

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้กระทำที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 แผนการวิจัย

3.1.1 การวางแผนการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 2) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยขานอ้อย
- 3) การดำเนินการทดลอง
- 4) การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องวัดพีเอช
- ตะแกรงแยกขนาด
- เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด
- เครื่องเขย่า (Shaker)
- เตาอบวัสดุ
- ขวดยาพลาสติกสำหรับเก็บน้ำเสียขนาด 60 มิลลิลิตร
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน, SEM (Scanning Electron Microscope)
- เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชันสเปกโตรมิเตอร์, XRD (X-Ray Diffraction Spectrometer)
- เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชันฟลูออเรสเซนส์, XRF (X-Ray Diffraction Fluorescence)
- เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค, PSA (Particle Size Analyzer)
- เครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator)

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วได้แก่ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
- สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมได้แก่ $\text{K}_2\text{Cr}_7\text{O}_3$

3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยขานอ้อย

3.3.1 ส่วนประกอบทางเคมี

ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยขานอ้อย ทดสอบหาโดยวิธีการวิเคราะห์ X-Ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy โดยเครื่อง Philips XRF Spectrometer Model 2400

3.3.2 ความละเอียด

ความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยขานอ้อยจะหาใน 3 ลักษณะ โดยแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1.) ลักษณะอนุภาค

ทดสอบโดยกล้องอิเล็กตรอนไมโครสโคป (JEOL JSM-6400 Scanning Electron Microscope; SEM) เพื่อดูรูปร่างและลักษณะผิวของอนุภาคว่าเป็นอย่างไร โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะถูกยึดติดในแท่งอลูมิเนียมทรงกระบอกเล็กๆ และฉาบผิวด้วยโลหะผสมระหว่างทองคำกับแพลเลเดียม (gold-palladium alloy)

2.) การกระจายขนาดอนุภาค

ทดสอบโดยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Malvern Particle Size Analyzer Model Mastersizer 2000) ซึ่งสามารถวัดขนาดได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นผงแห้งและที่เป็นของเหลว โดยในการวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างที่เป็นผงแห้ง และเครื่องนี้สามารถวัดขนาดอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.02 ถึง 2000 ไมโครเมตร ทำการทดสอบเพื่อศึกษาว่า ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีการกระจายตัวอย่างไรและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{50\%}$) เท่าไร

3.) พื้นที่ผิวจำเพาะ

ทดสอบโดยเครื่องหาความซึมอากาศเบลน (Blaine Air Permeability Apparatus) ตามมาตรฐาน ASTM C204-96 ซึ่งค่าพื้นที่ผิวจำเพาะนี้มีหน่วยเป็นพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก

3.3.3 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยทั้งสองชนิด หาโดยการแทนที่ในน้ำมันก๊าดตามมาตรฐาน ASTM C188-95

3.3.4 ส่วนประกอบทางแร่ของเถ้าลอย

เถ้าลอยจะถูกนำมาทดสอบโดยวิธีการวิเคราะห์ X-Ray Diffraction Spectrometer (XRD) ซึ่งจะแสดงผลในรูปผลึก (crystalline phases) ของตัวอย่างที่ทดสอบ

3.3.5 การดูดซับน้ำของวัสดุผสม

ทำการหาค่าการดูดซับน้ำของเถ้าลอย และวัสดุผสม ที่ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีต

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองศึกษาการนำเถ้าลอยชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับตะกั่วและโครเมียมมาแล้วไปทำเป็นคอนกรีตบล็อกปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนัง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์บางส่วน โดยได้แบ่งการทดลองเป็น 6 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมเถ้าลอยชานอ้อย

เถ้าลอยชานอ้อยที่เราจะใช้ในการดูดซับโลหะหนัก จะต้องนำไปผ่านตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 100 เพื่อเป็นการควบคุมขนาดอนุภาคของเถ้าลอยชานอ้อยให้มีขนาดสม่ำเสมอ และตรวจสอบให้มีการกระจายขนาดของอนุภาคเป็นไปในลักษณะเดียวกันตลอดการทดลอง และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสก่อนนำมาทำการดูดซับโลหะหนัก ซึ่งได้แก่ ตะกั่วและโครเมียม โดยกำหนดปริมาณเถ้าลอยชานอ้อย, เวลา, pH ความเข้มข้นเริ่มต้นตามการทดลองของภาณุพงษ์ สถิต-วัฒนาพร (2546) และ วีระชัย วัฒนสกุลเอก (2546)

โลหะหนัก	ปริมาณเถ้าลอย (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	pH	เวลา (นาที)
ตะกั่ว	10	20	6	30
โครเมียม	20	25	1	30

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนังโดยใช้เถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่วและโครเมียม

เถ้าลอยชานอ้อยที่นำมาใช้ในขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนังนั้น เป็นเถ้าลอยชานอ้อยที่ได้จากการเตรียมจากขั้นตอนที่ 1

การทดลองที่ 1

ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ของวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนัง โดยแปรค่าอัตราส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ด (เบอร์4)

เท่ากับ 1:1:2 1:1.1:1.9 1:1.5:2.5 1:2:3 และ 1:3:5 (ค่าอัตราส่วนทรายต่อหินที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.55-0.70 กล่าวโดย ประณต กุลประสูตร, 2541) โดยหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50 และระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน แล้วนำไปทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อหาอัตราส่วนผสมพื้นฐานที่เหมาะสม

อัตราส่วนผสม (ปูน:ทราย:หิน)	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม. ²)			
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1:1:2				
1:1.1:1.9				
1:1.2:1.8				
1:1.5:2.5				
1:2:3				

การทดลองที่ 2

ศึกษาการแปรค่าต่างๆในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้ค่าอัตราส่วนของวัสดุผสมที่ได้จากทดลองที่ 1 การแปรค่าต่างๆ มีดังนี้

- แปรค่าอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยขานอ้อยที่ถูกใช้ในการดูดซับโลหะหนักต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก เริ่มที่ 0.0 จนกระทั่งคอนกรีตไม่สามารถก่อตัวได้

เถ้าลอยขานอ้อย ต่อซีเมนต์ (%)	ค่าที่ต้องการทดสอบ
	อัตราส่วนผสม (ปูน:ทราย:หิน)
	ชุดที่ 1
0	
10	
20	
Fail	

- แปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7

แก้าลอยชานอ้อย ต่อซีเมนต์ (%)	ค่าที่ต้องการทดสอบ			
	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์			
	0.4	0.5	0.6	0.7
0				
ค่าที่เหมาะสม				

- แปรค่าระยะเวลาบ่มที่ 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน

แก้าลอยชานอ้อย ต่อซีเมนต์ (%)	ค่าที่ต้องการทดสอบ				
	ระยะเวลาบ่ม				
	3	5	7	14	28
0					
ค่าที่เหมาะสม					

แล้วนำก้อนตัวอย่างไปทดสอบค่าแรงรับกำลังอัด เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนัง โดยในการทดสอบค่าแรงรับกำลังอัด จะทำการทดสอบชุดละ 3 ตัวอย่างเพื่อนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

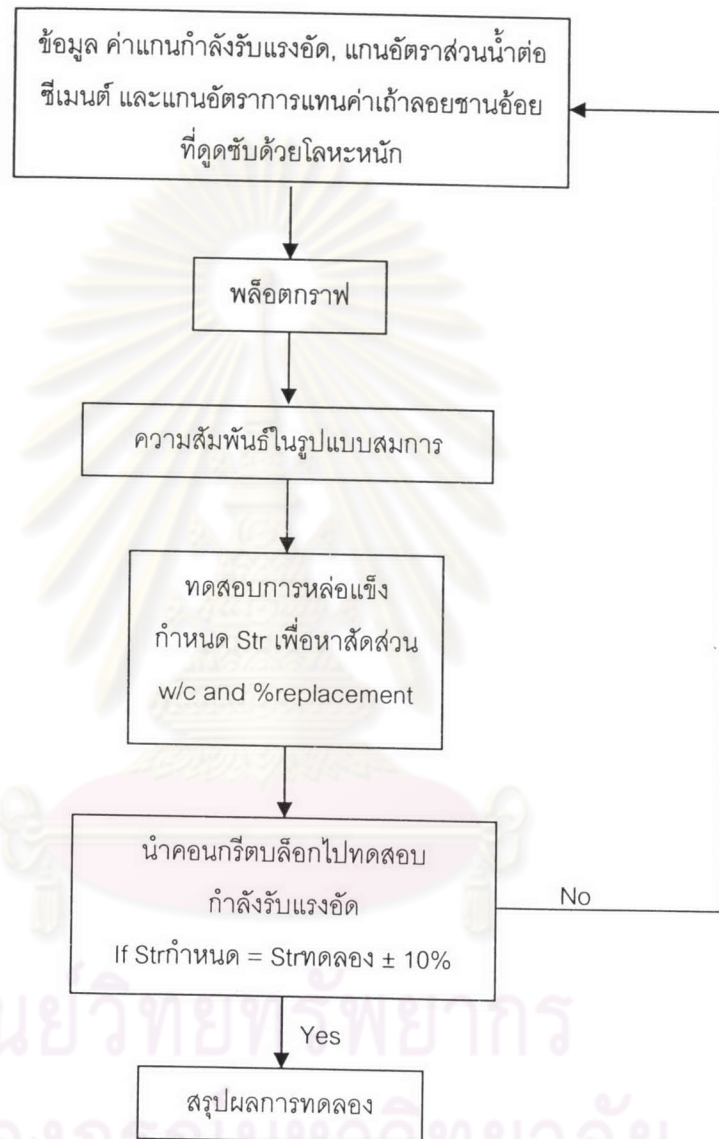
ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด, ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์, ค่าอัตราการแทนค่าแก้าลอยชานอ้อยที่ดูชัดด้วยโลหะหนักต่อซีเมนต์

โดยการนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SigmaPlot โดยจะทำการวิเคราะห์ในลักษณะกราฟแกน 3 มิติ ได้แก่ แกนกำลังรับแรงอัด, แกนอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และแกนอัตราการแทนค่าแก้าลอยชานอ้อยที่ดูชัดด้วยโลหะหนัก แล้วหาออกมาได้ในรูปของสมการ

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมของสมการที่ศึกษาออกมาได้

นำสมการที่ได้มาทำการแทนค่า หาค่าอัตราส่วนที่ทำให้การแก้าลอยชานอ้อยได้มากที่สุด แต่ต้องมีค่ากำลังอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด นำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสาน

ปูพื้น และคอนกรีตบล็อกก่อผนัง แล้วทดสอบหาค่ากำลังอัดที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการตัดสินใจความเหมาะสมของความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการ

ขั้นตอนที่ 5 การศึกษาผลการชะละลาย

คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยขานอ้อยที่ดูดซับด้วยโลหะหนัก จะถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะ ซึ่งได้จากวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) มีวิธีการดังนี้

1.) บดลูกบาศก์คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่ดูดซับโลหะหนักให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

2.) นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1.) หนัก 100 กรัม เติมน้ำสกัด ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดหรือค่าพีเอช (pH) ของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

3.) เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

4.) กรองสารละลายจากการสกัด ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

สารสกัดที่ผ่านการกรองแล้ว จะถูกนำไปย่อยโดยเครื่องไมโครเวฟ (Microwave Digester) เพื่อลดผลการแทรกแซงจากสารอินทรีย์และเพื่อเปลี่ยนรูปโลหะให้อยู่ในรูปที่สามารถตรวจพบได้เมื่อวิเคราะห์โดยเครื่อง Inductively-Coupled Plasma (ICP) โดยเติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ลงในสารสกัด 45 มิลลิลิตร ที่อยู่ในขวดสำหรับย่อย (digestion vessel) จากนั้นนำเข้าเครื่องไมโครเวฟเพื่อทำการย่อย โดยเครื่องจะให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิถึง 165 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 20 นาที หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการย่อย สารสกัดที่ถูกย่อยแล้วจะถูกปล่อยให้เย็นลง จนมีอุณหภูมิประมาณอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนการศึกษาการประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

ศึกษาการประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นและราคาจำหน่ายเบื้องต้น ในการนำเถ้าลอยขานอ้อยที่ถูกใช้ในการดูดซับโลหะหนัก มาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนังเพื่อการก่อสร้าง และเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป พร้อมทั้งวิเคราะห์จำนวนคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่จะสามารถผลิตได้ต่อจำนวนเถ้าลอยขานอ้อยที่มีออกมาจากโรงงานในแต่ละเดือน เพื่อหาอัตราการผลิตที่เหมาะสม และคำนวณกำไรที่จะได้รับจากการทำเถ้าลอยขานอ้อยที่ดูดซับโลหะหนักมาใช้

3.5 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์ผลการวิจัย จะเปรียบเทียบผลกระทบต่อสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผสมด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโลหะหนัก พร้อมทั้งหาความเป็นไปได้ในการนำข้อมูลที่ได้จากการหล่อลูกบาศก์คอนกรีตที่ผสมด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโลหะหนัก ออกมาในรูปของสมการ และนำไปเปรียบเทียบกับ การทดลองจริงที่ทำเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนัง ว่ามีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด และการศึกษาผลการชะละลายของโลหะหนักที่เถ้าลอยชานอ้อยในคอนกรีตดูดซับไว้ว่ามีการชะออกมาสู่ภายนอกเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ เพื่อเป็นการเน้นย้ำให้มั่นใจในคุณภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่ใช้เถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับด้วยโลหะหนักมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ว่าสามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปได้จริง ทั้งยังวิเคราะห์ถึงต้นทุนและกำไรที่จะได้รับโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่มีขายตามท้องตลาด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย