บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก ทำโดยการนำเอาวัสดุดังกล่าวมาอบแห้งและบดให้ละเอียดเพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิต ส่วนวัสดุผสมอื่นๆ ที่ใช้ก็ต้องล้างให้สะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นที่เกาะติดผิวเพื่อจะลดผลกระทบที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ ตลอดจนต้องมีการอบแห้งวัสดุผสม พิจารณาสัดส่วนคละ และการดูดซึมน้ำของวัสดุ ซึ่งเป็นปัจจัยที่จำเป็นต้องทดสอบเพื่อควบคุมปริมาณน้ำในการผลิตด้วย โดยลักษณะของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้จะพิจารณาจากค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น การดูดกลืนน้ำ และปริมาณการถูกชะละลายของโลหะหนักเป็นสำคัญ สุดท้ายจะพิจารณาจากความคุ้มค่าโดยประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัด พร้อมทั้งประเมินราคาต้นทุนการผลิต

4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

นำตัวอย่างเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งกากของเสียมีมวลคงที่ เพื่อให้สามารถควบคุมความชื้นในการทำวิจัยได้ บดเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่อบแห้งแล้ว จากนั้นร่อนวัสดุที่ผ่านการบดแล้วด้วยตะแกรงขนาดมาตรฐานเบอร์ 40 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดเป็น 425 ไมครอน ส่วนวัสดุผสมเช่น ทรายและหินเกล็ดก็ทำการล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะได้ควบคุมปริมาณน้ำของส่วนผสมและเป็นการกำจัดฝุ่นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านการเพิ่มการหดตัวของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตด้วย

4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 องค์ประกอบของเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

กากของเสียทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับมาจากโรงงานอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งปัจจุบันทางโรงงานได้ทำการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบโดยมีบริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) หรือ GENCO เป็นผู้ดำเนินการ ซึ่งผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในกากของเสียดังสรุปในตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.4

จากผลวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเศษสีแห้งเร็วพบว่า เศษสี-แห้งเร็วที่นำมาใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นยางเหนียวคล้ายหมากฝรั่ง มีสีน้ำเงิน มีกลิ่นบ้างเล็กน้อย มีค่าพีเอชอยู่ที่ประมาณ 6.95 ไม่ไวไฟและไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายเศษสีแห้งเร็ว พบว่ามีปริมาณของโลหะหนักเจือปนอยู่ในกากของเสียค่อนข้างสูงและเกินค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 ปี 2540 ภาคผนวกที่ 1 หมวด 1 ข้อ 5) โดยมีโลหะหนักที่สนใจศึกษาคือ โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 18.49 2106.99 12.23 และ 473.14 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จากผลวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วพบว่า กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่ได้นำมาใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นตะกอนสีน้ำตาลคล้ายดิน ไม่มีกลิ่น มีค่าพีเอชอยู่ที่ประมาณ 6 ไม่ไวไฟและไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ส่วนผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว พบว่ามีปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 ปี 2540 ภาคผนวกที่ 1 หมวด 1 ข้อ 5) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 ปี 2540 ข้อ 7 จัดให้กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดจำเพาะประเภทหรือจำเพาะชนิด ซึ่งจะต้องมีการทำลายฤทธิ์ก่อนที่จะมีการนำไปกำจัดต่อไป โดยวิธีการทำลายฤทธิ์ที่ได้แนะนำไว้ก็คือการทำก้อนแข็ง งานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำกากของเสียทั้ง 2 ชนิดนี้ไปใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกซึ่งถือเป็นวิธีการทำก้อนแข็งวิธีหนึ่งและยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ทั้งยังอาจเป็นอีกแนวทางในการกำจัดกากของเสียสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเศษสีแห้งเร็ว (วันที่วิเคราะห์ 27/04/2544)

สีที่ปรากฏ	สีน้ำเงิน	**การทำปฏิกิริยากับน้ำ**	ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ
องค์ประกอบของแข็ง	62.62 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก	**ความหนาแน่นเชิงมวล**	0.4 เมกกะตัน/ลบ.ม.
กลิ่นที่ปรากฏ	มีกลิ่นเล็กน้อย	**ความหนาแน่นจริง**	ไม่ได้ทำการตรวจวัด
พีเอช	6.95	**ผลตรวจสอบซัลไฟด์**	เจือปนอยู่พอประมาณ
ปฏิกิริยากับออกซิเจน	<MDL*	**ผลตรวจสอบไซยาไนด์**	<MDL*
ความไวไฟ	ไม่ไวไฟ	**ผลตรวจสอบแอมโมเนีย**	เจือปนอยู่น้อย
กัมมันตรังสี	น้อยกว่าปริมาณรังสีพื้นหลัง	**ผลตรวจสอบฟีนอล**	<MDL*

*Minimum Detection Limit (MDL) คือปริมาณน้อยสุดที่สามารถตรวจพบได้ เป็นการทดสอบอย่างคร่าวๆ โดยนำกระดาษ KI ไปแตะที่กากตะกอนเพื่อดูว่าในเบื้องต้นมีสารที่ต้องการตรวจสอบหรือไม่

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำชะละลายเศษสีแห้งเร็ว

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณที่พบในตะกอน	ปริมาณที่พบในน้ำชะละลาย	มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม
แบเรียม (Ba)	ส่วนในล้านส่วน	524.42	0.06	100
แคดเมียม (Cd)	ส่วนในล้านส่วน	<0.01	<0.01	1.0
โครเมียม (Cr)	ส่วนในล้านส่วน	18.49	0.05	5.0
ทองแดง (Cu)	ส่วนในล้านส่วน	2106.99	0.04	-
ตะกั่ว (Pb)	ส่วนในล้านส่วน	12.23	<0.01	5.0
แมงกานีส (Mn)	ส่วนในล้านส่วน	18.62	0.30	-
ปรอท (Hg)	ส่วนในล้านส่วน	0.125	0.015	0.2
นิกเกิล (Ni)	ส่วนในล้านส่วน	473.14	0.21	-
ซีลีเนียม (Se)	ส่วนในล้านส่วน	<0.01	<0.01	1.0
เงิน (Ag)	ส่วนในล้านส่วน	-	<0.01	5.0
สังกะสี (Zn)	ส่วนในล้านส่วน	92.03	2.45	-
TPH*	ส่วนในล้านส่วน	2191.0	-	-

* Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าในของเสียนี้มีไฮโดรคาร์บอนเจือปนอยู่ ซึ่งอาจมีที่มาจากชนิดของตัวทำละลาย หรือสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น น้ำมันเครื่อง น้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว
(วันที่วิเคราะห์ 19/02/2545)

สีที่ปรากฏ	สีน้ำตาล	พีเอช	6
ความข้น	ทึบแสง	ความหนาแน่น	0.83 กรัม/มิลลิลิตร
ความหนืด	ต่ำ	ผลตรวจสอบซัลไฟด์	ไม่พบ
กลิ่นที่ปรากฏ	ไม่มีกลิ่น	ผลตรวจสอบไซยาไนด์	ไม่พบ
ความสามารถติดไฟได้	ไม่สามารถติดไฟได้	ปฏิกิริยากับออกซิเจน	ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน
องค์ประกอบของแข็ง	50-60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก		

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำชะละลายของกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

พารามิเตอร์	หน่วย	ปริมาณที่พบในน้ำชะละลาย	มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม
อาร์ซีนิก (As)	มิลลิกรัม/ลิตร	<0.167	5.0
แบเรียม (Ba)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.320	100
แคดเมียม (Cd)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.015	1.0
โครเมียม (Cr)	มิลลิกรัม/ลิตร	1.004	5.0
ตะกั่ว (Pb)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.084	5.0
ปรอท (Hg)	ไมโครกรัม/ลิตร	0.074	0.2
ซีลีเนียม (Se)	มิลลิกรัม/ลิตร	<0.208	1.0
เงิน (Ag)	มิลลิกรัม/ลิตร	0.004	5.0

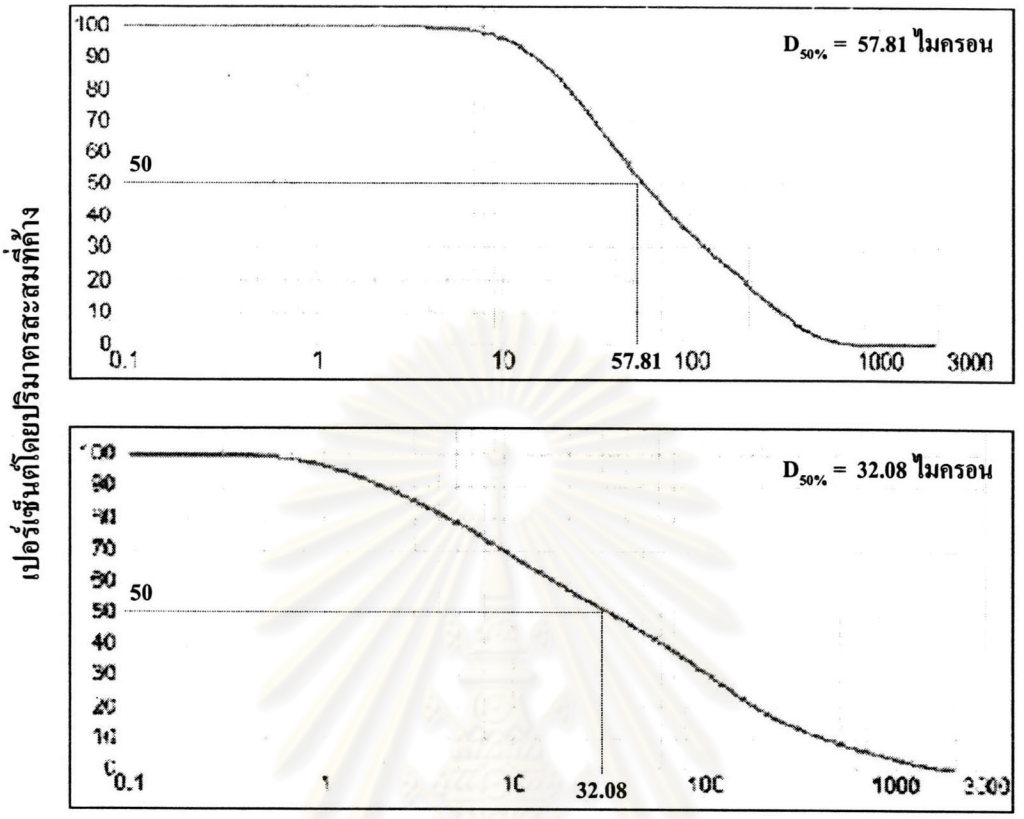
4.2.2 การกระจายขนาดของอนุภาค (Particle size distribution) ของเศษสีแห้งเร็ว กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วและวัสดุผสม

เพื่อที่จะให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้จึงต้องมีการพิจารณาในเรื่องการกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุร่วมด้วย โดยการกระจายขนาดอนุภาคของเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) ส่วนการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของหินเกล็ดและทรายใช้การคัดแยกด้วยตะแกรงโดยเครื่องเขย่า (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C33-93 และ ASTM C136-95a ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

จากผลวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค พบว่า เศษสีแห้งเร็วมีขนาดของอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เป็น 57.81 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.1 (ก) ส่วนกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วมีขนาดของอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เป็น 32.08 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.1 (ข) ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเศษสีแห้งเร็ว สาเหตุเนื่องจากเศษสีแห้งเร็วมีลักษณะเป็นยางเหนียวคล้ายหมากฝรั่ง ทำให้ทำการบดให้ละเอียดได้ยากกว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วซึ่งมีลักษณะคล้ายดิน

ตารางที่ 4.5 ขนาดอนุภาคของเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

ขนาดอนุภาคของ กากตะกอนจากการเคลือบสีรถยนต์	$D_{10\%}$	$D_{50\%}$	$D_{90\%}$
	(ไมครอน)		
เศษสีแห้งเร็ว	15.21	57.81	291.43
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว	2.00	32.08	410.78



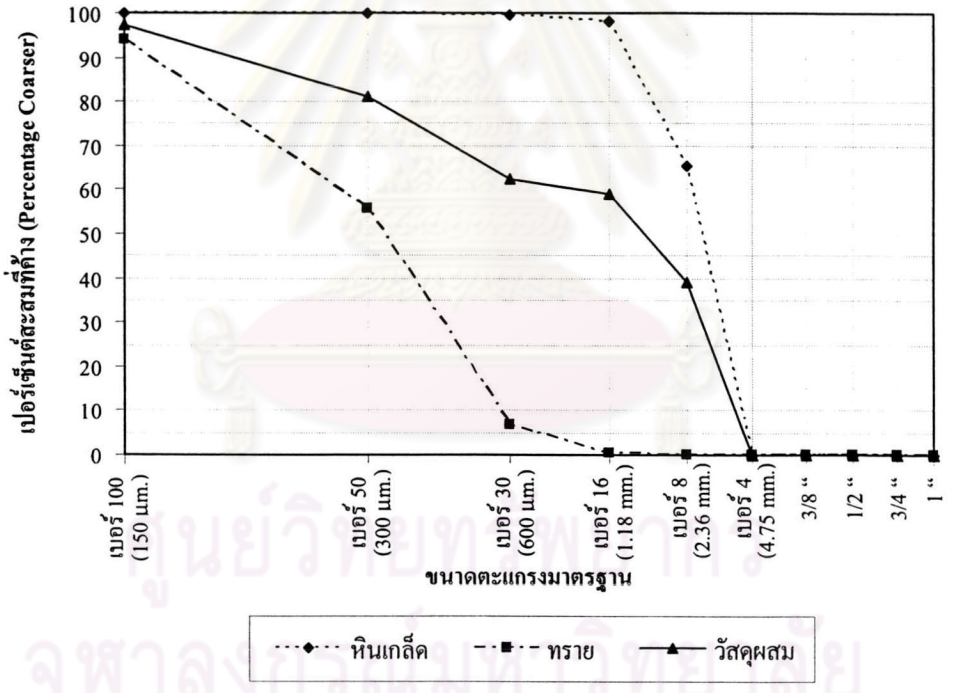
รูปที่ 4.1 การกระจายขนาดอนุภาคของกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์
(ก) เศษสีแห้งเร็ว (ข) กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

ส่วนคละ (Gradation) ของวัสดุผสมที่ดีมีผลให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ลดลง ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสดดีขึ้น และยังมีส่วนช่วยป้องกันการแยกตัว (Segregation) ของส่วนผสมได้อีกด้วย หฤษฎ์ ธิตินันทน์ (2546) วิเคราะห์ส่วนคละของวัสดุผสมแสดงผลด้วยกราฟแบบ Semi-log scale โดยแกนนอนเป็นขนาดตะแกรงมาตรฐาน และแกนตั้งเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสะสมของวัสดุผสมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.2 พบว่าหินเกล็ดที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกก่อผนังมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด* (Fineness modulus) เท่ากับ 4.63 ขณะที่ทรายละเอียดที่ใช้มีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 2.36 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8) และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.57 และเมื่อผสมทรายต่อหินเกล็ดในสัดส่วนเท่ากับ 0.67 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นค่าอยู่ในช่วงแนะนำ (0.55 - 0.70) โดย ประณต กุลประสูตร (2541) วัสดุผสมที่ได้จะมีค่าโมดูลัสความละเอียดเป็น 3.39

---

* โมดูลัสความละเอียด คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของวัสดุผสม

วินิต ช่อวิเชียร (2539) กล่าวว่า หินและทรายสำหรับผลิตคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดระหว่าง 5.5 - 7.5 และ 2.25 - 3.25 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสความละเอียดของหินและทรายที่ใช้ในงานวิจัย มีค่าต่ำกว่าของวัสดุผสมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ถึงแม้ว่ามาตรฐาน ASTM C90-96 และมาตรฐาน ASTM C129-96 จะกำหนดลักษณะของวัสดุผสมสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักและคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ตามลำดับ โดยอ้างให้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM C33-93 แต่ก็ระบุไว้ชัดเจนว่ายกเว้นส่วนคละของวัสดุผสมที่ไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังนั้นงานวิจัยหรือการผลิตคอนกรีตบล็อกก่อผนังซึ่งมีขนาดเล็กกว่างานโครงสร้างทั่วไปอย่างมากและเพื่อให้สามารถเทส่วนผสมลงในแบบหล่อคอนกรีตบล็อกก่อผนังได้ ในเชิงอุตสาหกรรมจึงต้องใช้วัสดุผสมที่มีขนาดเล็กลง ไม่สามารถใช้วัสดุผสมที่มีขนาดตามกำหนดมาตรฐาน ASTM C33-93 สำหรับงานโครงสร้างได้



รูปที่ 4.2 ส่วนคละของวัสดุผสมที่ใช้ในการวิจัย (หฤษฎ์ ธิตินันทน์, 2546)

4.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

จากตารางที่ 4.6 การทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสมเศษสีแห้งเร็ว และกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วตามมาตรฐาน ASTM C128-93 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สำหรับวัสดุผสมละเอียด และหินเกล็ดใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM C127-88 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก.1 และ ก.2 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของหินเกล็ด ทรายละเอียด เศษสีแห้งเร็ว และกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วมีค่าเท่ากับ 1.06 2.35 72 และ 114 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุต่างๆ นี้เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำของส่วนผสมให้เพียงพอสำหรับส่วนผสมคอนกรีตมีหน้าที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ช่วยให้คอนกรีตสดทำงานได้ และเคลือบผิววัสดุผสม

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสม

วัสดุผสม	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
หินเกล็ด	1.06
ทรายละเอียด	2.35
เศษสีแห้งเร็ว	72
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว	114

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก

4.3.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตก้อนคอนกรีตลูกบาศก์

จากการทดลองใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ : ทราย : หินเท่ากับ 1 : 2 : 4 และ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วต่อมวลรวมที่เป็นของแข็งเท่ากับ 0.03 0.05 0.07 0.10 0.20 0.30 และ 0.40 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50 หล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และแปรระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน ผลการทดลองดังสรุปในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.3 แสดงก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็วเป็นปริมาณต่างๆ

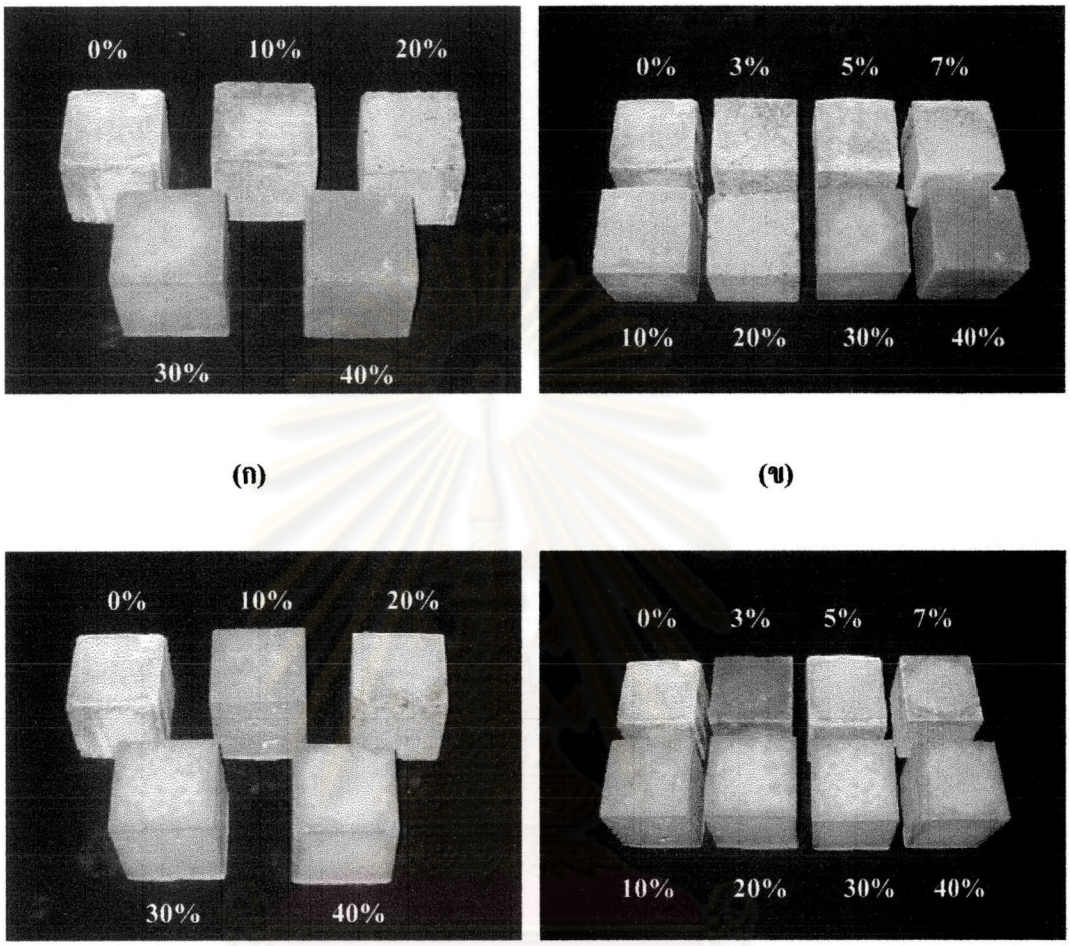
ผลการทดลองพบว่า ที่สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เมื่อมีการเติมเศษสีแห้งเร็วเป็นปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจาก 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างลดลง จากกรณีที่ไม่มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว ให้ค่ากำลังรับแรงอัด 10.69 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่น 2.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เมื่อมีการเติมเศษสีแห้งเร็วจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง โดยที่การเติมเศษสีแห้งเร็วปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 0.71 เมกกะปาสคาล

และ 1.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับและเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เพิ่มระยะเวลาบ่มเป็น 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยการเติมเศษสีแห้งเร็วปริมาณ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นเป็น 12.35 เมกกะปาสคาล และ 1.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1618 ปี 2544 กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ต้องการได้ค่ากำลังรับแรงอัด 7 เมกกะปาสคาล) ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่ไม่เติมเศษสีแห้งเร็วให้ค่ากำลังรับแรงอัด 47.37 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 4.7 ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมเศษสีแห้งเร็ว

กากของเสียที่เติม (%โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด)	สัดส่วนผสมซีเมนต์ : ทราย : หิน 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร (สัดส่วน A)				สัดส่วนผสมซีเมนต์ : ทราย : หิน 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร (สัดส่วน B)			
	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกกะปาสคาล)		ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)		ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกกะปาสคาล)		ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)	
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)							
	7	28	7	28	7	28	7	28
0.00	10.69	47.37	2.07	2.18	38.72	51.11	2.31	2.36
3.00	-	14.67	-	1.96	-	18.26	-	1.82
5.00	-	13.32	-	1.93	-	16.58	-	1.89
7.00	-	12.35	-	1.92	-	13.54	-	1.78
10.00	4.45	4.10	1.55	1.66	5.1	7.01	1.63	1.61
20.00	2.67	2.40	1.57	1.47	2.77	3.32	1.44	1.49
30.00	1.42	2.20	1.44	1.43	2.02	2.07	1.37	1.35
40.00	0.71	0.79	1.29	1.30	0.92	0.90	1.25	1.19
มอก.คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก	7		ไม่กำหนด		7		ไม่กำหนด	

(-) หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง



รูปที่ 4.3 คอนกรีตลูกบาศก์ที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็วเป็นปริมาณต่างๆ

(ก) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

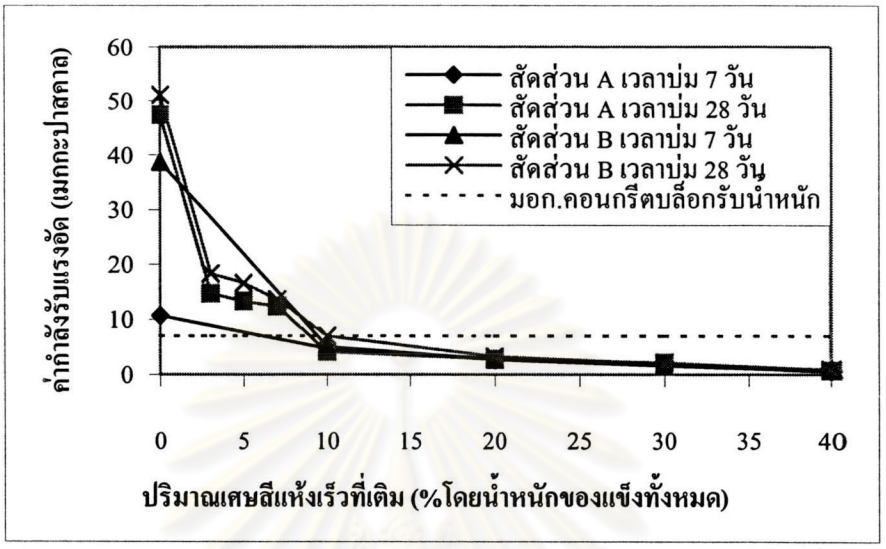
(ข) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

(ค) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

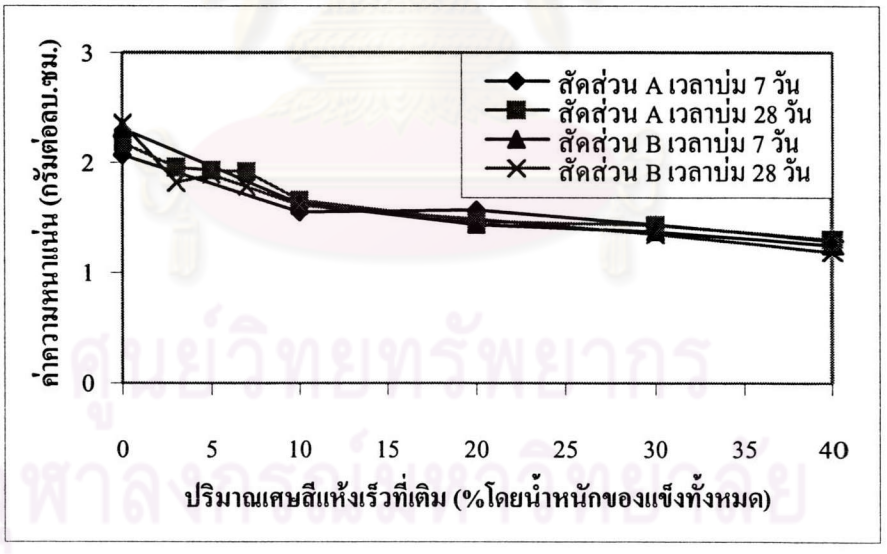
(ง) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร พบว่าจะให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกับสัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร กล่าวคือที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เมื่อมีการเติมเศษสีแห้งเร็วเป็นปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจาก 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง จากกรณีที่ไม่มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว ให้ค่ากำลังรับแรงอัด 38.72 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่น 2.31 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ซึ่งมากกว่าผลการทดลองที่ได้จากสัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร) แต่เมื่อมีการเติมเศษสีแห้งเร็วจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง โดยที่การเติมเศษสีแห้งเร็วเป็นปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดคือ 0.92 เมกกะปาสคาล และ 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับและเมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เพิ่มระยะเวลาบ่มเป็น 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่เติมเศษสีแห้งเร็วนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยการเติมเศษสีแห้งเร็วปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นเป็น 7.01 เมกกะปาสคาล และ 1.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (7 เมกกะปาสคาล) ได้ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่ไม่เติมเศษสีแห้งเร็วให้ค่ากำลังรับแรงอัด 51.11 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่น 2.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

โดยสรุปจากผลการทดลองของการนำเศษสีแห้งเร็วมาใช้ทำก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ดังตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า การเติมปูนซีเมนต์ปริมาณเพิ่มมากขึ้นและการแปรระยะเวลาบ่มนานขึ้นจะช่วยให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเติมเศษสีแห้งเร็วปริมาณเพิ่มขึ้น กลับทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะสัดส่วนที่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก คือให้ค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกกะปาสคาล ได้แก่ ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ระยะเวลาบ่ม 28 วัน และที่สัดส่วนการผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร ที่การเติมเศษสีแห้งเร็ว 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มาทำการทดสอบการชะลายโลหะหนัก



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณการเติมเศษสีแห้งเร็ว



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณการเติมเศษสีแห้งเร็ว

ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6 แสดงก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นปริมาณต่างๆ พบว่า ที่สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เมื่อมีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง จากกรณีที่ไม่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว ให้ค่ากำลังรับแรงอัด 10.69 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่น 2.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เมื่อมีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง โดยที่การเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดคือ 0.37 เมกกะปาสคาล และ 1.44 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับและเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เพิ่มระยะเวลาบ่มนานเป็น 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่การเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นเป็น 8.87 เมกกะปาสคาล และ 2.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (7 เมกกะปาสคาล) ได้ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่ไม่เติมเศษสีแห้งเร็วจะให้ค่ากำลังรับแรงอัด 47.37 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร พบว่าให้ผลของการทดลองคล้ายคลึงกับสัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร กล่าวคือที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เมื่อมีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง จากกรณีที่ไม่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว ให้ค่ากำลังรับแรงอัด 38.72 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่น 2.31 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ซึ่งมากกว่าผลการทดลองที่ได้จากสัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร) แต่เมื่อมีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง โดยที่การเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถวัดค่ากำลังรับแรงอัดได้และให้ค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดคือ 1.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแต่เพิ่มระยะเวลาบ่มเป็น 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วนั้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่การเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วปริมาณมากที่สุด 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นเป็น 15.22 เมกกะปาสคาล และ 1.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

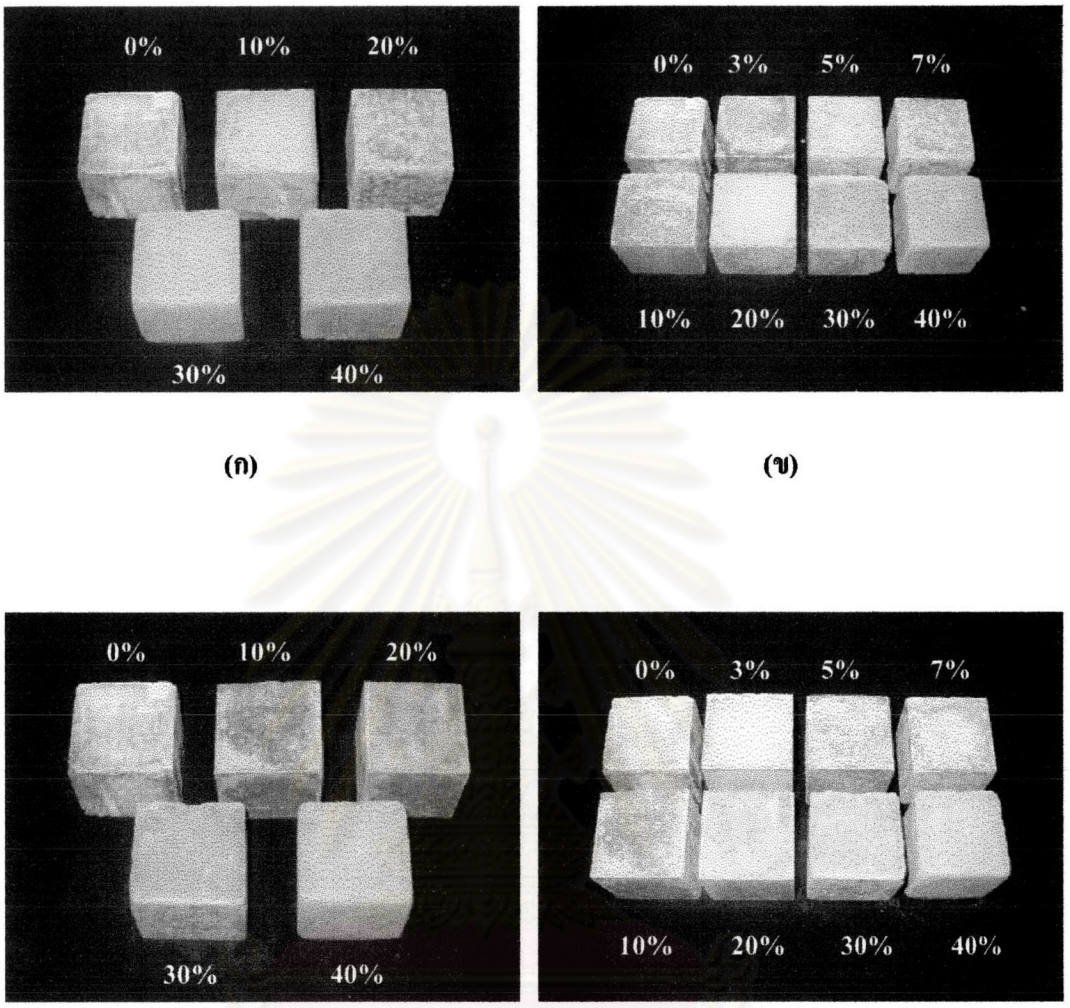
ซึ่งสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักได้ ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่ไม่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วให้ค่ากำลังรับแรงอัด 51.11 เมกกะปาสคาล และค่าความหนาแน่น 2.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 4.8 ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลูกบาศก์ที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

กากของเสียที่เติม (%โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด)	สัดส่วนผสมซีเมนต์ : ทราย : หิน 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร (สัดส่วน A)				สัดส่วนผสมซีเมนต์ : ทราย : หิน 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร (สัดส่วน B)			
	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกกะปาสคาล)		ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)		ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกกะปาสคาล)		ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)	
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)							
	7	28	7	28	7	28	7	28
0.00	10.69	47.37	2.07	2.18	38.72	51.11	2.31	2.36
3.00	-	21.88	-	2.13	-	28.42	-	2.04
5.00	-	8.87	-	2.04	-	15.22	-	1.98
7.00	-	3.15	-	2.06	-	6.49	-	1.93
10.00	1.25	1.27	1.91	2.02	3.67	4.31	1.88	1.99
20.00	0.91	1.11	1.73	1.82	0.38	0.75	1.74	1.78
30.00	0.56	0.51	1.56	1.67	0.30	0.55	1.61	1.64
40.00	0.37	0.39	1.44	1.54	0	0.38	1.54	1.57
มอก.คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก	7		ไม่กำหนด		7		ไม่กำหนด	

(-) หมายถึง ไม่ได้ทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 คอนกรีตลูกบาศก์ที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นปริมาณต่างๆ

(ก) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

(ข) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

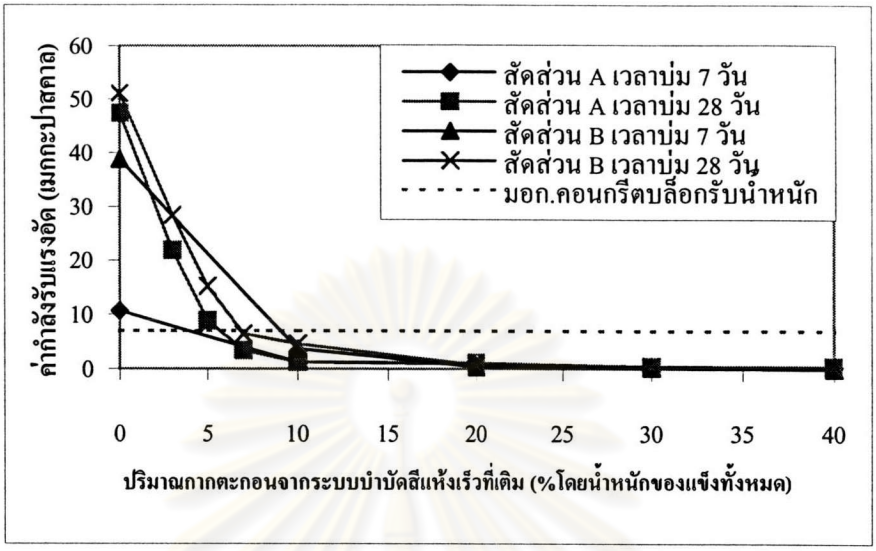
(ค) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

(ง) สัดส่วนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

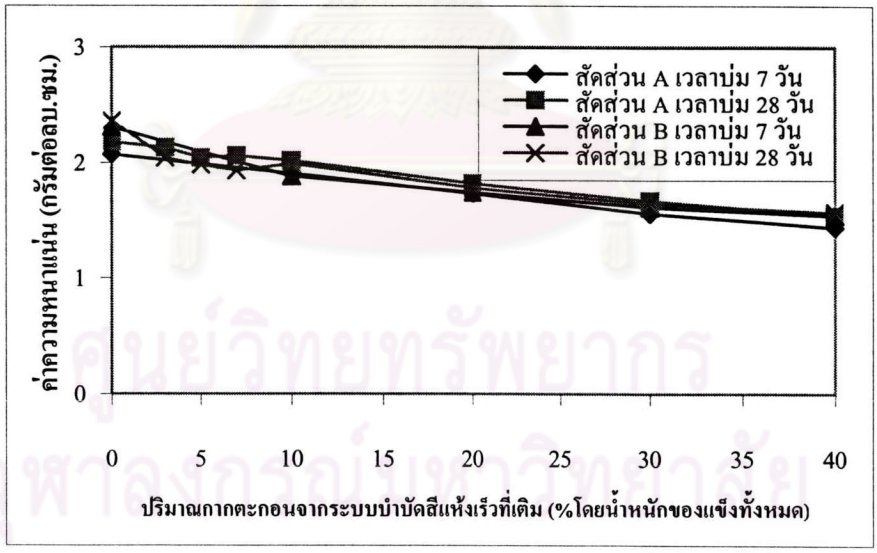
โดยสรุปจากผลการทดลองการนำกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วมาใช้ทำคอนกรีตลูกบาศก์ดังตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า การเติมปูนซีเมนต์ปริมาณเพิ่มมากขึ้นและการแปรระยะเวลาบ่มนานขึ้นจะช่วยให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วปริมาณเพิ่มขึ้น กลับทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นลดลง ดังนั้นจึงเลือกที่จะนำเฉพาะสัดส่วนที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก คือให้ค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกกะปาสคาล ได้แก่ สัดส่วนการผสมของปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ที่การเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ระยะเวลาบ่ม 28 วัน และที่สัดส่วนการผสมของปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร ที่การเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มาทำการทดสอบการชะละลายโลหะหนัก

4.3.2 ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจพบในน้ำชะละลาย ภายหลังที่มีการนำกากของเสียมาใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตลูกบาศก์

ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายสำหรับสัดส่วนที่ได้จากการทดลองที่ 4.3.1 ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงให้เห็นว่าทุกสัดส่วนที่นำมาทดสอบมีปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2540 แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายของกากของเสียโดยตรงนั้น ก็พบว่ามีปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน โดยเศษสีแห้งเร็วมีปริมาณ ทองแดง นิกเกิล ตะกั่วและโครเมียม เท่ากับ <0.01 0.51 2.19 และ 1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วมีปริมาณ ทองแดง นิกเกิล ตะกั่วและโครเมียม เท่ากับ <0.01 2.40 2.03 และ 1.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกก่อผนัง จึงเลือกจากสัดส่วนที่มีการใช้ซีเมนต์น้อยที่สุดและสามารถเติมกากของเสียได้มากที่สุดในขณะที่กำลังรับแรงอัดยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งก็คือที่สัดส่วนการผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หินเกล็ด เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร และที่มีการเติมกากของเสีย 7 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมดสำหรับเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วตามลำดับ



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

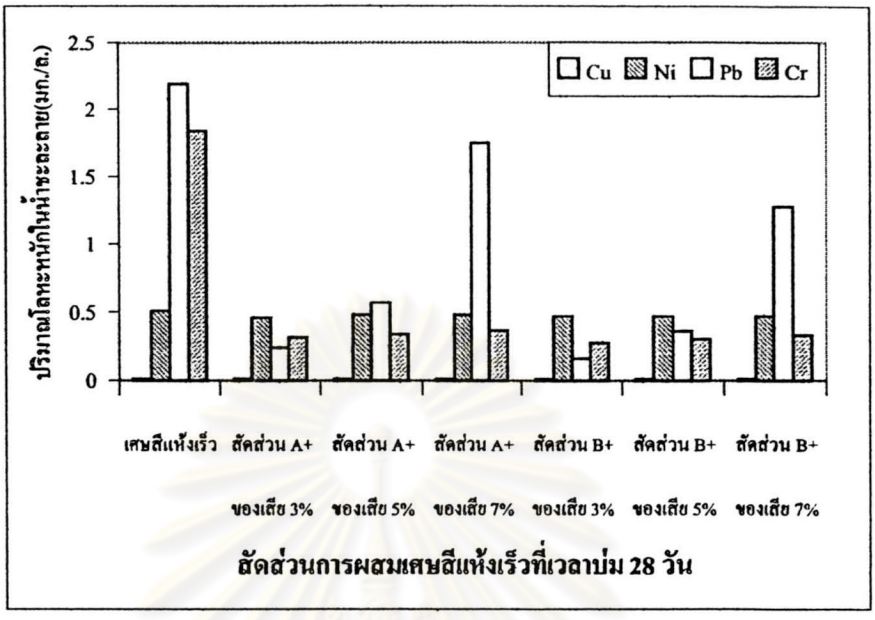
ตารางที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนัก (ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และโครเมียม) ที่ตรวจพบในน้ำชะละลาย

ตัวอย่าง	หน่วย	ทองแดง	นิกเกิล	ตะกั่ว	โครเมียม
เศษสีแห้งเร็ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.51	2.19	1.84
สัดส่วน A+เศษสีแห้งเร็ว 3% +เวลาบ่ม 28 วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.46	0.24	0.32
สัดส่วน A+เศษสีแห้งเร็ว 5% +เวลาบ่ม 28 วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.48	0.57	0.34
สัดส่วน A+เศษสีแห้งเร็ว 7% +เวลาบ่ม 28 วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.48	1.75	0.37
สัดส่วน B+เศษสีแห้งเร็ว 3% +เวลาบ่ม 28 วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.47	0.16	0.28
สัดส่วน B+เศษสีแห้งเร็ว 5% +เวลาบ่ม 28 วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.47	0.36	0.31
สัดส่วน B+เศษสีแห้งเร็ว 7% +เวลาบ่ม 28 วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.47	1.28	0.33
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	2.40	2.03	1.47
สัดส่วนA+กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว3%+เวลาบ่ม 28วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.49	0.18	0.11
สัดส่วนA+กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว5%+เวลาบ่ม 28วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.50	0.74	0.15
สัดส่วนB+กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว3%+เวลาบ่ม 28วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.49	0.11	0.15
สัดส่วนB+กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว5%+เวลาบ่ม 28วัน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ND	0.48	0.20	0.21
มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด	5.00	5.00

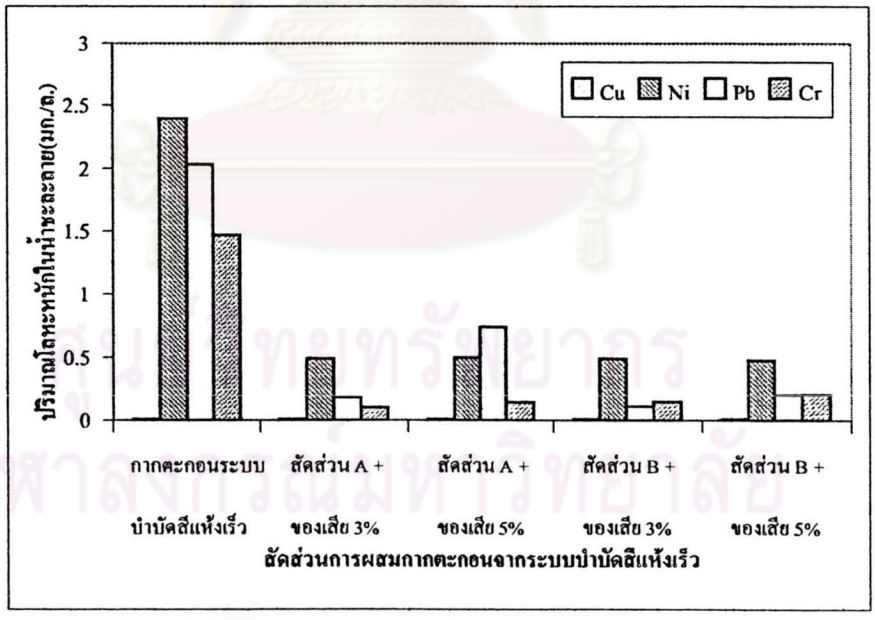
หมายเหตุ สัดส่วน A = ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร

สัดส่วน B = ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร

ND = Non Detectable



รูปที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายเศษสีแห้งเร็วที่สัดส่วนการผสมต่างๆ



รูปที่ 4.10 ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว ที่สัดส่วนการผสมต่างๆ

4.3.3 สมบัติของคอนกรีตบล็อกรูปแบบเดียวกับที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด โดยพิจารณาค่าการดูดกลืนน้ำ และค่ากำลังรับแรงอัด เมื่อมีการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างจริง

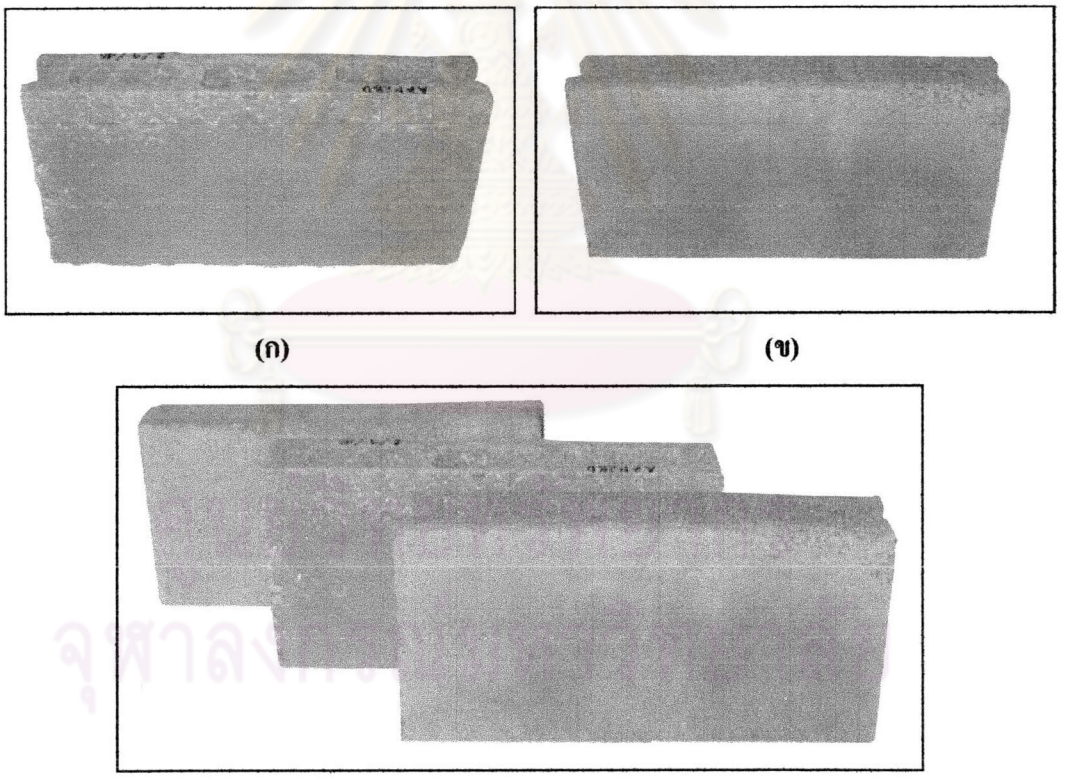
จากการหล่อคอนกรีตบล็อกก่อผนังขนาด 7 x 19 x39 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้สภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 4.3.1 และ 4.3.2 คือ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร และที่มีการเติมกากของเสีย 7 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมดสำหรับเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วตามลำดับ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกก่อผนังที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็วมีลักษณะเนื้อเรียบเนียน มีสีน้ำเงินเช่นเดียวกับเศษสีแห้งเร็วที่เติม น้ำหนักเบาและมีปริมาตรเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยภูพิงค์ ทวีทรัพย์ (2540) กล่าวว่าสาเหตุเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบซัลเฟตในเนื้อสีกับไตรแคลเซียมอะลูมิเนตในปูนซีเมนต์ กลายเป็นแคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนต (Calcium Sulphoaluminate) จึงทำให้ปริมาตรที่ได้เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นก่อนนำไปวัดค่ากำลังรับแรงอัดจึงต้องทำการขัดผิวหน้าของคอนกรีตบล็อกก่อผนังให้เรียบเสียก่อน ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์มีค่ากำลังรับแรงอัดเพียง 2.9 เมกกะปาสคาล และค่าการดูดกลืนน้ำ 28.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1619 ปี 2544 กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ต้องการได้ค่ากำลังรับแรงอัด 2.5 เมกกะปาสคาล) ส่วนผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกก่อผนังที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วมีลักษณะเนื้อเรียบเนียน มีสีน้ำตาลเช่นเดียวกับกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่เติม มีค่ากำลังรับแรงอัด 7.1 เมกกะปาสคาล ค่าการดูดกลืนน้ำ 56.9 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1618 ปี 2544 กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ต้องการได้ค่ากำลังรับแรงอัด 7 เมกกะปาสคาล และค่าการดูดกลืนน้ำ 160 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงรูปของคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่สัดส่วนการผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร และที่มีการเติมกากของเสีย 7 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมดสำหรับเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่ผลิตได้จากการทดลองที่ 4.3.3 นั้นน้อยกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์จากการทดลองที่ 4.3.1 ที่สัดส่วนเดียวกัน สาเหตุมาจากปริมาณน้ำมันในกากของเสียมีผลขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโลหะหนักในกากของเสียกับสารประกอบไฮดรอกไซด์ในปูนซีเมนต์ (สุวรรณา นทีวงศ์กิจ, 2539) ดังนั้นสำหรับการนำเอาเศษสีแห้งเร็วซึ่งมีสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาใช้ทำคอนกรีตบล็อก จึงทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงเช่นกัน นอกจากนี้รูปร่างของคอนกรีตบล็อกก่อผนังนั้นมีความกลวงและความสูงมากกว่าก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ การขึ้นรูปด้วย

มือจึงไม่อาจอัดแรงได้เท่ากัน เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เศษสีแห้งเร็วเป็นสารเติม จึงควรใช้สำหรับงานที่ไม่ต้องการรับแรงมากนัก อันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านกำลังรับแรงอัด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นสารเติม สามารถใช้ได้กับงานทั่วไป

ตารางที่ 4.10 ค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่ผลิตได้

ค่าที่ต้องการทดสอบ	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกกะปาสคาล)		การดูดกลืนน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	ก้อนคอนกรีตลูกบาศก์	คอนกรีตบล็อกก่อผนัง	
เศษสีแห้งเร็ว	12.35	2.9	28.5
มอก.คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก	ไม่กำหนด	2.5	ไม่กำหนด
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว	8.87	7.1	56.9
มอก.คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก	ไม่กำหนด	7.0	160



(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ 4.11 คอนกรีตบล็อกที่สัดส่วนการผสมซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร

(ก.) ปริมาณเศษสีแห้งเร็ว 7 %โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด

(ข.) ปริมาณกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว 5 %โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด

(ค.) เปรียบเทียบสีกับผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกตามท้องตลาด (ซ้ายสุด)

4.4 การประมาณค่าใช้จ่ายในการนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาทำคอนกรีตบล็อกก่อผนัง

จากการประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำเอากากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ทำคอนกรีตบล็อกก่อผนังดังตารางที่ 4.11 พบว่า ต้องเสียค่าใช้จ่าย 5,276 บาทต่อตันเศษสีแห้งเร็ว และ 7,687 บาทต่อตันกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 2.57 และ 2.94 บาทต่อก้อนสำหรับเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว ตามลำดับ ทั้งนี้ไม่ได้คิดค่าใช้จ่ายในการอบและบดวัสดุ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการลงทุนด้านอุปกรณ์ต่างๆ รายละเอียดการคำนวณดังภาคผนวก ก.6

ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายและวิธีการในการบำบัดกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์

ชนิดของเสีย	ค่าใช้จ่ายต่อก้อน (บาท)	ค่าใช้จ่ายและวิธีการบำบัด (บาทต่อตันของเสีย)	
		คอนกรีตบล็อกก่อผนัง	ฝังกลบ
เศษสีแห้งเร็ว	2.57	5,276	3,687
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว	2.94	7,687	3,787

หมายเหตุ : ราคาขายของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกก่อผนังตามท้องตลาดอยู่ที่ก้อนละ 4 บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย