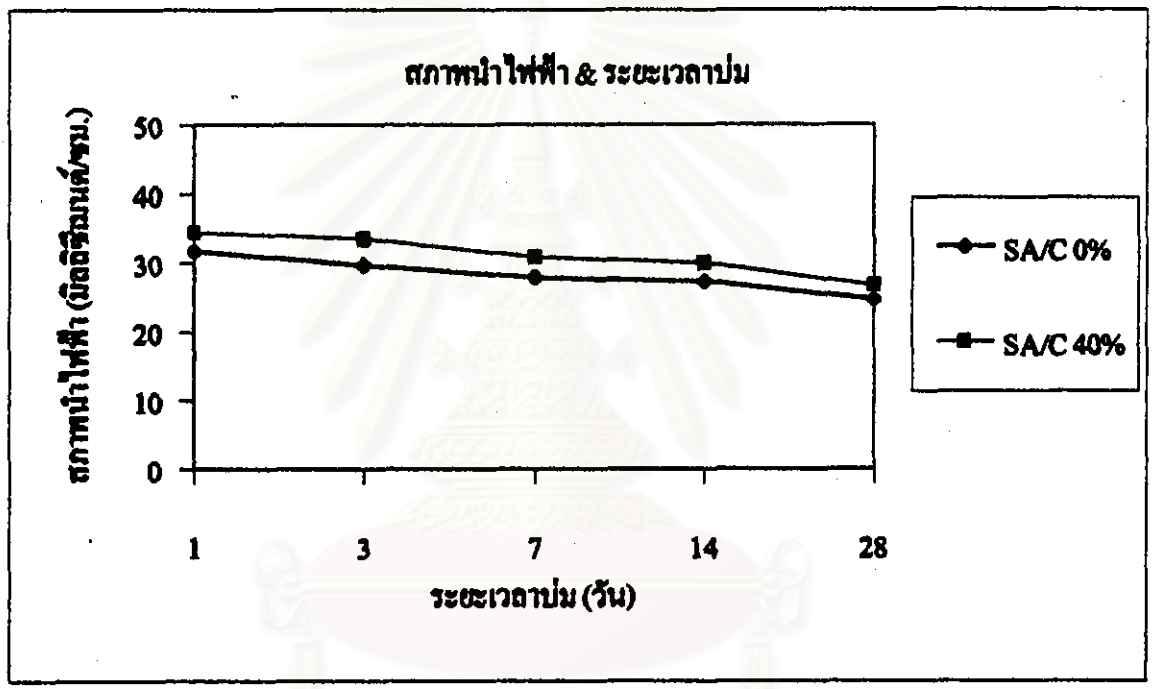
รูปที่ 5.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับระยะเวลาบ่ม

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 มีค่า 31.90 29.77 27.97 27.33 และ 24.63 มิลลิซีเมนต์/ซม. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 34.27 33.40 30.77 30.10 และ 26.63 มิลลิซีเมนต์/ซม. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.40) จากรูป 5.43 จะเห็นว่าค่าสภาพนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาบ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพนำไฟฟ้าเล็กน้อย

ตารางที่ 5.40แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.) ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	31.90	29.77	27.97	27.33	24.63
40	34.27	33.40	30.77	30.10	26.63



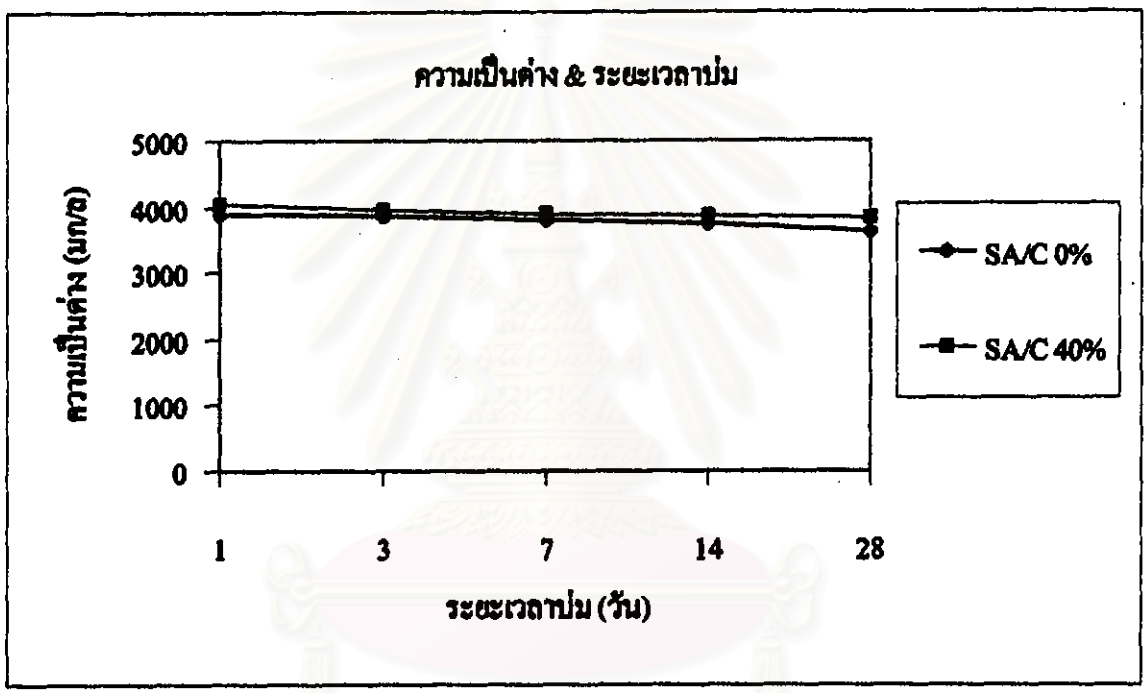
รูปที่ 5.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับระยะเวลาบ่ม

2.3 ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 3,883 3,863 3,797 3,743 และ 3,627 มก./ล.ของหินปูน สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าสูงขึ้นเป็น 4,053 3,943 3,883 3,860 และ 3,847 มก./ล.ของหินปูน สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.41) จากรูป 5.44 จะเห็นว่าค่าความเป็นด่างเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาบ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างน้อยมาก

ตารางที่ 5.41 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ความเป็นด่าง (มก./ล.) ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	3883	3863	3797	3743	3627
40	4053	3943	3883	3860	3847



รูปที่ 5.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับระยะเวลาบ่ม

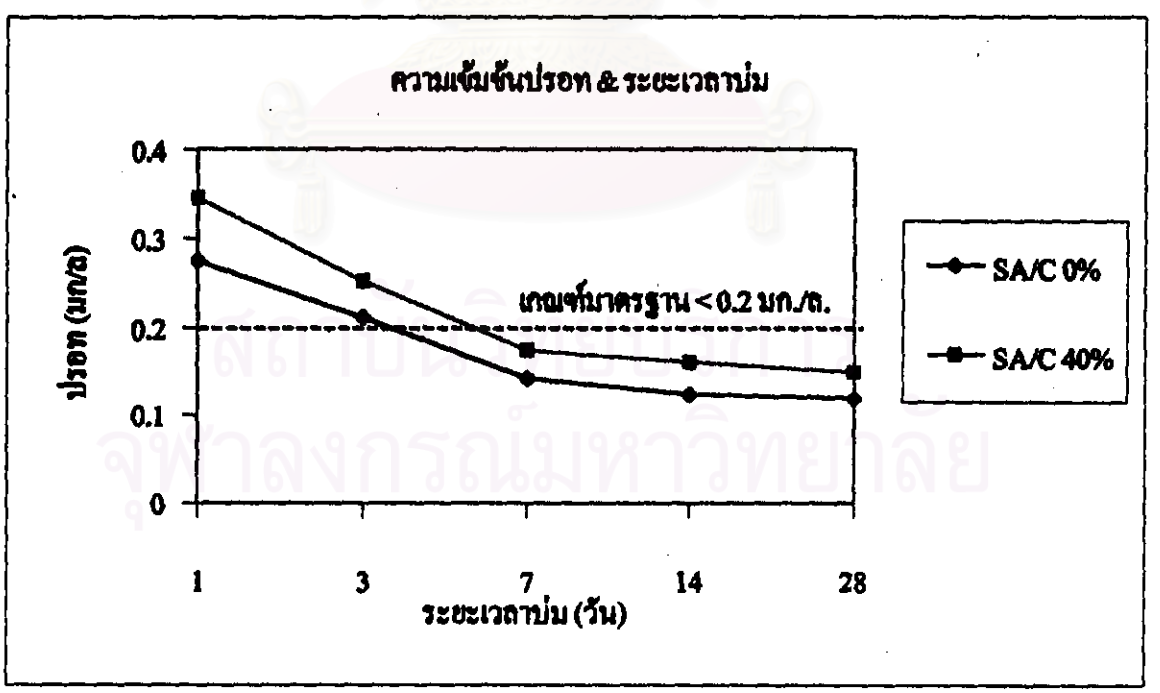
2.4 ปรอท

ค่าความเข้มข้นปรอทของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 0.275 0.211 0.141 0.124 และ 0.118 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.346 0.252 0.173 0.160 และ 0.148 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.42) จากรูป 5.45 จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มข้นปรอทลดลง โดยค่าความเข้มข้นปรอทจะลดลงในช่วงระยะเวลาบ่ม 1 3 และ 7 วันสูงกว่าในช่วงระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วัน (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาบ่ม มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดลงของปรอท และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ มีผลผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท)

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (น้อยกว่า 0.2 มก./ล.) พบว่าที่ระยะเวลาบ่ม 1 และ 3 วัน ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 และ 40% มีค่าความเข้มข้นของปรอทเกินมาตรฐาน แต่เมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 7 14 และ 28 วัน พบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.42 แสดงผลการวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.)				
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	0.275	0.211	0.141	0.124	0.118
40	0.346	0.252	0.173	0.160	0.148
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 ม.ก./ล.					



รูปที่ 5.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทกับระยะเวลาบ่ม

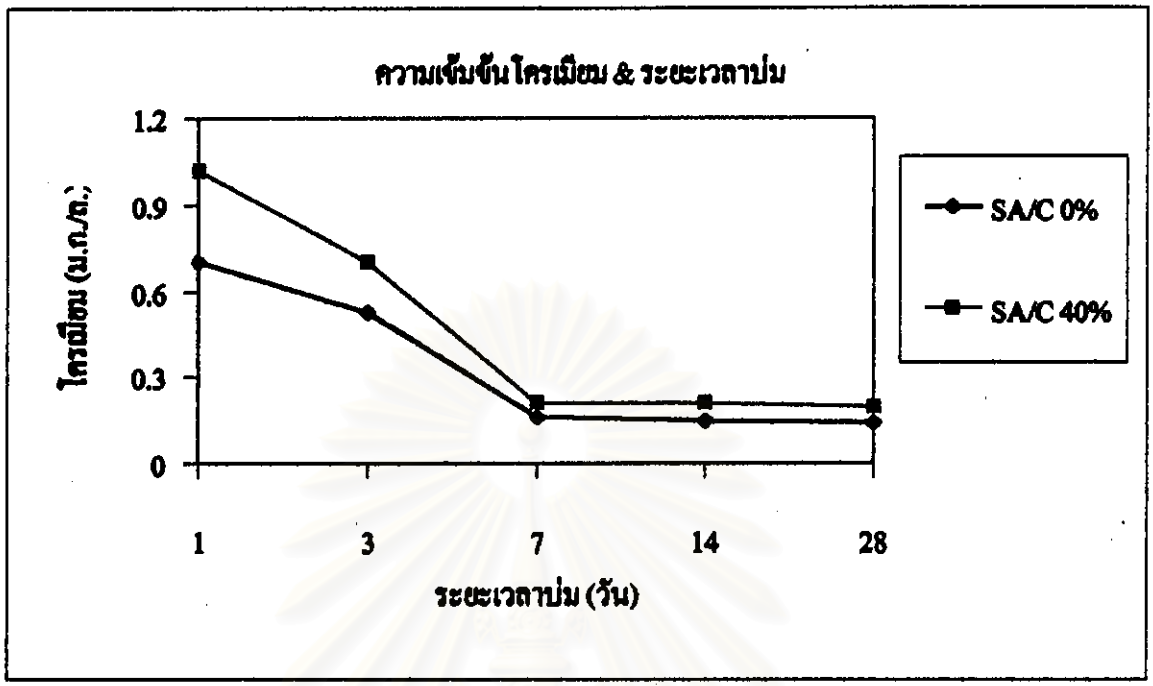
2.5 โครเมียม

ค่าความเข้มข้นโครเมียมของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 0.701 0.523 0.161 0.150 และ 0.143 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.016 0.699 0.214 0.210 และ 0.195 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.43) จากรูป 5.46 จะเห็นว่าค่าความเข้มข้นโครเมียมจะลดลงอย่างมากในช่วงระยะเวลาบ่ม 1 3 และ 7 วัน และจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 14 และ 28 วัน (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาบ่มมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดลงของโครเมียม และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ไม่มีผลผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของโครเมียม) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (น้อยกว่า 5.0 มก./ล.) พบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.43 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	โครเมียม (มก./ล.)				
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	0.701	0.523	0.161	0.150	0.143
40	1.016	0.699	0.214	0.210	0.195
เกณฑ์มาตรฐาน < 5.0 ม.ก./ล.					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



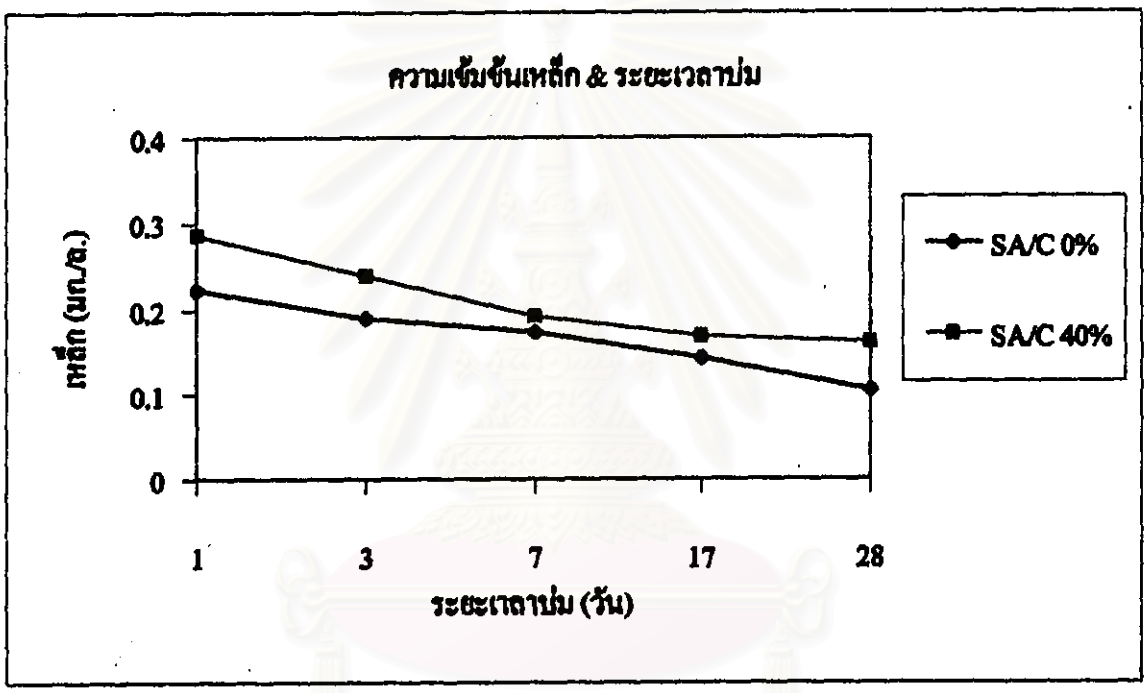
รูปที่ 5.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมกับระยะเวลาบ่ม

2.6 เหล็ก

ค่าความเข้มข้นเหล็กของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 0.223 0.189 0.173 0.141 และ 0.103 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.286 0.240 0.192 0.169 และ 0.160 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.44) (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาบ่ม มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดลงของเหล็ก และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ มีผลผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก) จากรูป 5.47 จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นค่าปริมาณเหล็กมีค่าลดลง เนื่องจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของเหล็กไว้ แต่ในตะกอนโลหะหนักมีส่วนประกอบของเหล็กปะปนอยู่จึงทำการตรวจวัดให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณเหล็ก

ตารางที่ 5.44 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (มก./ล.) ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	0.223	0.189	0.173	0.141	0.103
40	0.286	0.240	0.192	0.169	0.160



รูปที่ 5.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับระยะเวลาบ่ม

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 และ 40 % แปรค่าระยะเวลาบ่มเป็น 1 3 7 14 และ 28 วัน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1.ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

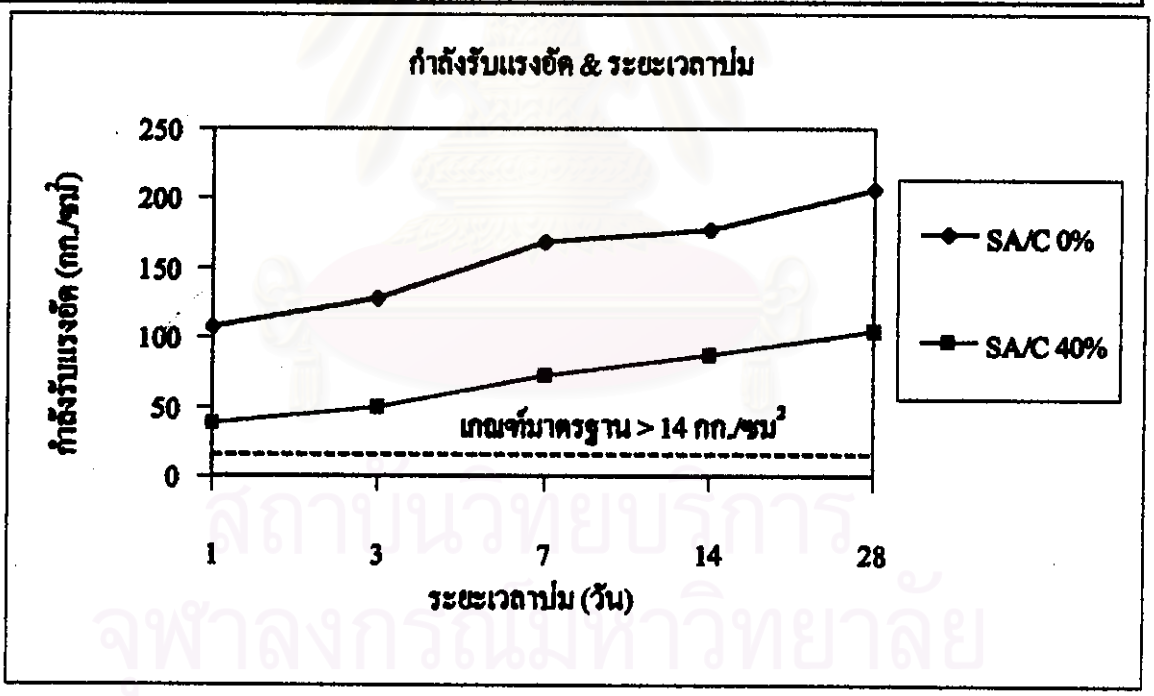
1.1 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 107 128 169 178 และ 206 กก./ซม.^{2} สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

ต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าลดลงเป็น 38 49 73 87 และ 105 กก./ซม.^{2} สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.45) จากรูป 5.48 จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดที่เวลาบ่มดังกล่าวทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.45 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่ากำลังรับแรงอัด (ก.ก./ซ.ม.^{2})				
	ระยะเวลาบ่ม. (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	107	128	169	178	206
40	38	49	73	87	105
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 ก.ก./ซ.ม.^{2}					



รูปที่ 5.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาบ่ม

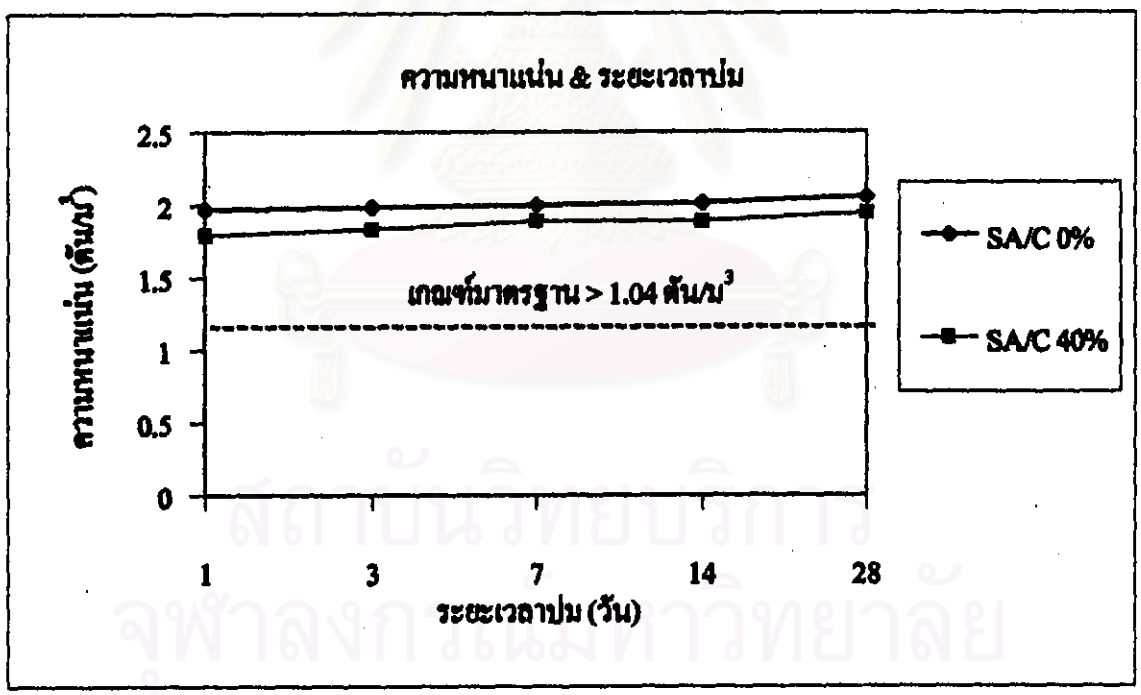
1.2 ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของตะกอนไลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 1.97 1.99 2.00 2.01 และ 2.05 ตัน/ม.^{3} สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าลดลงเป็น 1.79 1.83 1.89 1.89 และ 1.95 ตัน/ม.^{3} สำหรับวัสดุประสาน

ที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.46 และ จากรูป 5.49) จากการพิจารณาค่าความหนาแน่นพบว่าดังกล่าวทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 5.46 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม^3) ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	1.97	1.99	2.00	2.01	2.05
40	1.79	1.83	1.89	1.89	1.95
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3					



รูปที่ 5.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับระยะเวลาบ่ม

2. ทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

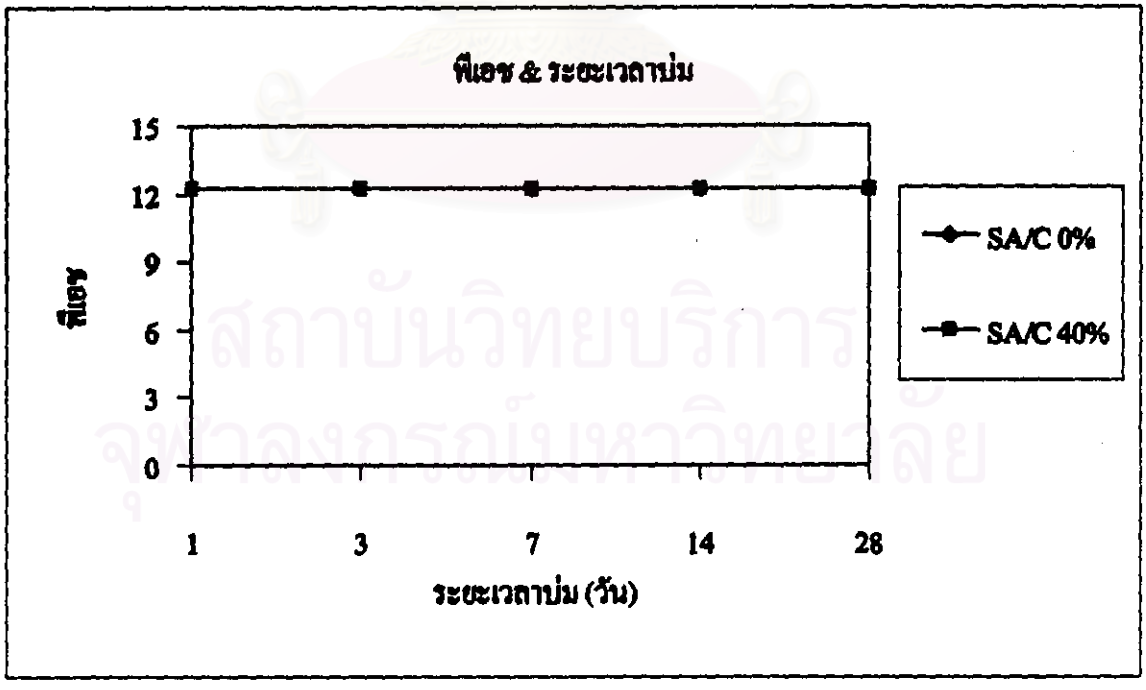
2.1 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 12.20 12.20 12.19 12.19 และ 12.19 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมี ค่า 12.23

12.22 12.21 12.21 และ 12.21 สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.47) จากรูปที่ 5.50 จะเห็นว่าค่าพีเอชที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% มีค่าไม่แตกต่างจากอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0% เป็น 40% มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก และพบว่าค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาบ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชน้อยมาก

ตารางที่ 5.47 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	พีเอช				
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	12.20	12.20	12.19	12.19	12.19
40	12.23	12.22	12.21	12.21	12.21



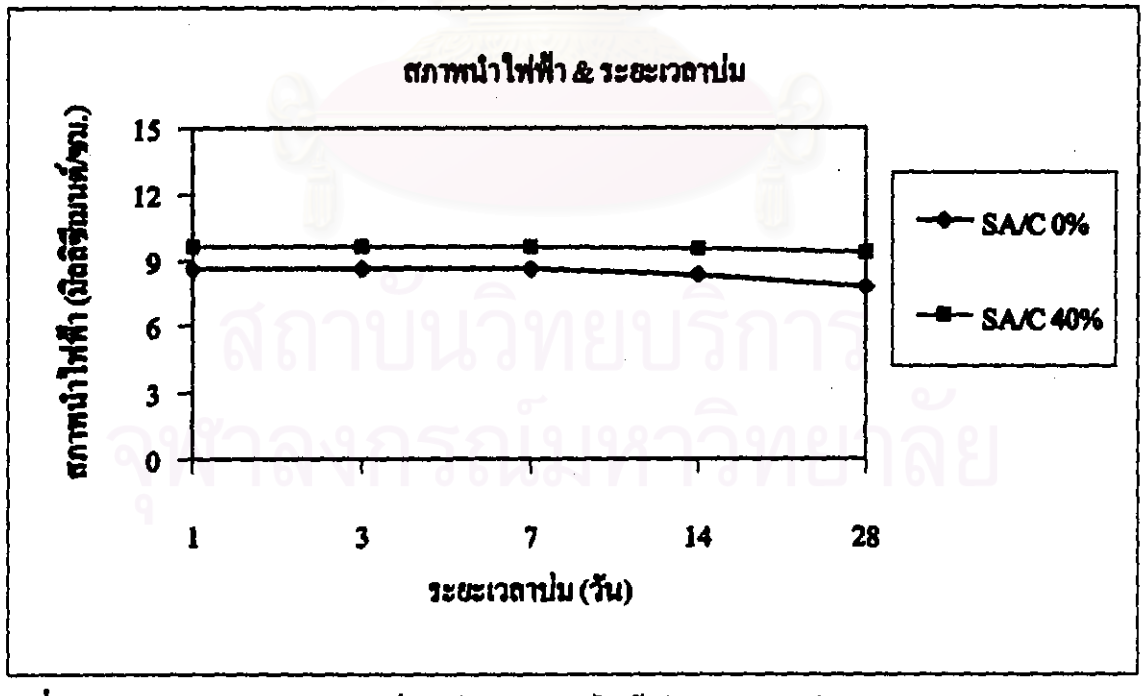
รูปที่ 5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับระยะเวลาบ่ม

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 8.56 8.64 8.60 8.34 และ 7.79 มิลลิซีเมนต์/ซม. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 9.62 9.61 9.56 9.47 และ 9.31มิลลิซีเมนต์/ซม. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.48 และ จากรูป 5.51) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาบ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพนำไฟฟ้าน้อยมากในขณะที่ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 0% เป็น 40%

ตารางที่ 5.48 แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ต่อปูนซีเมนต์ (%)	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)				
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	8.56	8.64	8.60	8.34	7.79
40	9.62	9.61	9.56	9.47	9.31



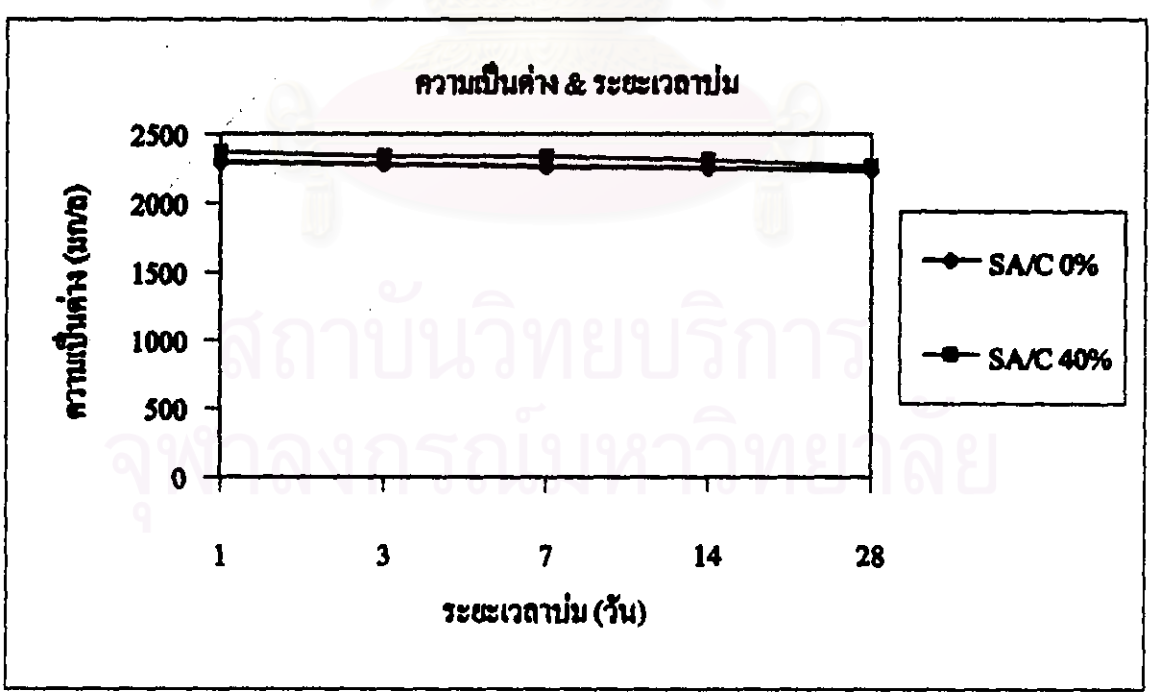
รูปที่ 5.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับระยะเวลาบ่ม

2.3 ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 2,300 2,280 2,270 2,250 และ 2,240 มก./ล.ของหินปูน สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 2,367 2,337 2,333 2,313 และ 2,267 มก./ล.ของหินปูน สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.49) จากรูป 5.52 จะเห็นว่าค่าความเป็นด่างเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าระยะเวลาบ่มมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างน้อยมาก

ตารางที่ 5.49 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ต่อปูนซีเมนต์ (%)	ความเป็นด่าง (มก./ล.) ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
10	2300	2280	2270	2250	2240
40	2367	2337	2333	2313	2267



รูปที่ 5.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับระยะเวลาบ่ม

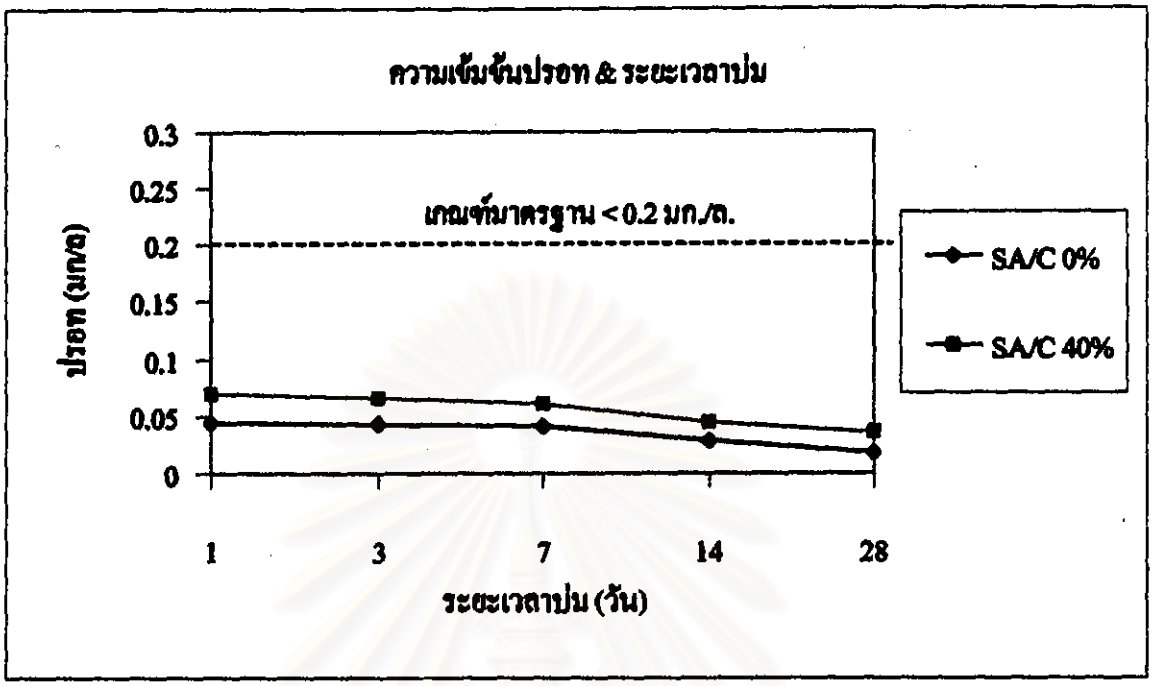
2.4 ปรอท

ค่าความเข้มข้นปรอทของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 มีค่า 0.044 0.042 0.040 0.028 และ 0.018 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.069 0.066 0.061 0.044 และ 0.035 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.50) จากรูป 5.53 จะเห็นว่าช่วงระยะเวลาบ่ม 1 3 และ 7 วัน ค่าความเข้มข้นปรอทมีค่าค่อนข้างคงที่ และจะลดลงในช่วงที่ระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 14 และ 28 วัน (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาบ่ม มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดลงของปรอท และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ มีผลผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของปรอท) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (น้อยกว่า 0.2 มก./ล.) พบว่าทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลองมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.50 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.) ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	0.044	0.042	0.040	0.028	0.018
40	0.069	0.066	0.061	0.044	0.035
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 ม.ก./ล.					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



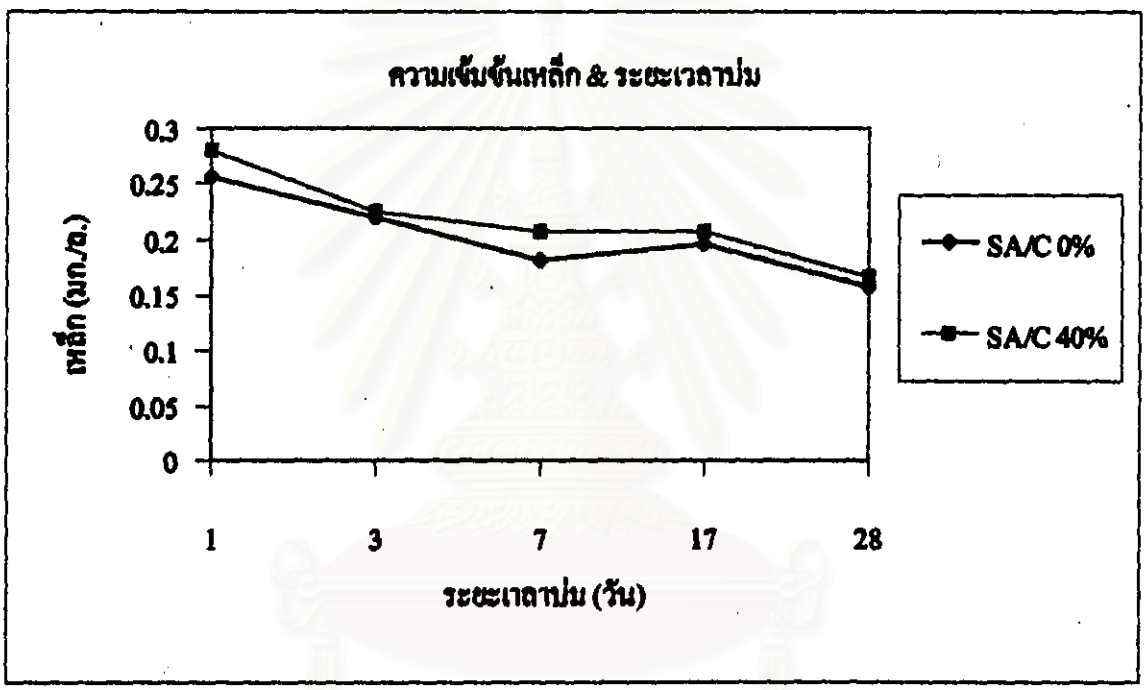
รูปที่ 5.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทกับระยะเวลาบ่ม

2.5 เหล็ก

ค่าความเข้มข้นเหล็กของน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 0.257 0.219 0.181 0.196 และ 0.157 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.279 0.225 0.207 0.206 และ 0.166 มก./ล. สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.50) จากรูป 5.54 จะเห็นว่าวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 และ 7 วัน ค่าความเข้มข้นของเหล็กจะลดลงตามระยะเวลาบ่ม และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะเวลาบ่ม 14 วัน และจะมีค่าลดลงอีกเมื่อมีระยะเวลาบ่ม 28 วัน ส่วนวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40%จะมีค่าความเข้มข้นของเหล็กลดลงตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าความเข้มข้นของเหล็กมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น (ผลการคำนวนทางสถิติในภาคผนวก ฉ. แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาบ่ม/มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดลงของเหล็ก และการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์/มีผลผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเพิ่มขึ้นของเหล็ก)

ตารางที่ 5.51 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (ม.ก./ล.) ระยะเวลาบ่ม (วัน)				
	1	3	7	14	28
0	0.257	0.219	0.181	0.196	0.157
40	0.279	0.225	0.207	0.206	0.166



รูปที่ 5.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับระยะเวลาบ่ม

3. การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น

การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำของเสียให้เป็นก้อน โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสาน จะพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ซึ่งกำหนดให้มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 14 กก./ซม.^{2} ความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตัน/ม^3 และเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยพิจารณาโลหะหนักเฉพาะปรอท และโครเมียม ลักษณะสมบัติของสารมีพิษจะต้องมีปริมาณปรอทในน้ำสกัดมากกว่า 0.2 มก./ล. และมีปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดมากกว่า 5 มก./ล.

3.1 การทำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นพบว่าที่ทุกระยะเวลาบ่มสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท (ตารางที่ 5.42)และโครเมียม(ตารางที่ 5.43) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทและโครเมียมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมี ดังนี้

1. อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25
   อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40%
   อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50
   ระยะเวลาบ่ม 7 14 และ 28 วัน

3.2 การทำตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นพบว่าที่ทุกระยะเวลาบ่ม สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท(ตารางที่ 5.50) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ

1. อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75
   อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40%
   อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50
   ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 3/2 ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมของตะกอนปรอทซัลไฟด์เพิ่มเติม

เนื่องจากลักษณะสมบัติของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมของตะกอนโลหะหนักซัลไฟด์ที่ได้จากการทดลองที่ 3/1 มีค่าดีกว่าเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด อยู่มาก จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลของการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ต่อกระบวนการทำให้เป็นก้อน โดยแปรค่าซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เป็น 50 60 70 80 90 และ 100% โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนดังนี้

ก.ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว โดยแปรค่าซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เป็น 50 60 70 80 90 และ 100% สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1.ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

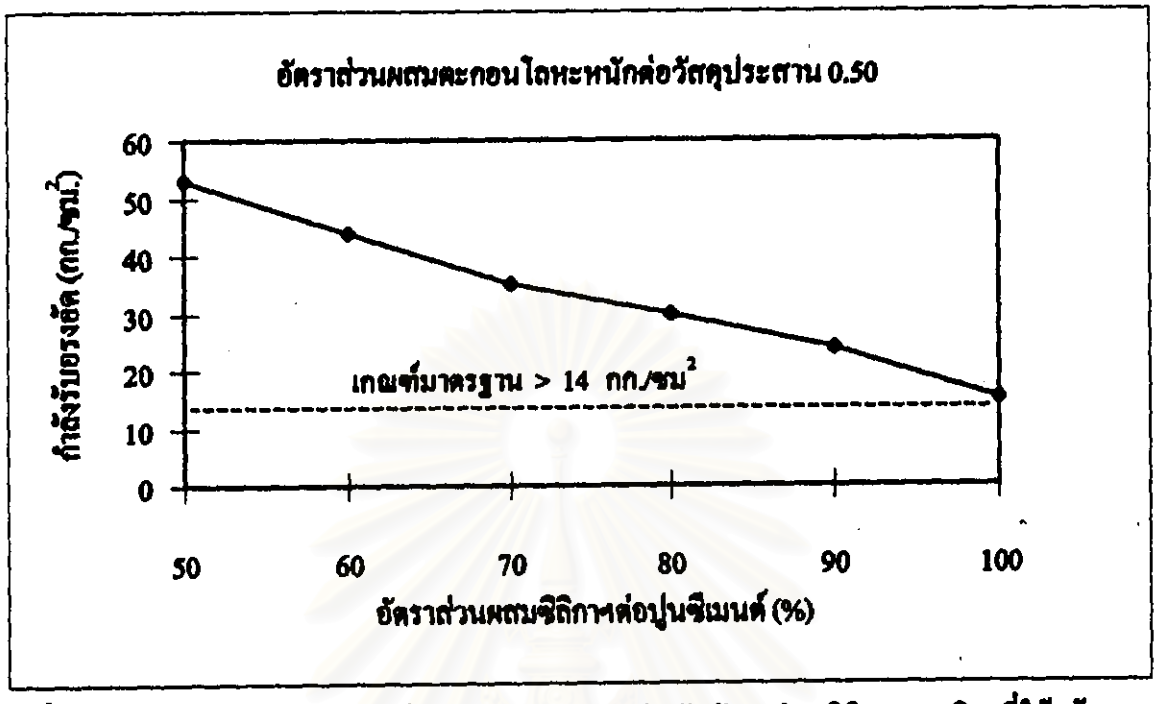
1.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.52 และกราฟรูปที่ 5.55 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันลดลงตามลำดับ โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 53 44 35 30 24 และ 15 ก.ก./ซม.^{2} เมื่อใช้อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ

ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงโดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในทุกๆอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 14 ก.ก./ซม.^{2})

ตารางที่ 5.52 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	53	44	35	30	24	15
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 ก.ก./ซ.ม.^{2}						



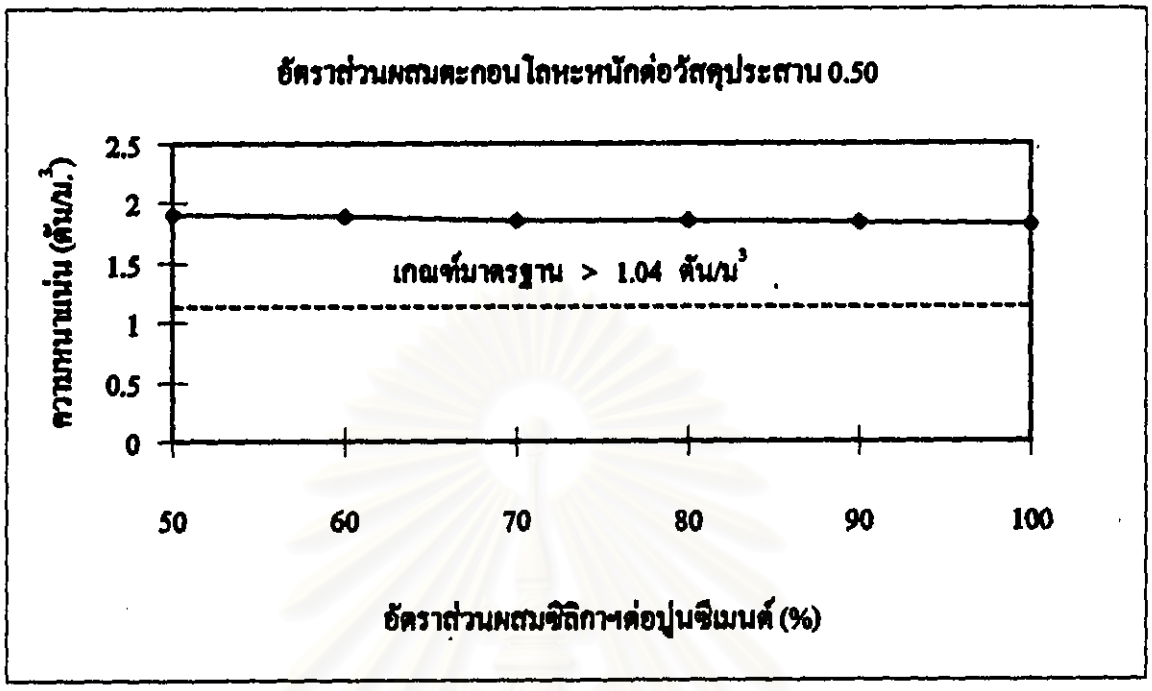
รูปที่ 5.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

1.2 ความหนาแน่น

การเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จาก 50% จนถึง 100 % จะมีค่า 1.91 1.88 1.86 1.85 1.84. และ 1.82 ตัน/ม^3 ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ100 % ตามลำดับ ผลของการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงเล็กน้อย (ตารางที่ 5.53 และรูปที่ 5.56) เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าสูงกว่า 1.04 ตัน/ม^3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

ตารางที่ 5.53 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม.^{3})					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	1.91	1.88	1.86	1.85	1.84	1.82
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3.						



รูปที่ 5.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

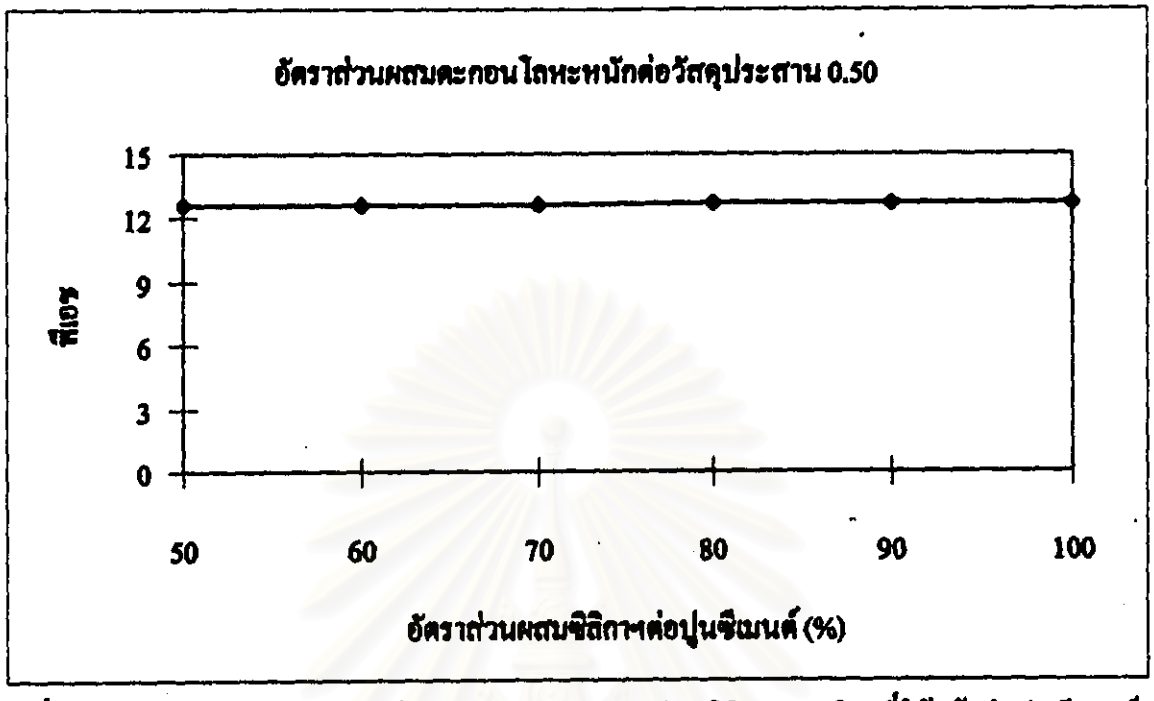
2. ทดสอบการชะละลายของตะกอนไลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

2.1 พีเอช

ค่าพีเอชของน้ำสกัดมีค่า 12.65 12.65 12.65 12.66 12.66 และ 12.67 ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ ผลของการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (ตารางที่ 5.54 และรูปที่ 5.57)

ตารางที่ 5.54 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	พีเอช					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	12.65	12.65	12.65	12.66	12.66	12.67



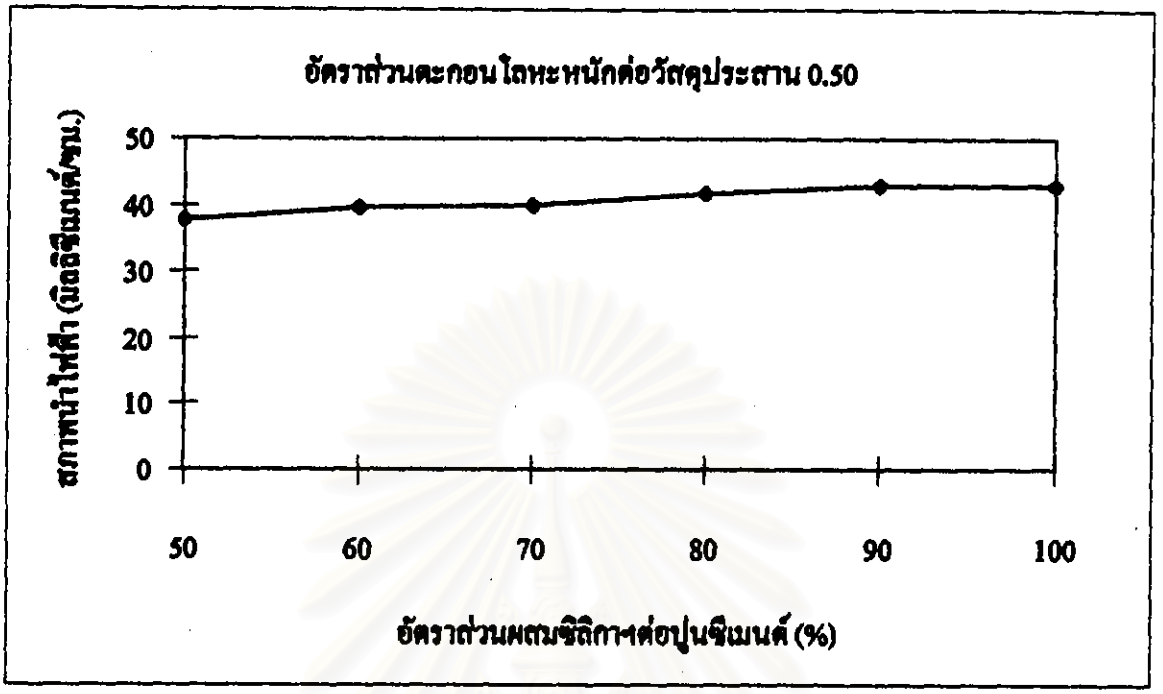
รูปที่ 5.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

ค่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่า 37.55 39.70 39.85 41.80 42.85 และ 42.93 มิลลิซีเมนต์/ซม. ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 5.58 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 5.55แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	37.55	39.70	39.85	41.80	42.85	42.93



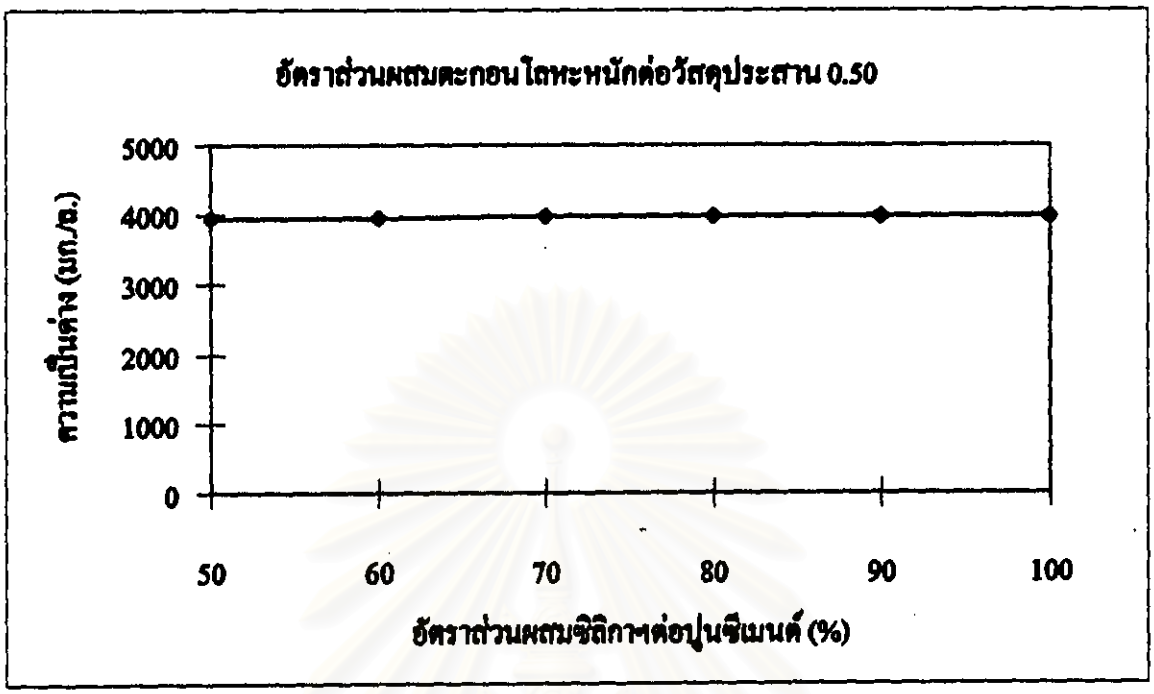
รูปที่ 5.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

2.3 ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดมีค่า 3935 3950 3965 3965 3975 และ 3980 มก./ล.ของหินปูนที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ จากรูปที่ 5.59 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ทำให้ค่าความเป็นด่างมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 5.56 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ความเป็นด่าง (มก./ล.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	3935	3950	3965	3965	3975	3980



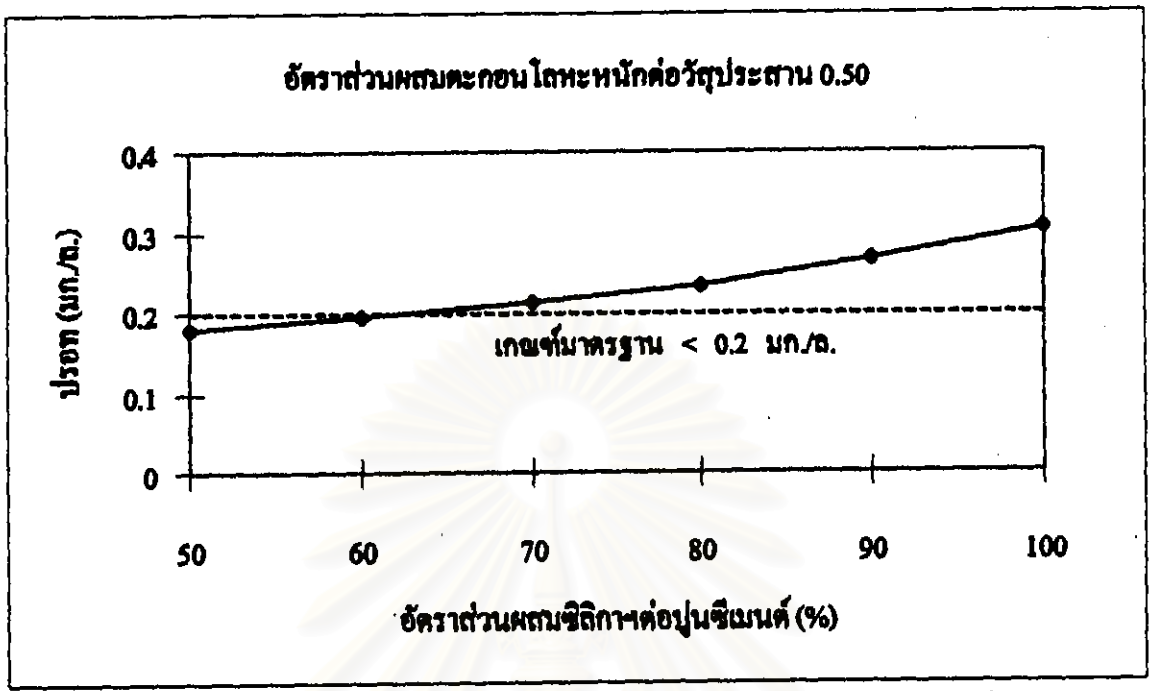
รูปที่ 5.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

2.4 ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดมีค่า 0.179 0.194 0.213 0.232 0.265 และ 0.304 มก./ล. เมื่อใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 5.60 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์มีผลทำให้ความเข้มข้นของปรอทสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 0.2 มก./ล. แล้วพบว่าที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 และ 60% สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 70 80 90 และ 100% มีค่าความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดสูงเกินมาตรฐาน

ตารางที่ 5.57 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ปรอท (มก./ล.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	0.179	0.194	0.213	0.232	0.265	0.304
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 มก./ล.						



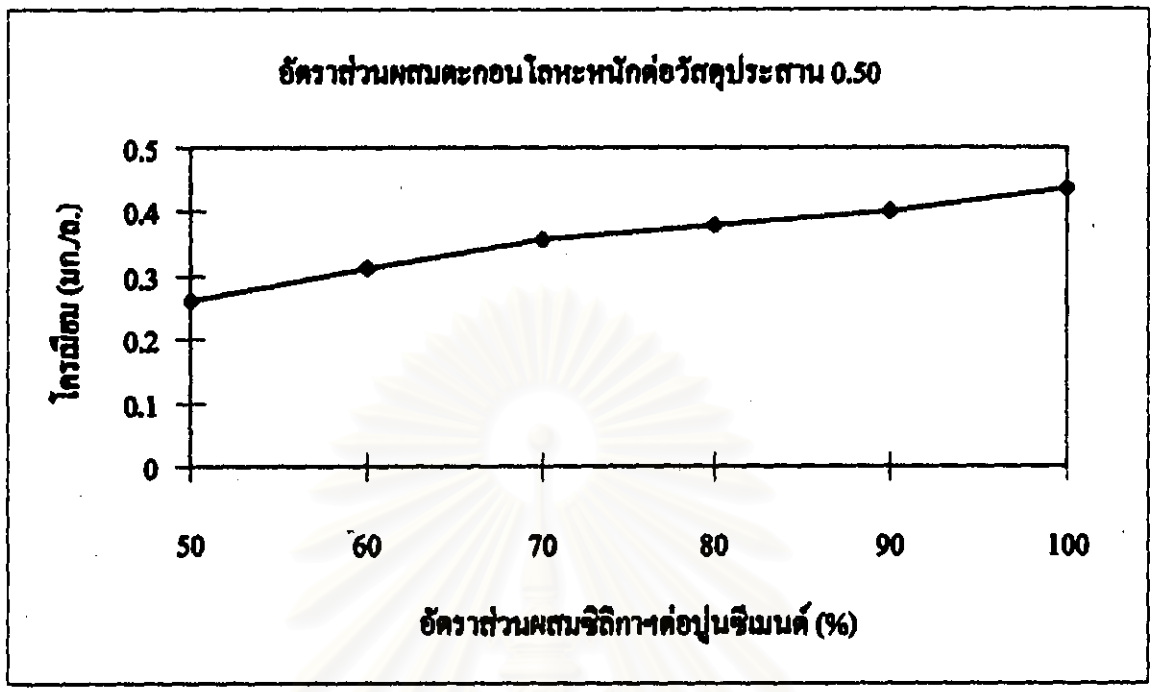
รูปที่ 5.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

2.5 โครเมียม

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่า 0.261 0.312 0.357 0.380 0.402 และ 0.437 มก./ล. ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100% ตามลำดับ จากรูปที่ 5.61 การเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 5 มก./ล. แล้วพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าต่ำกว่า 5 มก./ล. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

ตารางที่ 5.58 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	โครเมียม (มก./ล.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	0.261	0.312	0.357	0.380	0.402	0.437
เกณฑ์มาตรฐาน < 5.0 มก./ล.						



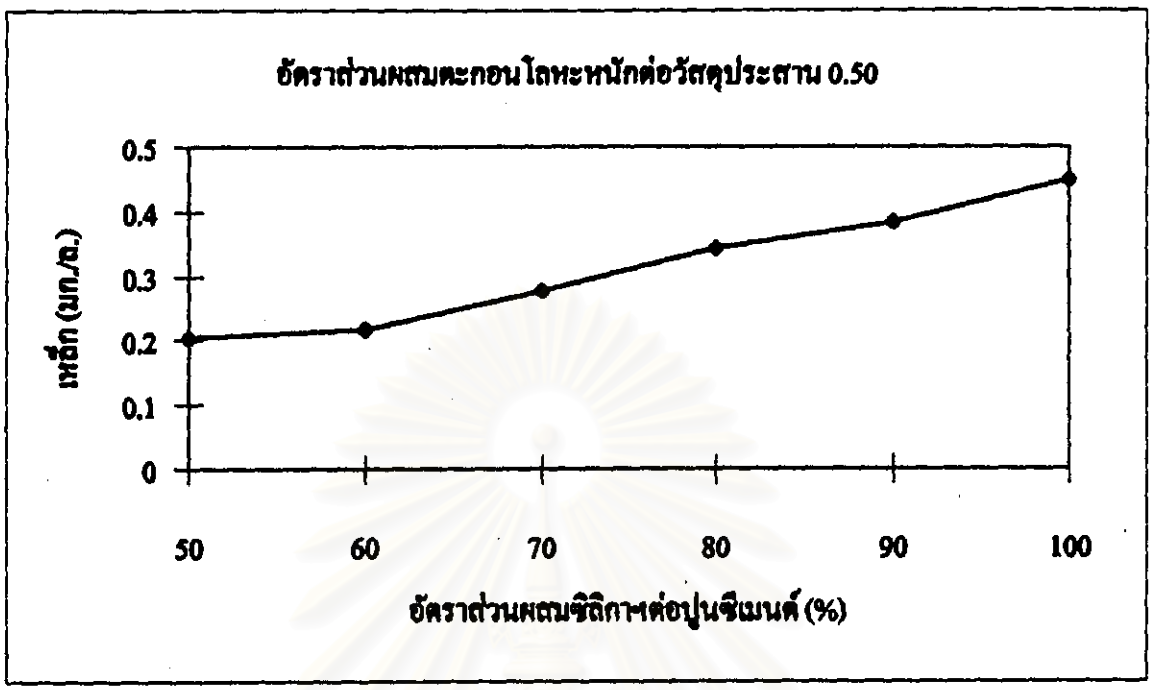
รูปที่ 5.61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

2.6 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมีค่า 0.205 0.218 0.278 0.343 0.383 และ 0.449 มก./ล. สำหรับตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100% ตามลำดับ จากรูปที่ 5.62 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.59 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	เหล็ก (มก./ล.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.50	0.205	0.218	0.278	0.343	0.383	0.449



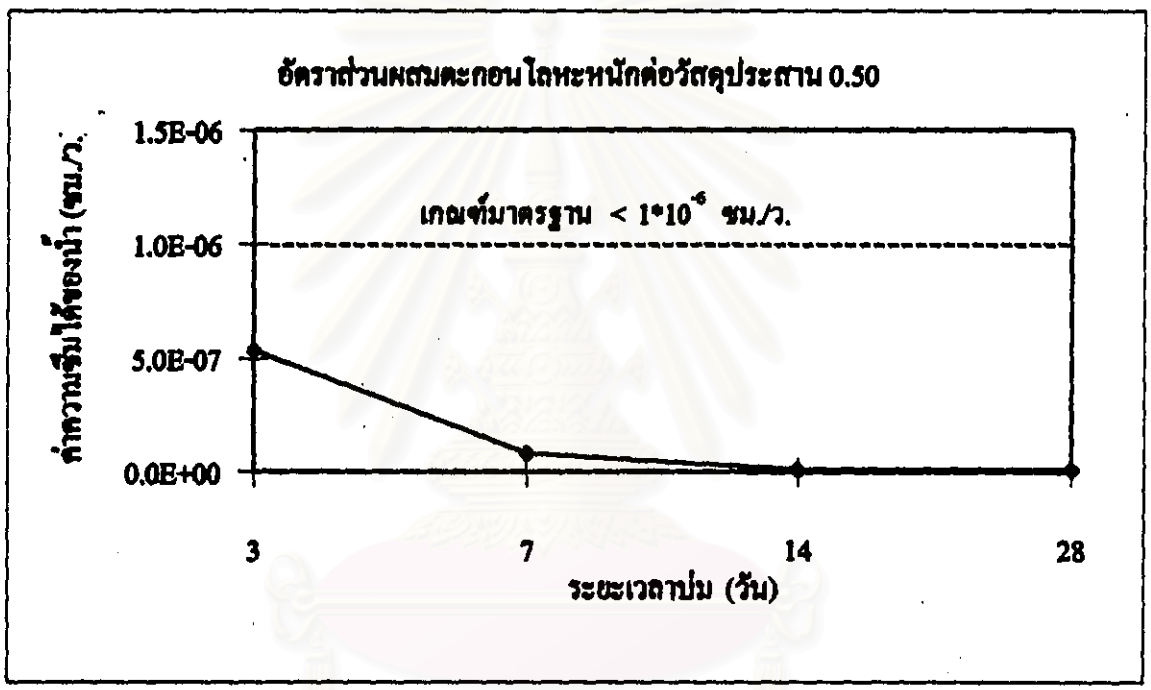
รูปที่ 5.62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

3. ความซึมได้ของน้ำ (Permeability)

การทดสอบความซึมได้ของน้ำของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนนั้น ทำการทดสอบที่ แผนกปฐพีวิทยา กองธรณีปฐพีวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยใช้ตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 60 % (อัตราส่วนข้างต้นเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากผลการทดลองที่ผ่านมา) แปรค่าระยะเวลาบ่มเป็น 3 7 14 และ 28 วัน โดยวิธี Various Constant Head Permeability Test ดังแสดงผลการทดสอบในตาราง 5.60 และรูปที่ 5.63 พบว่า ค่าความซึมได้ของน้ำที่ระยะเวลาบ่มต่างๆมีค่า $5.32*10^{-7}$ $7.64*10^{-8}$ $1.13*10^{-8}$ และ $5.91*10^{-9}$ ซม./ว. ที่ระยะเวลาบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้นค่าความซึมได้ของน้ำจะมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานพบว่า ค่าความซึมได้ของน้ำของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน โดยวัสดุประสานดังกล่าวข้างต้น มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (น้อยกว่า $1*10^{-6}$ ซม./ว)

ตารางที่ 5.60 แสดงผลการทดสอบความซึมได้ของน้ำกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความซึมได้ของน้ำ (ซม./ว.) ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	3	7	14	28
60	$5.32*10^{-7}$	$7.64*10^{-8}$	$1.13*10^{-8}$	$5.91*10^{-9}$
เกณฑ์มาตรฐาน $< 1*10^{-6}$ ซม./ว.				



รูปที่ 5.63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความซึมได้ของน้ำกับระยะเวลาบ่ม

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้ระยะเวลาบ่ม 3 วัน(เนื่องจากก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 1 วัน จะมีปัญหาในการแกะก้อนตัวอย่างออกจากแบบหล่อมากจึงเลือกที่จะใช้ระยะเวลาบ่ม 3 วัน)ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เป็น 50 60 70 80 90 และ 100% สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1.ลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

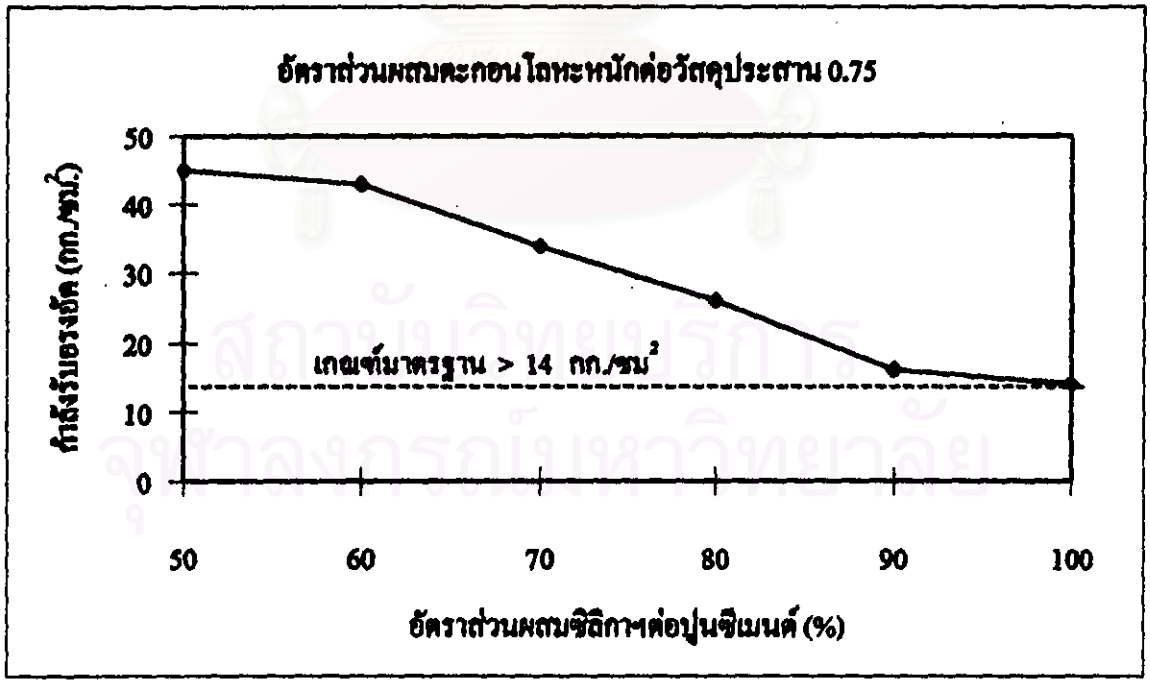
1.1 กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.61 และกราฟรูปที่ 5.64 แสดงผลการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันลดลงตามลำดับ โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 45 43 34 26 16 และ 14 ก.ก./ซม.^{2} เมื่อใช้อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ

ดังนั้นการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ จะมีผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงโดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในทุกๆอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน (สูงกว่า 14 ก.ก./ซม.^{2})

ตารางที่ 5.61 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ซม.^{2})					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.75	45	43	34	26	16	14
เกณฑ์มาตรฐาน > 14 ก.ก./ซ.ม.^{2}						



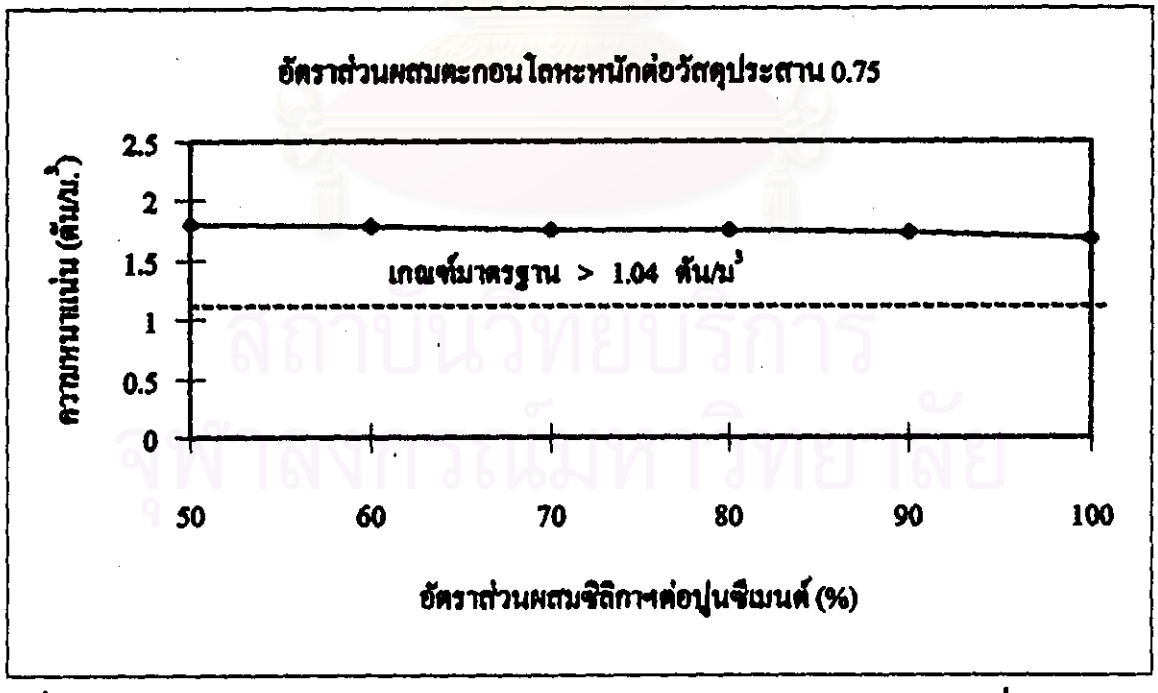
รูปที่ 5.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

1.2 ความหนาแน่น

จากตารางที่ 5.62 ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % จะมีค่าความหนาแน่น 1.81 1.79 1.76 1.75 1.74 และ 1.69 ตัน/ม^3 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.65 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าสูงกว่า 1.04 ตัน/ม^3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

ตารางที่ 5.62 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ม^3.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.75	1.81	1.79	1.76	1.75	1.74	1.69
เกณฑ์มาตรฐาน > 1.04 ตัน/ม^3.						



รูปที่ 5.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

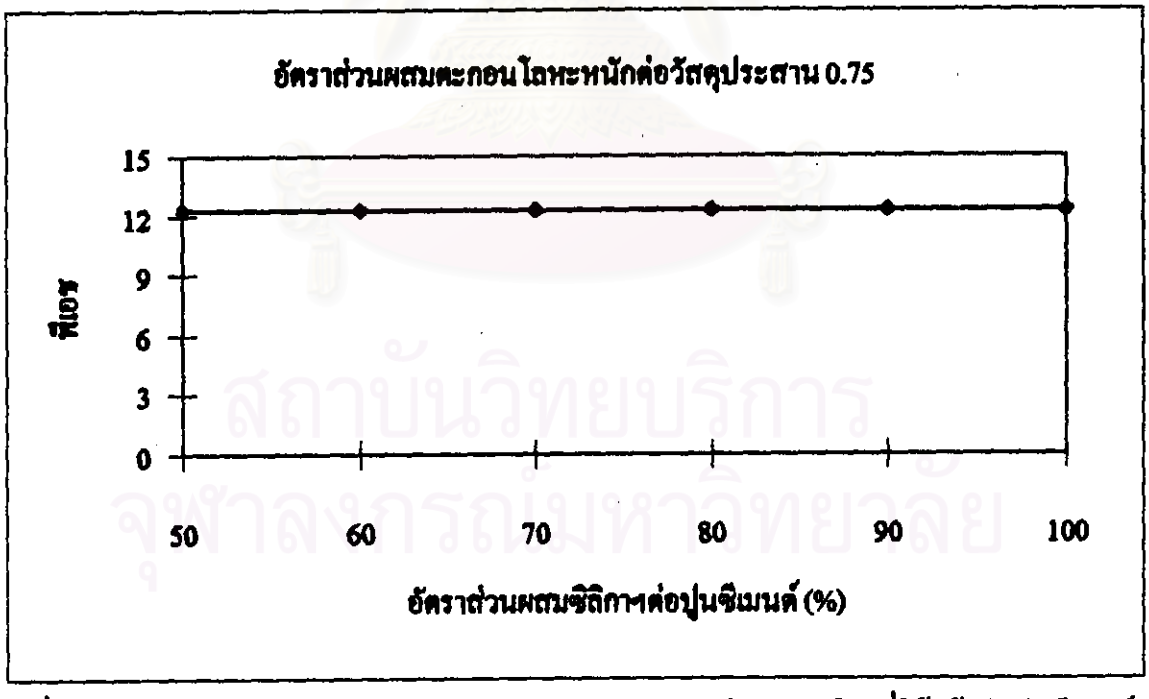
2. ทดสอบการชะละลายของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน

2.1 พีเอช

จากตารางที่ 5.63 ค่าพีเอชของน้ำสกัดมีค่า 12.22 12.23 12.23 12.23 12.24 และ 12.25 ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ จากรูปที่ 5.66 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ตารางที่ 5.63 แสดงผลการวิเคราะห์พีเอชกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	พีเอช					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.75	12.22	12.23	12.23	12.23	12.24	12.25



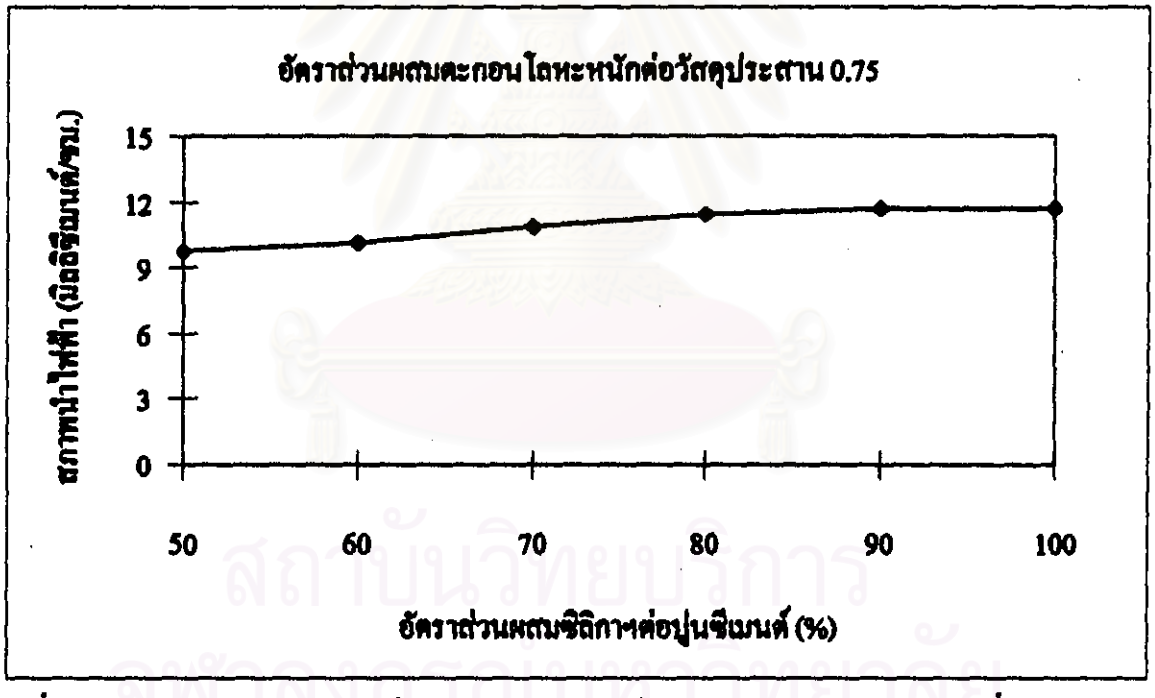
รูปที่ 5.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

2.2 สภาพนำไฟฟ้า

จากตารางที่ 5.64 ค่าสภาพนำไฟมีค่าอยู่ 9.76 10.12 10.89 11.41 11.66 และ 11.71 มิลลิซีเมนต์/ซม. ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 5.67 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 5.64 แสดงผลการวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	สภาพนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.75	9.76	10.12	10.89	11.41	11.66	11.71



รูปที่ 5.67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

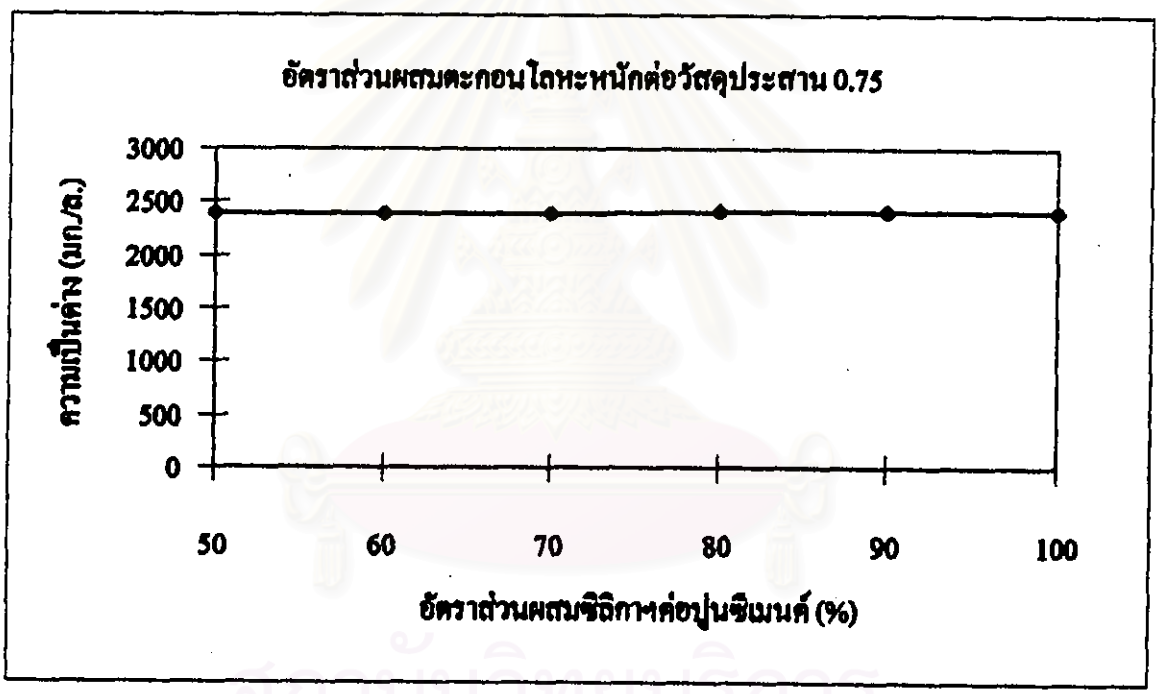
2.3 ความเป็นด่าง

ค่าความเป็นด่างของน้ำสกัดมีค่า 2385 2395 2400 2405 2410 และ 2420 มก./ล.ของหินปูน ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ จากรูป

ที่ 5.68 ผลของการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ทำให้ค่าความเป็นด่างมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 5.65 แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นด่างกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ความเป็นด่าง (มก./ล.) ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.75	2385	2395	2400	2405	2410	2420



รูปที่ 5.68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

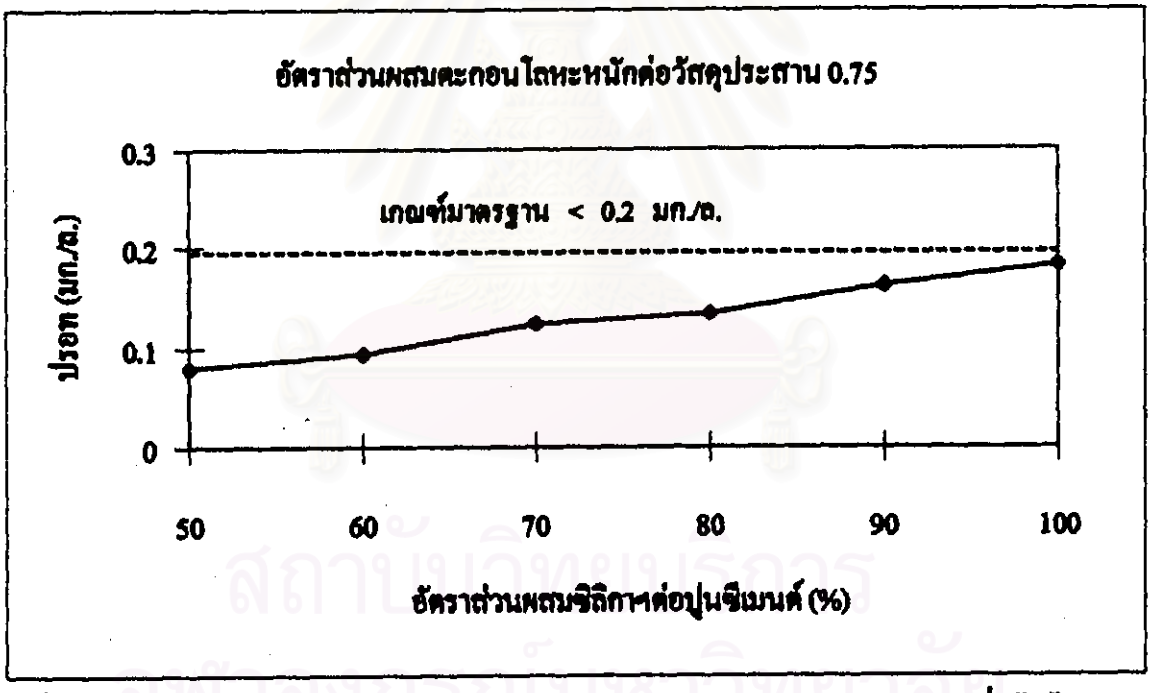
2.4 ปรอท

จากตารางที่ 5.66 ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดมีค่า 0.080 0.094 0.124 0.133 0.163 และ 0.183 มก./ล. เมื่อใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 % ตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 5.69 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อ

ปูนซีเมนต์มีผลทำให้ความเข้มข้นของปรอทสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับเกณฑ์มาตรฐานที่ 0.2 มก./ล. สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกอัตราส่วน

ตารางที่ 5.66 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอทกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	ปรอท (มก./ล.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.75	0.080	0.094	0.124	0.133	0.163	0.183
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 มก./ล.						



รูปที่ 5.69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

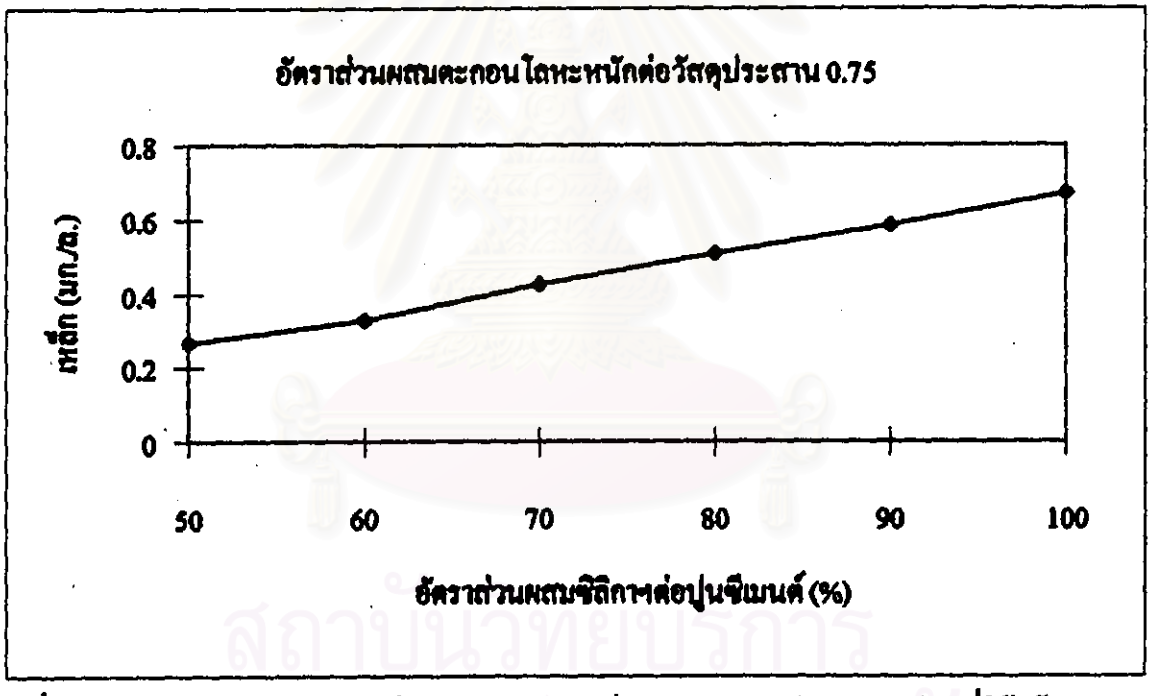
2.6 เหล็ก

ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมีค่า 0.264 0.328 0.424 0.508 0.580 และ 0.668 มก./ล. สำหรับตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100% ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.70 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะมีผลให้ปริมาณเหล็กในน้ำสกัดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.67 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

อัตราส่วนผสมของตะกอนต่อวัสดุประสาน	เหล็ก (มก./ล.)					
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)					
	50	60	70	80	90	100
0.75	0.264	0.328	0.424	0.508	0.580	0.668



รูปที่ 5.70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

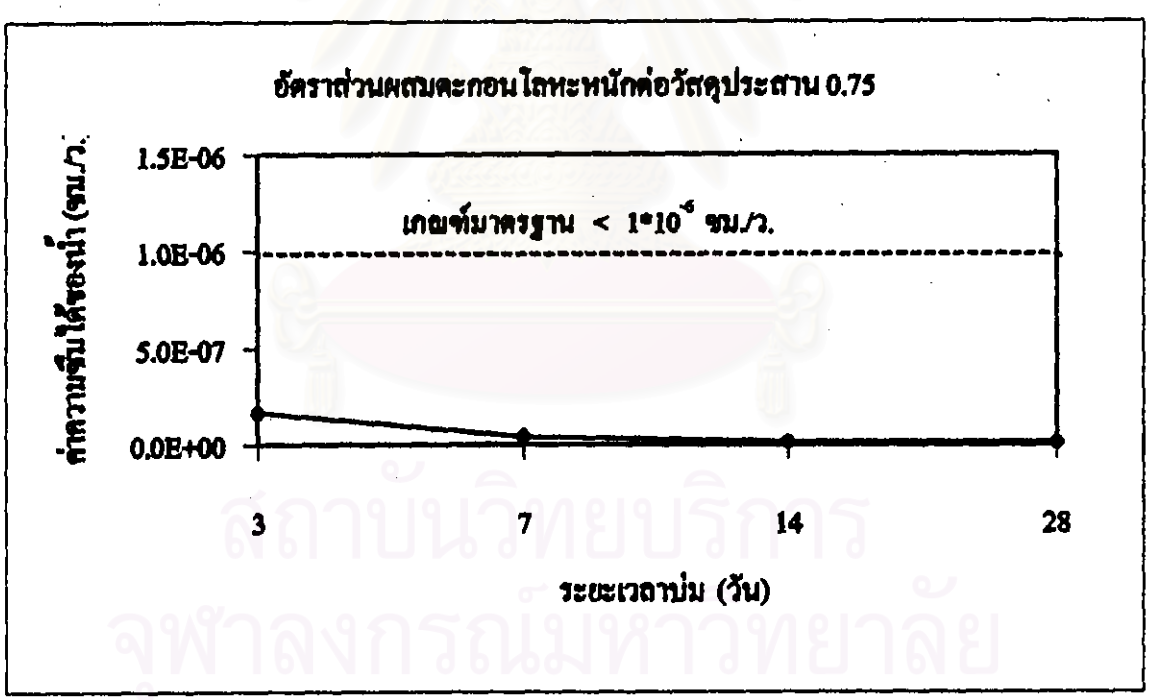
3. ความซึมได้ของน้ำ

ใช้ตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 100 % (อัตราส่วนข้างต้นเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากผลการทดลองที่ผ่านมา) แปรค่าระยะเวลาบ่มเป็น 3 7 14 และ 28 วัน ดังแสดงผลการทดสอบในตาราง 5.68 และรูปที่ 5.71 พบว่า ค่าความซึมได้ของน้ำที่ระยะเวลาบ่มต่างๆมีค่า

$1.70*10^{-7}$ $4.21*10^{-8}$ $1.48*10^{-8}$ และ $8.41*10^{-9}$ ซม./ว. ที่ระยะเวลาบ่ม 3 7 14 และ 28 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น ค่าความซึมได้ของน้ำจะมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานพบว่า ค่าความซึมได้ของน้ำของตะกอนโลหะหนักที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน โดยวัสดุประสานดังกล่าวข้างต้น มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (น้อยกว่า $1*10^{-6}$ ซม./ว)

ตารางที่ 5.68 แสดงผลการทดสอบความซึมได้ของน้ำกับระยะเวลาบ่ม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ค่าความซึมได้ของน้ำ (ซม./ว.)			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	3	7	14	28
100	$1.70*10^{-7}$	$4.21*10^{-8}$	$1.48*10^{-8}$	$8.41*10^{-9}$
เกณฑ์มาตรฐาน > $1*10^{-6}$ ซม./ว.				



รูปที่ 5.71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความซึมได้ของน้ำกับระยะเวลาบ่ม

4. เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของน้ำชะละลายของตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ต่างๆ

ก) ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

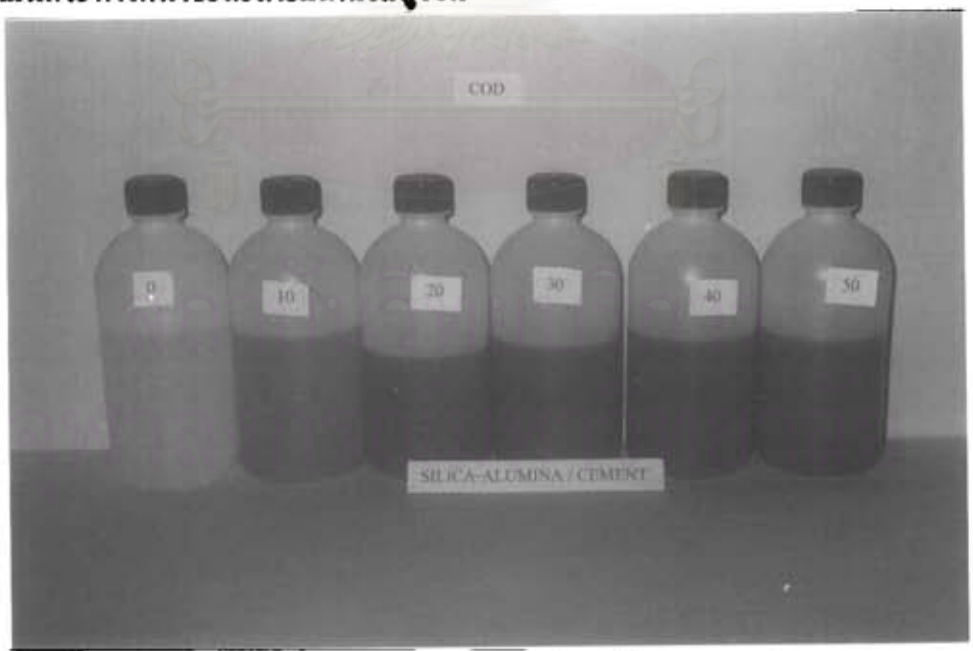
ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% ถึง 100% อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

1) ค่าพีเอช

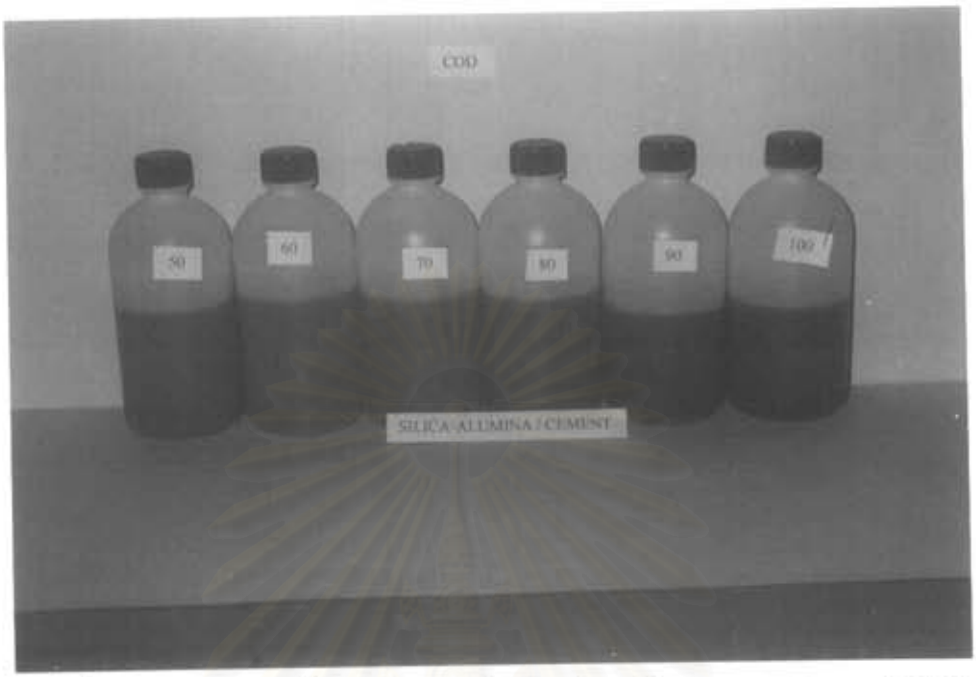
จากตารางที่ 5.9 และตารางที่ 5.54 จะพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลายที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 และ 100 % มีค่าระหว่าง 12.54 ถึง 12.67 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นผลของการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานจะทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2) สี

จากรูปที่ 5.72 และ รูปที่ 5.73 จะพบว่าสีของน้ำชะละลายที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% จะมีลักษณะใสไม่มีสี แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเสียซิลิกา-อลูมินาจาก 10% ถึง 100% จะพบว่าน้ำชะละลายจะมีลักษณะใสและมีสีส้มออกแดง โดยมีความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผลการเพิ่ม %ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้น้ำชะละลายมีสีที่เข้มสูงขึ้น



รูปที่ 5.72 ภาพแสดง น้ำชะละลายของตัวอย่างซีเมนต์ผสมตะกอนโลหะหนักซีโอดี (อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 10 20 30 40 และ 50 %)



รูปที่ 5.73 ภาพแสดง น้ำชะละลายของตัวอย่างซีเมนต์ผสมตะกอนไลหะหนักซีโอดี (อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 %)

ข) ตะกอนไลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

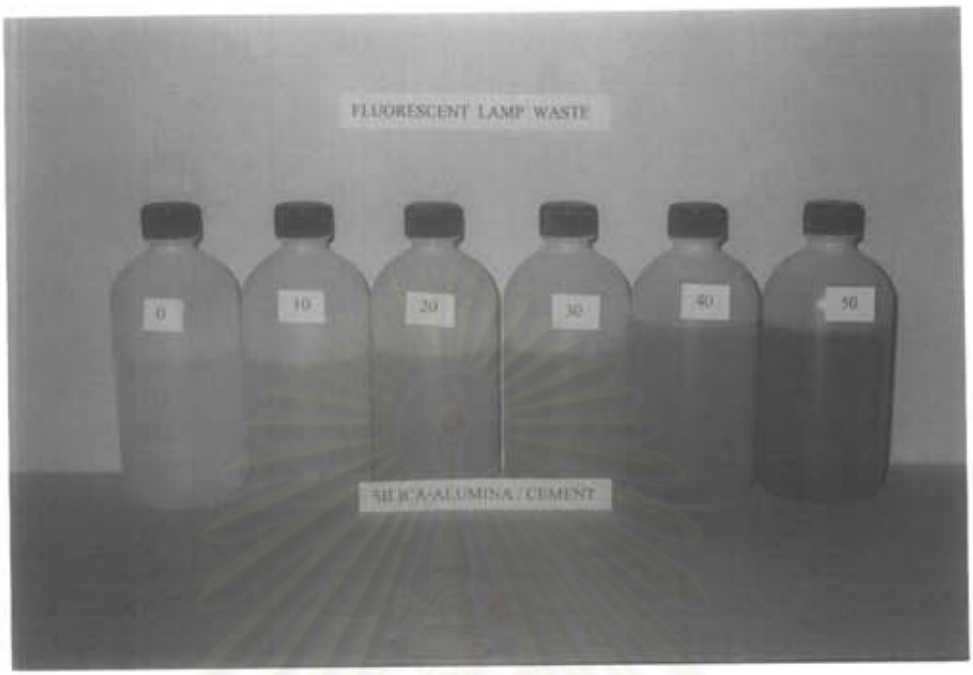
ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนไลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 0% ถึง 100% อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

1) ค่าพีเอช

จากตารางที่ 5.17 และตารางที่ 5.63 จะพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลายที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 และ 100 % มีค่าระหว่าง 12.18 ถึง 12.25 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นผลของการเพิ่ม % ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2) สี

จากรูปที่ 5.74 และ รูปที่ 5.75 จะพบว่าสีของน้ำชะละลายที่อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% จะมีลักษณะใสไม่มีสี แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเสียซิลิกา-อะลูมินาจาก 10% ถึง 100% จะพบว่าน้ำชะละลายจะมีลักษณะใสและมีสีส้มออกแดง โดยมีความเข้มข้นของสีเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผลการเพิ่ม %ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์จะทำให้น้ำชะละลายมีสีที่เข้มสูงขึ้น



รูปที่ 5.74 ภาพแสดง น้ำชะละลายของตัวอย่างซีเมนต์ผสมกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 10 20 30 40 และ 50 %)

รูปที่ 5.75 ภาพแสดง น้ำชะละลายของตัวอย่างซีเมนต์ผสมกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 50 60 70 80 90 และ 100 %)

5. การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม

การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำของเสียให้เป็นก้อน โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสาน จะพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานของเสียที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ซึ่งกำหนดให้มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 14 กก./ซม.^{2} ความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.04 ตัน/ม^3 และเกณฑ์มาตรฐานสารมีพิษของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยพิจารณาโลหะหนักเฉพาะปรอท และโครเมียม ลักษณะสมบัติของสารมีพิษจะต้องมีปริมาณปรอทในน้ำสกัดมากกว่า 0.2 มก./ล. และมีปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดมากกว่า 5 มก./ล.

5.1การทำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นพบว่าที่ทุกระยะเวลาบ่มตัวสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท (ตารางที่ 5.57) และโครเมียม (ตารางที่ 5.58) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทและโครเมียมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมี ดังนี้

1. อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน	0.50
อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	60%
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	0.50
ระยะเวลาบ่ม	7 14 และ 28 วัน

5.2การทำตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากการพิจารณากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นพบว่าที่ทุกระยะเวลาบ่มตัว สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้างต้น และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบการชะละลายของปรอท (ตารางที่ 5.66) พบว่าอัตราส่วนที่สามารถระงับฤทธิ์ปรอทให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ

1. อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน	0.75
อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	100%
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	0.50
ระยะเวลาบ่ม	3 วัน

การทดลองที่ 3/3 เปรียบเทียบวิธีการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) กับ ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (2531)

เนื่องจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ประกาศเปลี่ยนแปลงวิธีการทดสอบการชะละลายสารตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) ซึ่งมีผลบังคับใช้ตามกฎหมายเมื่อวันที่ 13 พ.ย. 2540 แต่ในการทดลองได้ทำการทดสอบการชะละลายตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (2531) ดังนั้นเมื่อได้อัตราส่วนที่ดีที่สุดในการระงับฤทธิ์ตะกอนปรอทซัลไฟด์ตามประกาศกรมโรงงานฯ (2531)แล้ว จึงได้นำอัตราส่วนตะกอนปรอทซัลไฟด์นั้นมาทำการเปรียบเทียบตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค. โดยได้แบ่งเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

ก.ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียชีโอดี

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 60 % สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดตามวิธีในประกาศฯ (2540) มีค่า 0.190 มก./ล. ส่วนตามวิธีในประกาศฯ (2531) มีค่า 0.176 มก./ล. พบว่าการชะละลายสารตามประกาศฯ (2540) จะมีค่าความเข้มข้นของปรอทถูกชะละลายออกมามากกว่าวิธีตามประกาศฯ (2531) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมค่าพีเอชของน้ำชะละลายตามประกาศฯ (2540)ให้มีค่าคงที่ที่ 5.0 จึงทำให้โลหะหนักในตัวอย่างถูกชะละลายออกมามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองวิธีกับมาตรฐานสารมีพิษของปรอทที่ 0.20 มก./ล. แล้วพบว่าค่าที่ได้ยังสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.69 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณปรอท

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.)	
	ประกาศฯ (2540)	ประกาศฯ (2531)
60	0.190	0.176
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 มก./ล.		

2. โครเมียม

ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดตามวิธีในประกาศฯ (2540) มีค่า 0.387 มก./ล. ส่วนตามวิธีในประกาศฯ (2531) มีค่า 0.355 มก./ล. พบว่าการชะละลายสารตามประกาศฯ (2540) จะมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมถูกชะละลายออกมามากกว่าวิธีตามประกาศฯ (2531) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมค่าพีเอชของน้ำชะละลายตามประกาศฯ (2540)ให้มีค่าคงที่ที่ 5.0 จึงทำให้โลหะหนักในตัวอย่างถูกชะละลายออกมามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองวิธีกับมาตรฐานสารมีพิษของโครเมียมที่ 5.0 มก./ล. แล้วพบว่า สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.70 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโครเมียม

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	โครเมียม (มก./ล.)	
	ประกาศฯ (2540)	ประกาศฯ (2531)
60	0.387	0.355
เกณฑ์มาตรฐาน < 5.0 มก./ล.		

3. เหล็ก

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดตามวิธีในประกาศฯ (2540) มีค่า 0.232 มก./ล. ส่วนตามวิธีในประกาศฯ (2531) มีค่า 0.208 มก./ล. พบว่าการชะละลายสารตามประกาศฯ (2540) จะมีค่าความเข้มข้นของเหล็กถูกชะละลายออกมามากกว่าวิธีตามประกาศฯ (2531) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมค่าพีเอชของน้ำชะละลายตามประกาศฯ (2540)ให้มีค่าคงที่ที่ 5.0 จึงทำให้โลหะหนักในตัวอย่างถูกชะละลายออกมามากกว่า

ตารางที่ 5.71 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเหล็ก

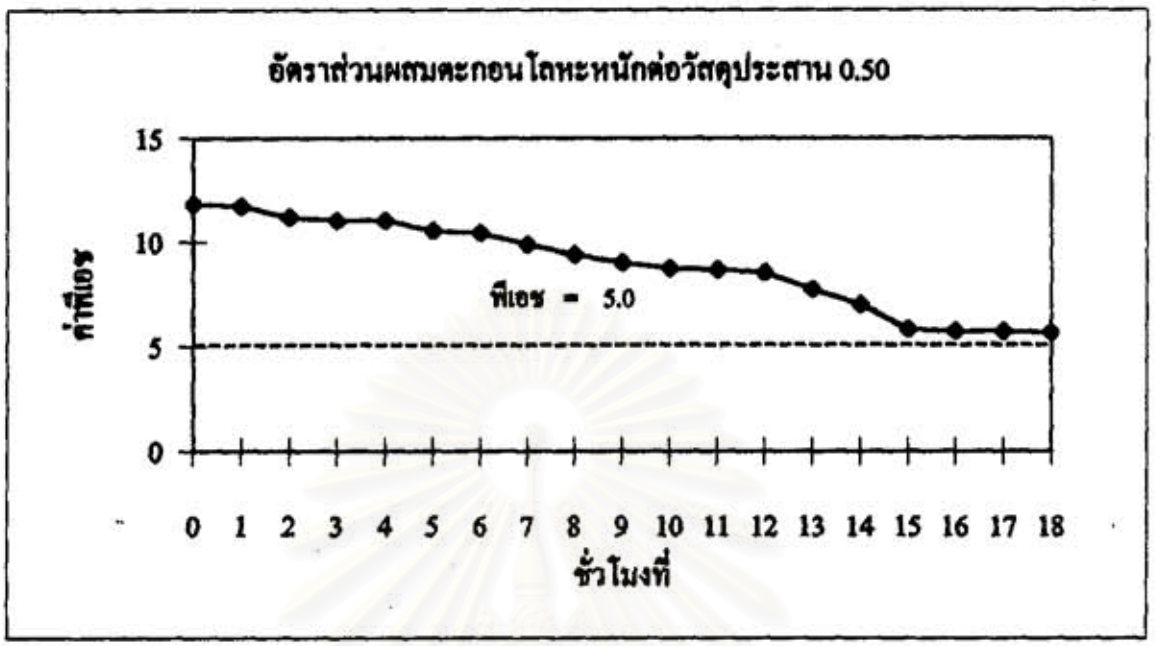
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (มก./ล.)	
	ประกาศฯ (2540)	ประกาศฯ (2531)
60	0.232	0.208

4. ค่าพีเอช

เนื่องจากในประกาศฯ (2540) กำหนดให้ต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำชะละลายให้คงที่ 5.0 แต่เมื่อเวลาในการชะละลายผ่านไป จะพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลายสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.72 ทำให้ต้องเติมกรดเพื่อปรับค่าพีเอช โดยได้ทำการปรับค่าพีเอชทุกชั่วโมง จะพบว่าในชั่วโมงต้นๆของการชะละลาย ค่าพีเอชของน้ำชะละลายจะยังคงสูงอยู่เนื่องมาจากความเป็นด่างในตัวอย่าง แต่เมื่อเติมกรดลงไปทำให้ในชั่วโมงท้ายๆของการชะละลาย ค่าพีเอชของน้ำชะละลายจะมีค่าลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับ 5.0 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานในประกาศฯ (รูปที่5.76)

ตาราง 5.72 แสดงการเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำชะละลาย ตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป

ชั่วโมงที่	พีเอช (ของน้ำชะละลาย)
เริ่มต้น	11.83
1	11.72
2	11.20
3	11.05
4	11.05
5	10.54
6	10.44
7	9.89
8	9.40
9	9.00
10	8.75
11	8.68
12	8.55
13	7.74
14	7.01
15	5.81
16	5.71
17	5.71
18	5.65



รูปที่ 5.76 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำชะละลายตามระยะเวลา

5) สี

จากรูปที่ 5.77 พบว่าสีของน้ำชะละลายจากเครื่องทดสอบการชะละลายแบบหมุน 360 องศา (รูปที่ 5.77 ภาพซ้าย จากตารางที่ 5.72แสดงค่าพีเอช 5.65) ความเข้มของสีจะน้อยกว่าน้ำชะละลายจากเครื่องทดสอบการชะละลายแบบเขย่า (รูปที่ 5.77 ภาพขวา จากตารางที่5.54 แสดงค่าพีเอช 12.65) ดังนั้น ความเข้มของสีในน้ำชะละลายจะลดความเข้มลงเมื่อน้ำชะละลายมีค่าพีเอชลดลง

รูปที่ 5.77 ภาพซ้าย แสดงน้ำชะละลายจากเครื่องเขย่าแบบหมุน 360 องศา
ภาพขวา แสดงน้ำชะละลายจากเครื่องเขย่าแบบแนวขวาง

ข.ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ใช้อัตราส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 100 % สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ปรอท

ความเข้มข้นของปรอทในน้ำสกัดตามวิธีในประกาศฯ (2540) มีค่า 0.186 มก./ล. ส่วนตามวิธีในประกาศฯ (2531) มีค่า 0.174 มก./ล. พบว่าการชะละลายสารตามประกาศฯ (2540) จะมีค่าความเข้มข้นของปรอทถูกชะละลายออกมามากกว่าวิธีตามประกาศฯ (2531) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมค่าพีเอชของน้ำชะละลายตามประกาศฯ (2540)ให้มีค่าคงที่ที่ 5.0 จึงทำให้โลหะหนักในตัวอย่างถูกชะละลายออกมามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองวิธีกับมาตรฐานสารมีพิษของปรอทที่ 0.20 มก./ล. แล้วพบว่าค่าที่ได้ยังสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.73 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณปรอท

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ต่อปูนซีเมนต์ (%)	ปรอท (มก./ล.)	
	ประกาศฯ (2540)	ประกาศฯ (2531)
100	0.186	0.174
เกณฑ์มาตรฐาน < 0.2 มก./ล.		

3. เหล็ก

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำสกัดตามวิธีในประกาศฯ (2540) มีค่า 0.749 มก./ล. ส่วนตามวิธีในประกาศฯ (2531) มีค่า 0.682 มก./ล. พบว่าการชะละลายสารตามประกาศฯ (2540) จะมีค่าความเข้มข้นของเหล็กถูกชะละลายออกมามากกว่าวิธีตามประกาศฯ (2531) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการควบคุมค่าพีเอชของน้ำชะละลายตามประกาศฯ (2540)ให้มีค่าคงที่ที่ 5.0 จึงทำให้โลหะหนักในตัวอย่างถูกชะละลายออกมามากกว่า

ตารางที่ 5.74 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเหล็ก

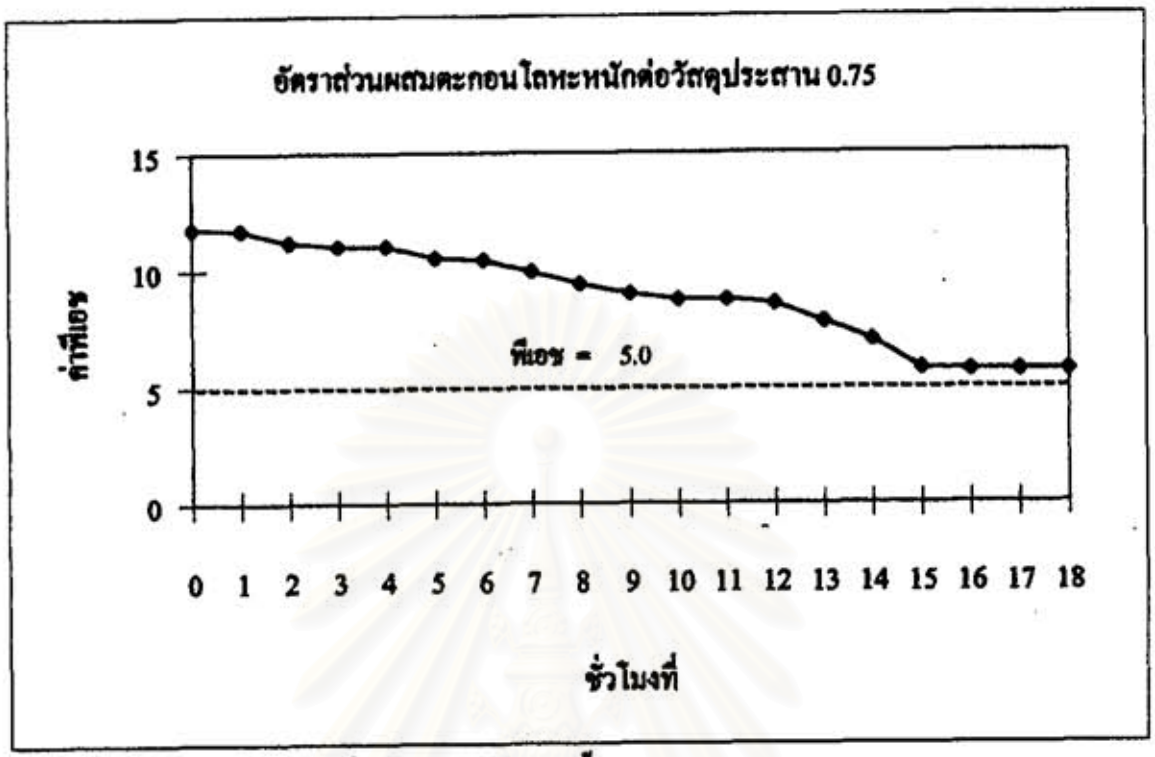
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ต่อปูนซีเมนต์ (%)	เหล็ก (มก./ล.)	
	ประกาศฯ (2540)	ประกาศฯ (2531)
100	0.749	0.682

4. ค่าพีเอช

เนื่องจากในประกาศฯ (2540) กำหนดให้ต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำชะละลายให้คงที่ 5.0 แต่เมื่อเวลาในการชะละลายผ่านไป จะพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะละลายสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.75 ทำให้ต้องเติมกรดเพื่อปรับค่าพีเอช โดยได้ทำการปรับค่าพีเอชทุกชั่วโมง จะพบว่าในชั่วโมงต้นๆของการชะละลาย ค่าพีเอชของน้ำชะละลายจะยังคงสูงอยู่เนื่องมาจากความเป็นด่างในตัวอย่าง แต่เมื่อเติมกรดลงไปทำให้ในชั่วโมงท้ายๆของการชะละลาย ค่าพีเอชของน้ำชะละลายจะมีค่าลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับ 5.0 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานในประกาศฯ (รูปที่ 5.78)

ตาราง 5.75 แสดงการเปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำชะละลาย ตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป

ชั่วโมงที่	พีเอช (ของน้ำชะละลาย)
เริ่มต้น	11.54
1	11.38
2	10.72
3	10.65
4	10.57
5	10.34
6	10.00
7	9.53
8	9.08
9	8.25
10	7.69
11	7.50
12	7.29
13	7.09
14	7.07
15	6.54
16	6.09
17	6.00
18	5.86



รูปที่ 5.78 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำชะละลายตามระยะเวลา

5) สี

จากรูปที่ 5.79 พบว่าสีของน้ำชะละลายจากเครื่องทดสอบการชะละลายแบบหมุน 360 องศา (รูปที่ 5.79 ภาพซ้าย จากตารางที่ 5.75แสดงค่าพีเอช 5.86) ความเข้มของสีจะน้อยกว่าน้ำชะละลายจากเครื่องทดสอบการชะละลายแบบเขย่า (รูปที่ 5.79 ภาพขวา จากตารางที่5.63 แสดงค่าพีเอช 12.25) ดังนั้น ความเข้มของสีในน้ำชะละลายจะลดความเข้มลงเมื่อน้ำชะละลายมีค่าพีเอชลดลง

รูปที่ 5.79 ภาพซ้าย แสดงน้ำชะละลายจากเครื่องเขย่าแบบหมุน 360 องศา
ภาพขวา แสดงน้ำชะละลายจากเครื่องเขย่าแบบแนวขวาง

การทดลองที่ 3/4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน

การทดสอบหาค่าความสามารถในการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนในตัวอย่างที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนนั้น ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Polarography แบบ Differential Pulse โดยใช้สารเมทธานอลเป็นตัวชะละลาย สำหรับการทดสอบนี้ใช้การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ก่อน และหลังการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณค่าความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายสารแอนทราควินโนนไว้ในภาคผนวก ง. ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายสารแอนทราควินโนน แสดงไว้ในตารางที่ 5.76 – 5.79 สรุปได้ดังนี้

ก. ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 60 % อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 และ 0.50 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

1. ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน

จากการทดสอบการชะละลายซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ก่อนผ่านการทำให้เป็นก้อน พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน 0.71 มก./มก. และเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 60% และอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 และ 0.50 ที่ระยะเวลาบ่ม 7วัน พบว่าประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนมีค่า 60.56 % สำหรับวัสดุประสานที่มีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 และมีค่า 61.97 % สำหรับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.77 ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าวัสดุประสานที่มีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 (ปูนซีเมนต์ล้วน) ให้ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนได้ดีกว่าวัสดุประสานที่มีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.50

ตารางที่ 5.76 แสดงปริมาณที่ถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนในตัวอย่างชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณที่ถูกชะละลาย (มก./ก.)			
	ETQ	EQ	ETHQ	รวม
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	9.95	8.43	9.80	28.18
ปูนซีเมนต์+ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	1.14	7.28	2.73	11.15
ปูนซีเมนต์+ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว+ตะกอน	0.18	5.71	4.70	10.59

หมายเหตุ ETQ = Ethyl tetrahydro anthraquinone EQ = Ethyl anthraquinone

ETHQ = Ethyl dihydroxy anthraquinone

ตารางที่ 5.77 แสดงความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน

อัตราส่วนตะกอนต่อ	ความสามารถถูกชะละลาย	ประสิทธิภาพในการลดการ
วัสดุประสาน	ของสารฯ (มก./มก.)	ถูกชะละลายของสารฯ (%)
0	0.28	60.56
0.50	0.27	61.97

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ใช้วัสดุประสานเป็นปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 100 % อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 และ 0.75 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ระยะเวลาบ่ม 3 วัน

1. ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน

จากการทดสอบการชะละลายซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ก่อนผ่านการทำให้เป็นก้อน พบว่ามีความสามารถถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน 0.71 มก./มก. และเมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 100 % และอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 และ 0.75 ที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนมีค่า 76.06 % สำหรับวัสดุประสานที่มีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 และมีค่า 60.56 % สำหรับอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.79 ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าวัสดุประสานที่มีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0 (ปูนซีเมนต์ล้วน) ให้ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนได้ดีกว่าวัสดุประสานที่มีอัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.75

ตารางที่ 5.78 แสดงปริมาณถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนในตัวอย่างชนิดต่างๆ

ชนิดของตัวอย่าง	ปริมาณที่ถูกชะละลาย (มก./ก.)			
	ETQ	EQ	ETHQ	รวม
ของเสียซิลิกา-อะลูมินา	9.95	8.43	9.80	28.18
ปูนซีเมนต์+ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	0.42	4.22	2.23	6.87
ปูนซีเมนต์+ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว+ตะกอน	0.74	6.62	3.64	11.00

หมายเหตุ ETQ = Ethyl tetrahydro anthraquinone EQ = Ethyl anthraquinone

ETHQ = Ethyl dihydroxy anthraquinone

ตารางที่ 5.79 แสดงความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน

อัตราส่วนตะกอนต่อ	ความสามารถถูกชะละลาย	ประสิทธิภาพในการลดการ
วัสดุประสาน	ของสารฯ (มก./มก.)	ถูกชะละลายของสารฯ (%)
0	0.17	76.06
0.75	0.28	60.56

การทดลองที่ 4/1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอท

การหาประสิทธิภาพในการทำให้โลหะหนักคงตัว สำหรับการทดสอบนี้ใช้ค่าความสามารถในการถูกชะละลาย (Leachability) ที่มีนิยามว่า อัตราส่วนของปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่ถูกชะละลายในน้ำสกัดต่อปริมาณความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักทั้งหมดในตัวอย่างซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของตะกอน โดยการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการถูกชะละลายของตะกอนโลหะหนักก่อน และหลังการทำให้คงตัวด้วยวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด คือ ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และ ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณค่าความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนักไว้ในภาคผนวก จ. ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลาย โลหะหนักที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.80-5.82 ดังสรุปได้ดังนี้

ก. ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

1. ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัว

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการระงับฤทธิ์พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของปรอท 17.75 มก./ก. เมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และ 40% พบว่าประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 83.44 87.27 91.49 92.56 และ 92.90 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 79.27 84.90 89.58 90.42 และ 91.15 % สำหรับวัสดุประสานที่ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.80)

ตารางที่ 5.80 แสดงความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทในตะกอนโลหะหนักกับระยะเวลาบ่ม

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความสามารถถูกชะละลายของปรอท (มก./ก.)		ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอท (%)	
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)		ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	
	0	40	0	40
1	2.94	3.68	83.44	79.27
3	2.26	2.68	87.27	84.90
7	1.51	1.85	91.49	89.58
14	1.32	1.70	92.56	90.42
28	1.26	1.57	92.90	91.15

2. ประสิทธิภาพในการทำให้โครเมียมคงตัว

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการระงับฤทธิ์พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของโครเมียม 16.48 มก./ก. เมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และ 40% พบว่าประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 61.29 71.12 91.08 91.75 และ 92.05 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 43.93 61.41 88.17 88.41 และ 89.20 % สำหรับวัสดุประสานที่ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.81)

ตารางที่ 5.81 แสดงความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโครเมียมในตะกอนโลหะหนักกับระยะเวลาบ่ม

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความสามารถถูกชะละลายของโครเมียม (มก./ก.)		ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโครเมียม (%)	
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)		ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	
	0	40	0	40
1	6.38	9.24	61.29	43.93
3	4.76	6.36	71.12	61.41
7	1.47	1.95	91.08	88.17
14	1.36	1.91	91.75	88.41
28	1.31	1.78	92.05	89.20

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัว

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการระงับฤทธิ์พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของปรอท 8.30 มก./ก. เมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และ 40% พบว่า ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 14 และ 28 วัน มีค่า 95.78 95.90 96.14 98.62 และ 99.10 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 96.64 96.82 97.00 97.90 และ 98.26 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 40% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.82)

ตารางที่ 5.82 แสดงความสามารถถูกชะละลายและประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทในตะกอนโลหะหนักกับระยะเวลาบ่ม

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความสามารถถูกชะละลายของปรอท (มก./ก.)		ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอท (%)	
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)		ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	
	0	40	0	40
1	0.35	0.56	95.78	96.64
3	0.34	0.53	95.90	96.82
7	0.32	0.50	96.14	97.00
14	0.23	0.35	98.62	97.90
28	0.15	0.29	99.10	98.26

การทดลองที่ 4/2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทเพิ่มเติม

สำหรับการทดสอบนี้ใช้การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการถูกชะละลายของตะกอนโลหะหนักก่อน และหลังการทำให้คงตัวด้วยวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด คือ ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 % และ ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 60 % หรือ 100% ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลาย โลหะหนักที่ระยะเวลาบ่ม 3 หรือ 7 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 5.83 - 5.85 สรุปได้ดังนี้

ก. ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซิโอดี

1. ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัว

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการระงับฤทธิ์พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของปรอท 17.75 มก./ก. เมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และ 60% พบว่าประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่า 91.49 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 88.39 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 60% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.83)

ตารางที่ 5.83 แสดงความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทในตะกอนโลหะหนักที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความสามารถถูกชะละลายของปรอท (มก./ก.)		ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอท (%)	
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)		ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	
	0	60	0	60
7	1.51	2.06	91.49	88.39

2. ประสิทธิภาพในการทำให้โครเมียมคงตัว

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการระงับฤทธิ์พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของโครเมียม 16.48 มก./ก. เมื่อใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และ 100% พบว่า โดยประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีค่า 91.08 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 82.77 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 60% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.84)

ตารางที่ 5.84 แสดงความสามารถถูกชะละลาย และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโครเมียมในตะกอนโลหะหนักที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความสามารถถูกชะละลายของโครเมียม (มก./ก.)		ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโครเมียม (%)	
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)		ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	
	0	60	0	60
7	1.47	2.84	91.08	82.77

ข. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

1. ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัว

จากการทดสอบการชะละลายตะกอนโลหะหนักก่อนผ่านการระงับฤทธิ์ พบว่ามีค่าความสามารถถูกชะละลายของปรอท 8.30 มก./ก. เมื่อโดยใช้วัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูน

ซีเมนต์ 0% และ 100% พบว่า โดยประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน มีค่า 95.90 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0% และมีค่า 82.17 % สำหรับวัสดุประสานที่มีซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 100% ตามลำดับ (ตารางที่ 5.85)

ตารางที่ 5.85 แสดงความสามารถถูกชะละลายและประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอทในตะกอนโลหะหนักที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความสามารถถูกชะละลายของปรอท (มก./ก.)		ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของปรอท (%)	
	ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)		ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ (%)	
	0	100	0	100
3	0.34	1.48	95.90	82.17

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการตะกอนปรอทซัลไฟด์ให้เป็นก้อน

ก. ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี

ตารางที่ 5.86 แสดงรายละเอียดของค่าใช้จ่าย (เฉพาะค่าวัสดุ ไม่รวมค่าแรงงานและค่าขนส่ง) ที่ใช้ในการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ราคาวัสดุประสานจะใช้ราคาตลาด ณ. เดือน กรกฎาคม 2541 แสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายในการทำตะกอนที่ได้จากบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสานมีค่าเท่ากับ 5,110 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก จากการศึกษาของนฤมิต(2538)พบว่าในการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์จะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 5,210 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก (เมื่อเทียบจากฐานราคาเดียวกัน) พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วจะเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าการศึกษาของนฤมิต(253ค)ประมาณ 100 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก จากการศึกษาของอนุวัฒน์(2539)พบว่าในการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์จะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 6,290 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก (เมื่อเทียบจากฐานราคาเดียวกัน) พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วจะเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าการศึกษาของอนุวัฒน์(2539)ประมาณ 1,180 บาท/ตัน.ของตะกอนโลหะหนัก และจากการศึกษาของดวงสมร(2540)

พบว่าในการทำตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูมจะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 8,510 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก (เมื่อเทียบจากฐานราคาเดียวกัน) พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วจะเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าการศึกษาของดวงสมร(2540)ประมาณ 3,400บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก

2. ตะกอนโลหะหนักจากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ตารางที่ 5.87 แสดงรายละเอียดของค่าใช้จ่ายจ่าย (เฉพาะค่าวัสดุ ไม่รวมค่าแรงงานและค่าขนส่ง)ที่ใช้ในการทำกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ราคาวัสดุประสานจะใช้ราคาตลาด ณ. เดือน กรกฎาคม 2541 แสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายในการทำกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสานมีค่าเท่ากับ 5,620 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก จากการศึกษาของอนุวัฒน์(2539)พบว่าในการทำตะกอนที่ได้จากกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสานจะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 6,390 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก (เมื่อเทียบจากฐานราคาเดียวกัน) พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วจะเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าการศึกษาของอนุวัฒน์(2539)ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ผสมปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 770 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก จากการศึกษาของดวงสมร(2540)พบว่าในการทำตะกอนที่ได้จากกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูมเป็นวัสดุประสานจะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 6,330 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนักและปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสานจะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 3,820 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก (เมื่อเทียบจากฐานราคาเดียวกัน) พบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วจะเสียค่าใช้จ่ายถูกกว่าการศึกษาของดวงสมร(2540)ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูมประมาณ 710 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนักและแพงกว่าการศึกษาของดวงสมร(2540)ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 1,800 บาท/ตันของตะกอนโลหะหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.86 แสดงค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมของตะกอนในการทำตะกอนไลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อน

วัสดุที่ใช้		เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย							
		ตะกอน ซีโอดี							
		ซิลิกาฯ		ซิลิกาฟูม		เถ้าลอยลิกไนต์		เถ้าลอยลิกไนต์	
		(ในการศึกษานี้)		(ดวง สมร)		(อนุ วัฒน์)		(นฤมิต)	
ส่วนประกอบ	ราคา* (บ./ กก.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 1	2.53	-	-	0.95	2.41	2	5.06	2	5.06
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 5	2.87	1.25	3.59	-	-	-	-	-	-
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว***	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-
ซิลิกาฟูม	15.00	-	-	0.380	5.70	-	-	-	-
เถ้าลอยลิกไนต์	0.075	-	-	-	-	2	0.15	2	0.15
โซเดียมซัลไฟด์	49.00	0.031	1.52	0.008	0.40	0.022	1.08	-	-
น้ำ	-	1	-	0.665	-	2	-	2	-
ตะกอนไลหะหนัก	-	1	-	1	-	-	-	1	-
รวม		4.04	5.11	3.01	8.51	7.03	6.29	6	5.21

* = คิดราคาโดยใช้ราคาปัจจุบัน

** = คิดค่าใช้จ่ายต่อน้ำหนักตะกอน 1 กก.

*** = ปัจจุบันยังไม่มีการระบุราคาซื้อขาย

ตารางที่ 5.87 แสดงค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมของตะกอนในการทำตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อน

วัสดุที่ใช้		เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย							
		กากหลอดฟ ลูออเรสเซนต์							
		ซิลิกาฯ		ซิลิกาฟูม		เถ้าลอยลิกไนต์		เถ้าลอยลิกไนต์	
		(ในการศึกษานี้)		(ดวง สมร)		(ดวง สมร)		(อนุวัฒน์)	
ส่วนประกอบ	ราคา* (บ./ กก.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย** (บ.)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 1	2.53	0.67	1.70	0.556	1.41	0.200	0.51	2	5.06
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 5	2.87	-	-	-	-	-	-	-	-
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว***	-	0.67	-	-	-	-	-	-	-
ซิลิกาฟูม	15.00	-	-	0.111	1.67	-	-	-	-
เถ้าลอยลิกไนต์	0.075	-	-	-	-	0.200	0.02	2	0.15
โซเดียมซัลไฟต์	49.00	0.080	3.92	0.067	3.28	0.067	3.29	0.024	1.18
น้ำ	-	1	-	0.334	-	0.200	-	2	-
ตะกอนโลหะหนัก	-	1	-	1	-	1	-	1	-
รวม		3.42	5.62	2.07	6.36	1.67	3.82	7.02	6.39

* = คิดราคาโดยใช้ราคาปัจจุบัน

** = คิดค่าใช้จ่ายต่อน้ำหนักตะกอน 1 กก.

*** = ปัจจุบันยังไม่มีการระบุราคาซื้อขาย