บทที่ 3
แผนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์ ได้แก่ เศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว มาใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มของวัตถุดิบในการทำคอนกรีตบล็อกสำหรับงานก่อสร้าง งานวิจัยสามารถแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 การทดลอง ส่วนแรกเป็นการเตรียมวัสดุ ได้แก่ กากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์และวัสดุผสมสำหรับการดำเนินงานวิจัย การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ การกระจายขนาดของอนุภาค ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ การทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตบล็อก เช่น อัตราส่วนกากของเสียต่อมวลรวม ตลอดจนระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง และศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนักในคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้ สุดท้ายเป็นการประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก โดยทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและบัณฑิต ห้องปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 การเตรียมวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

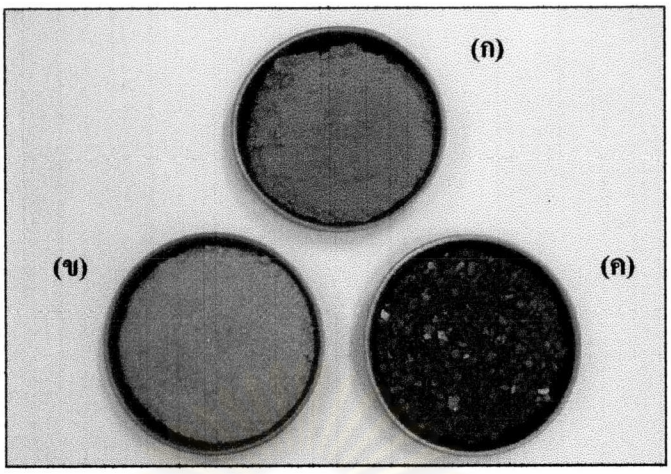
3.1.1 วัตถุดิบ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ตราช้าง (Ordinary Portland Cement, OPC) แสดงดังรูปที่ 3.1
- หินเกล็ด และทรายละเอียด แสดงดังรูปที่ 3.1
- เศษสีแห้งเร็ว และกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว ซึ่งมีที่มาจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ จังหวัดสมุทรปราการ แสดงดังรูปที่ 3.2
- น้ำประปา

3.1.2 สารเคมี

- กรดไนตริก
- กรดซัลฟิวริค
- น้ำกลั่น

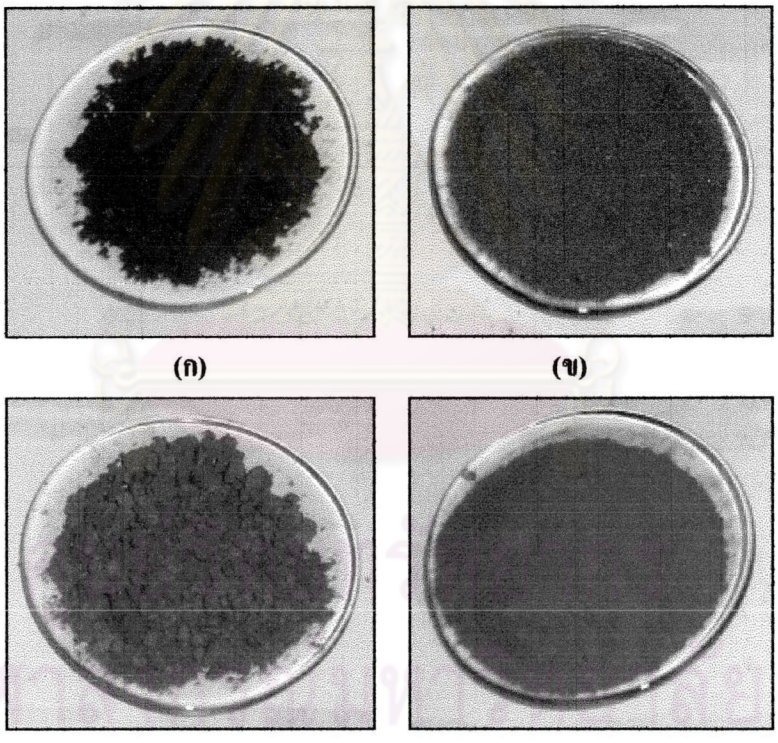
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 วัสดุประสาน และวัสดุผสม

(ก) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

(ข) ทรายละเอียด (ค) หินเกล็ด



รูปที่ 3.2 กากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์

(ก) เศษสีแห้งเร็วก่อนบด (ข) เศษสีแห้งเร็วหลังบด

(ค) กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วก่อนบด

(ง) กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วหลังบด

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.3.1 การหล่อแบบและทดสอบสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่าง

- เครื่องชั่ง : ขนาด 3,100 กรัม อ่านค่าได้ละเอียด 0.01 กรัม
- กระบอกตวง : ขนาด 500 มิลลิลิตร อ่านค่าได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร
- แบบหล่อตัวอย่างลูกบาศก์: ขนาด 5 เซนติเมตร หรือ 2 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 3.3
- แบบหล่อคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่มีขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร ยาว 39 เซนติเมตร และหนา 7 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4
- เครื่องผสม (Mixer) มอร์ตา และคอนกรีต
- แท่งกระทุ้ง (Tamper) : ขนาดหน้าตัด 0.5 x 0.5 ตารางนิ้ว ความยาว 5-6 นิ้ว ปลายตัดเรียบและหน้าตัดตั้งฉากกับแกนมือจับ ทำจากวัสดุไม่ดูดซึมน้ำ
- เกรียง : ทำด้วยเหล็กแบน ขอบสันเกรียงเป็นเส้นตรงยาว 100 ถึง 150 มิลลิเมตร
- เครื่องทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดก้อนตัวอย่าง : น้ำหนักกดสูงสุด 30 ตัน และ 500 ตัน แสดงดังรูปที่ 3.5
- กรวยเหล็กมาตรฐานสำหรับทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ : เส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้านบน 40 $\pm$ 3 มิลลิเมตร ด้านล่าง 90 $\pm$ 3 มิลลิเมตร สูง 75 $\pm$ 3 มิลลิเมตร หนาอย่างน้อย 0.8 มิลลิเมตร

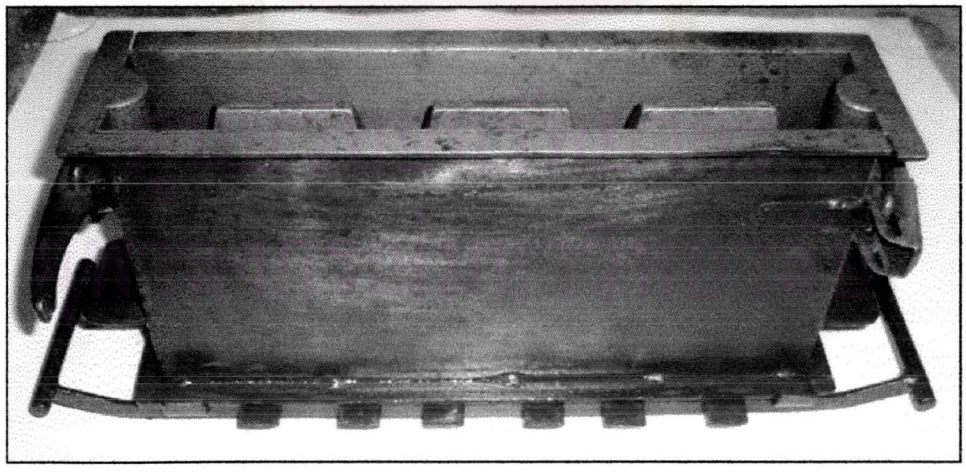
3.1.3.2 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย

- ตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มิลลิเมตร
- เครื่องชั่ง : ขนาด 210 กรัม อ่านค่าได้ละเอียด 0.0001 กรัม
- (METTLER TOLEDO Model DRAGON 204)
- ขวดพลาสติกมีฝาปิด : ขนาด 2 ลิตร
- เครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator): อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาที (รูปที่ 3.6)
- กระบอกตวง : ขนาด 2,000 มิลลิลิตร อ่านค่าละเอียด 10 มิลลิลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 แบบหล่อก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

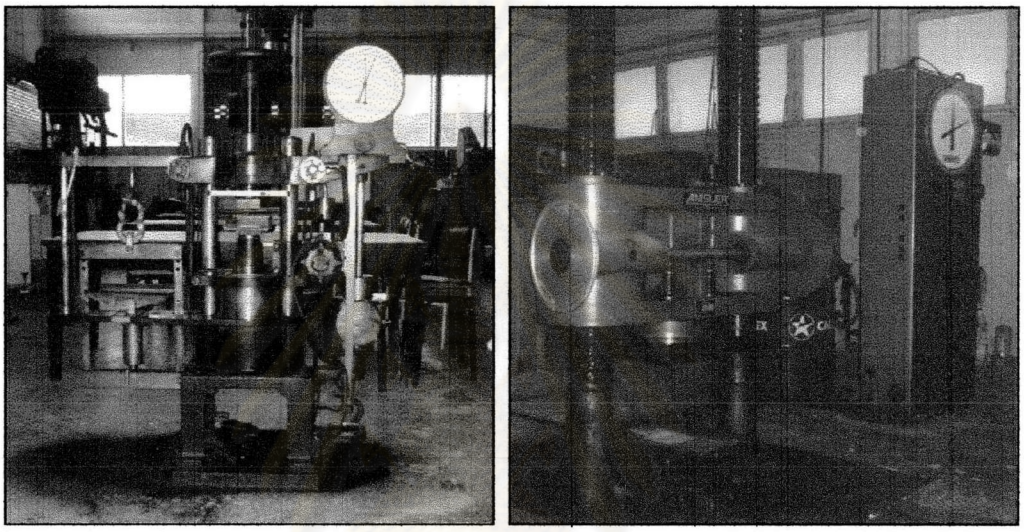
(ก)



(ข)

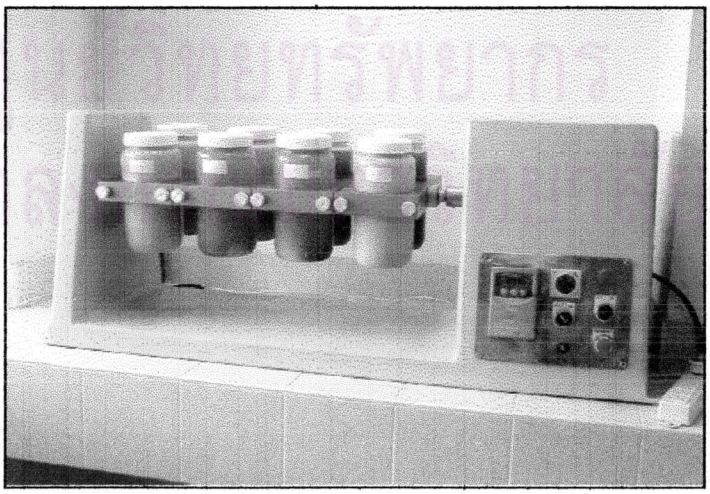
รูปที่ 3.4 แบบหล่อก้อนคอนกรีตบล็อกก่อผนังขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร
(ก) แสดงด้านบน และ (ข) แสดงด้านหน้า

- กระดาษกรองใยแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน
- เครื่องวัดพีเอช (CONSORT Model C 800P)
- เครื่อง Microwave Digester (MILESTONE Model ETHOS SEL)
- เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrometer (varian Spectr AA-10 Plus)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด
(ก) สำหรับก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ น้ำหนักกดสูงสุด 30 ตัน
(ข) สำหรับคอนกรีตบล็อกก่อผนัง น้ำหนักกดสูงสุด 500 ตัน



รูปที่ 3.6 เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 ปี 2540

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ตัวแปรอิสระ

(ก) อัตราส่วนผสมระหว่างกากของเสียต่อมวลรวม (Aggregate)

- แปรค่าอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 และ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร
- แปรค่าอัตราส่วนผสมของกากของเสียต่อมวลรวมของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 0.03 0.05 0.07 0.10 0.20 0.30 และ 0.40

(ข) ระยะเวลาบ่มตัวอย่างคอนกรีต (7 และ 28 วัน)

3.2.2 ตัวแปรตาม

(ก) ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง

(ข) ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

(ค) ปริมาณโลหะหนัก (โครเมียม ตะกั่ว นิกเกิล และทองแดง) ที่ตรวจพบในน้ำชะละลายคอนกรีตบล็อก

(ง) ค่าการดูดกลืนน้ำของก้อนคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่ผลิตได้

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

(ก) ชนิดและขนาดของวัสดุ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง
- ทรายละเอียด (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคน้อยกว่า 2.36 มิลลิเมตร (ศึกษาโดยหฤษฎ์ ธิตินันทน์,2546)
- หินเกล็ด (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคน้อยกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ศึกษาโดยหฤษฎ์ ธิตินันทน์, 2546)
- เศษสีแห้งเร็ว (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เป็น 57.81 ไมครอน (แสดงในภาคผนวกรูป ค.1)
- กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เป็น 32.08 ไมครอน (แสดงในภาคผนวกรูป ค.2)

(ข.) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.50 ทุกการทดลอง (ศึกษาโดย ประเสริฐ งามเลิศประเสริฐ, 2541 และไลทิพย์ อภิธรรมวิริยะ, 2542)

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การทดลองที่ 1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

3.3.1.1 การอบเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

นำตัวอย่างเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งกากของเสียมีมวลคงที่ เพื่อให้สามารถควบคุมความชื้นในการทำวิจัยได้

3.3.1.2 การบดเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

บดเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่อบแห้งแล้ว จากนั้นร่อนวัสดุที่ผ่านการบดแล้วด้วยตะแกรงขนาดมาตรฐานเบอร์ 40 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดเป็น 425 ไมครอน

3.3.1.3 การเตรียมวัสดุผสม

ล้างหินเกล็ดด้วยน้ำสะอาด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส อบทรายให้แห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน

3.3.2 การทดลองที่ 2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการวิจัย

3.3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว

ผลวิเคราะห์โลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดกากของเสียทั้ง 2 ชนิด

3.3.2.2 การวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค (Particle size distribution) ของเศษสีแห้งเร็ว กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วและวัสดุผสม

การกระจายขนาดอนุภาคของเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) ที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของหินเกล็ดและทรายใช้การคัดแยกด้วยตะแกรงโดยเครื่องเขย่า (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C33-93 และ ASTM C136-95a

3.3.2.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ (Specific gravity and absorption)

ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเศษสีแห้งเร็ว กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว และวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM C127-88 และ ASTM C128-93 เพื่อหาความต้องการน้ำของวัสดุ เพื่อเป็นการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง (รายละเอียดการหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำแสดงในภาคผนวก ก.1 และ ก.2)

3.3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตลูกบาศก์

3.3.3.1 การทดลองที่ 3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตลูกบาศก์ โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมซีเมนต์ : ทราย : หินเท่ากับ 1 : 2 : 4 และ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร แปรค่าอัตราส่วนการเติมเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วต่อมวลรวมที่เป็นของแข็งเท่ากับ 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 และแปรระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่างที่ 7 และ 28 วัน คำนวณความหนาแน่น ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อหาอัตราส่วนการผสมวัตถุดิบที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การศึกษาอัตราส่วนการเติมกากของเสียต่อมวลรวมที่เป็นของแข็ง และระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตลูกบาศก์

กากของเสีย	ค่าที่ต้องการทดสอบที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน						
	สัดส่วนการเติมของเสีย (ส่วนผสมซีเมนต์+หิน+ทราย+กากของเสีย) % โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด						
	3	5	7	10	20	30	40
เศษสีแห้งเร็ว							
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว							
ค่าที่ต้องการทดสอบ คือ ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าความหนาแน่น							

3.3.3.2 การทดลองที่ 3.2 ศึกษาสมบัติของคอนกรีตลูกบาศก์ และความสามารถในการลดการชะละลายโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายภายหลังที่มีการนำกากของเสียมาใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อการก่อสร้าง

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายสำหรับสัดส่วนผสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โลหะหนักอะตอมมิคแอบซอร์บชั่นสเปคโตรมิเตอร์ ซึ่งการชะละลายเลือกใช้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2540 แสดงรายละเอียดขั้นตอนวิธีการทดสอบไว้ในภาคผนวก ก.6 ตารางบันทึกผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 หาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนักของคอนกรีตลูกบาศก์ที่มีกากของเสียเป็นส่วนประกอบ

กากของเสีย	สัดส่วนการเติมกากของเสีย	ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนัก			
		โครเมียม (Cr)	ตะกั่ว (Pb)	นิกเกิล (Ni)	ทองแดง (Cu)
เศษสีแห้งเร็ว	ค่าที่เลือก				
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว	ค่าที่เลือก				

3.3.3.3 การทดลองที่ 3.3 ศึกษาสมบัติของคอนกรีตบล็อกรูปแบบเดียวกับที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงอัด เมื่อมีการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างจริง

หล่อคอนกรีตบล็อกในสภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 และ 3.2 โดยใช้แบบหล่อรูปแบบเดียวกับที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อเป็นการตรวจสอบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยแสดงรายละเอียดขั้นตอนวิธีการทดสอบไว้ในภาคผนวก ก.6

3.3.4 การทดลองที่ 4 ประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ทำคอนกรีตบล็อก เปรียบเทียบกับราคาจำหน่ายคอนกรีตบล็อกประเภทเดียวกันที่มีอยู่ตามท้องตลาด และเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบำบัดกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์ของโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ตารางบันทึกผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากของเสีย

ชนิดของเสีย	ค่าใช้จ่ายและวิธีการในการบำบัด (บาทต่อตันของเสีย)	
	คอนกรีตบล็อก	ฝังกลบ
เศษสีแห้งเร็ว		3,687
กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว		3,787

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย