บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

การทดลองกระทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. กากตะกอนดิบ
2. วัสดุประสาน

1. กากตะกอนดิบ

ในที่นี้หมายถึง ของเสียที่เกิดจากกระบวนการกลั่นน้ำมันเครื่องเก่า ในขั้นตอนการกลั่นจะเติมกรด เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆออกจากน้ำมัน แล้วจึงเติมดินดูดซับสี จากขั้นตอนดังกล่าวทำให้เกิดของเสียในรูปสลัดจ์กรดและดินดูดซับสีที่ใช้แล้ว ซึ่งจะถูกนำไปทิ้งไว้บนพื้นที่ข้างโรงงาน

2. วัสดุประสาน

วัสดุประสานหรือวัสดุผสมที่ใช้ในการศึกษา เลือกใช้วัสดุประเภทซีเมนต์ (Cementitious binder) เนื่องจากวัสดุประเภทซีเมนต์มีคุณสมบัติในการยึดเกาะ ทำให้เป็นก้อนได้ดี เป็นวัสดุที่หาได้ง่าย และ ราคาไม่แพง การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วัสดุประสานชนิดต่างๆ ดังนี้

2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง (ตราช้าง)

2.2 ปูนขาว

2.3 ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. การเผา

1.1 ภาชนะดินเผา ก้นแบน

1.2 เตาเผาชนิดใช้แก๊ส ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การทดลองผสมกากตะกอนกับวัสดุประสาน และการทดสอบกำลังรับแรงอัด

2.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2,000 กรัม อ่านได้ละอียดถึง 0.2 กรัม

2.2 แบบหล่อพลาสติกขนาด 5x5x5 เซนติเมตร

2.3 ภาชนะสำหรับผสมซีเมนต์

2.4 แทมเปอร์ (Tamper) มีขนาดหน้าตัด 0.5 นิ้ว x 1 นิ้ว มีความยาวประมาณ 5 ถึง 6 นิ้ว หน้าตัดเรียบและตั้งฉากกับแกนจับ ทำด้วยวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ

2.5 เกรียงฉาบซีเมนต์ ความกว้างของใบ 4 ถึง 6 นิ้ว

2.6 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การทดสอบการสกัดสาร

3.1 ตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร

3.2 ขวดพลาสติกปริมาตร 1 ลิตร ใช้ขวดชนิด PP เพื่อป้องกันการดูดซับของโลหะหนัก

3.3 ขวดวัดปริมาตร 500 มิลลิลิตร

3.4 เครื่องชั่งสารเคมี 1,000 กรัม

3.5 เครื่องเขย่าแนวราบ 200 รอบ/นาที

3.6 กระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 1 ไมครอน

3.7 เครื่องวัดพีเอช

3.8 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้กำหนดแนวทางการศึกษาไว้ 2 ขั้นตอน

1. การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น (Trial test)
2. การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด (Optimization test)

สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆจากการศึกษาทั้ง 2 ขั้นตอน แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

1. การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้นเป็นการศึกษา เพื่อพิจารณาหาชนิดของวัสดุประสาน ที่มีประสิทธิภาพในการทำกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา ให้เป็นก้อนได้ดีกว่าวัสดุประสานชนิดอื่นๆในกลุ่มวัสดุประสานที่เลือกใช้ การทดสอบเบื้องต้นทำการทดสอบกับกากตะกอนดิบ และขี้เถ้าหลังการเผา โดยกำหนดสัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ดังนี้

1.1 สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งกับกากตะกอนดิบ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักกาก

สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง กับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง กับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

สัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง กับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

1.2 สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับกากตะกอนดิบ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักกาก

สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนผสมของวัสดุประสานชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทำกากตะกอนดิบและขี้เถ้าหลังการเผา ให้เป็นก้อน

ประเภทของกากตะกอน	วัสดุประสาน	สัดส่วนผสมของวัสดุประสาน (ร้อยละ) ต่อกับน้ำหนัก
การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น		
กากตะกอนดิบ	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง 2. ปูนขาว 3.ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)	10, 20 และ 30 10, 20 และ 30 10, 20 และ 30
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง 2. ปูนขาว 3. ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)	10, 20 และ 30 10, 20 และ 30 10, 20 และ 30
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง 2. ปูนขาว 3. ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)	10, 20 และ 30 10, 20 และ 30 10, 20 และ 30
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง 2. ปูนขาว 3. ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)	10, 20 และ 30 10, 20 และ 30 10, 20 และ 30
การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด		
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	3, 6 และ 9
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ	ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก)	3, 6 และ 9
ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง	13, 16 และ 19

1.3 สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก กับกากตะกอนดิบ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักกาก

สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก กับ ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก กับ ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

สัดส่วนผสมระหว่างปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก กับ ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 10, 20 และ 30 ต่อน้ำหนักเถ้า

2. <u>การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด</u>

จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้นจนได้ชนิดของวัสดุประสาน ที่มีสมบัติในการทำขี้เถ้าหลังการเผา เป็นก้อนได้ดีที่สุด ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด จะทำการผสมขี้เถ้าหลังการเผากับวัสดุประสานชนิดนั้นอีก โดยทำการแปรเปลี่ยนสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้วัสดุประสานในปริมาณไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ในการทำขี้เถ้าหลังการเผาให้เป็นก้อน มีกำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ทางราชการกำหนด ในการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ได้กำหนดสัดส่วนผสมดังนี้

2.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 °ซ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสาน ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า

2.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ ใช้ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุประสาน ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 3, 6 และ 9 ต่อน้ำหนักเถ้า

2.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °ซ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสาน ที่สัดส่วนผสม ร้อยละ 13, 16 และ 19 ต่อน้ำหนักเถ้า

นอกจากนี้ ยังวัดค่าการซึมน้ำได้ของก้อนแข็ง ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน รวมถึงปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป และ ค่าใช้จ่ายในการกำจัด ซึ่งจะดำเนินการเฉพาะขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ เท่านั้น เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย

การศึกษาสมบัติของกากตะกอนดิบ

กากตะกอนดิบที่ใช้ในการศึกษา ต้องนำมาวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. สมบัติทางด้านกายภาพ

1.1 ปริมาณน้ำเรรุ

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2216-80

1.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

นำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรมาชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาความหนาแน่นรวม

1.3 กำลังรับแรงอัด

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 109-86

1.4 ปริมาณน้ำมันและไขมัน

วิเคราะห์โดยวิธีการสกัดในกากตะกอน (Extraction Method for Sludge Samples)

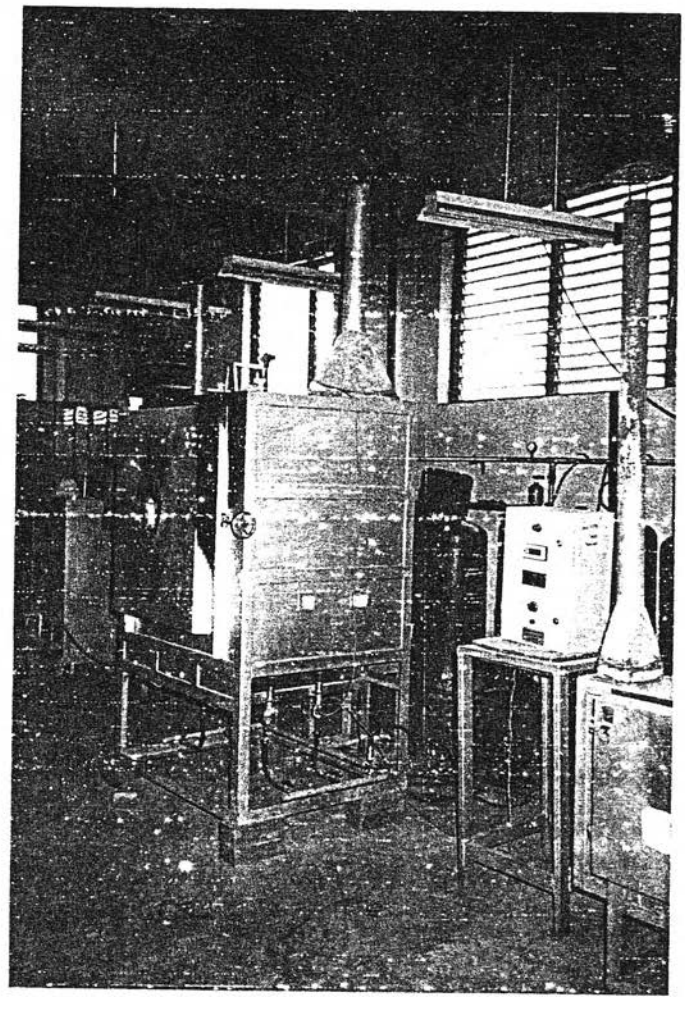
2. สมบัติทางด้านเคมี

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะละลาย ใช้วิธีสกัดสารตามวิธีที่กรมโรงงานฯกำหนด วิธีวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะ อาร์เซนิค แคดเมียม โครเมียม ปรอท และ ตะกั่ว เพื่อจำแนกประเภทของกากตะกอนว่าเข้าข่ายของเสียอันตรายประเภทวัตถุมีพิษหรือไม่

ขั้นตอนการเผากากตะกอนดิบ

ในการเตรียมการเผากากตะกอนดิบที่อุณหภูมิต่างๆ กระทำโดยการตักกากตะกอนดิบลงในภาชนะดินเผา เกลี่ยให้มีระดับความสูงประมาณ 1 นิ้ว จากนั้นนำเข้าเตาเผาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (รูปที่ 4.1) จุดไฟเผา รอจนกระทั่งอุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการและรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ ทำการเผาต่อไปนาน 4 ชั่วโมง

I 17362040



รูปที่ 4.1 เตาเผา

การทดสอบสมบัติของกากตะกอนดินและขี้เถ้าหลังการเผา ที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสาน

การผสมกากตะกอนดินและขี้เถ้าหลังการเผากับวัสดุประสาน ทำการผสมด้วยมือ โดยนำกากตะกอนดินหรือขี้เถ้ามาใส่ในภาชนะที่ใช้ผสม และเติมวัสดุประสานลงไปตามสัดส่วนโดยน้ำหนักที่กำหนดไว้ แล้วกวนผสมให้เข้ากัน เติมน้ำตามส่วนแล้วผสมให้เข้ากัน จากนั้นส่วนผสมจะถูกเทลงในแบบหล่อ (รูปที่ 4.2) และ กระทุ้งให้เทากันตลอด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 109-86 หลังจากหล่อเสร็จ

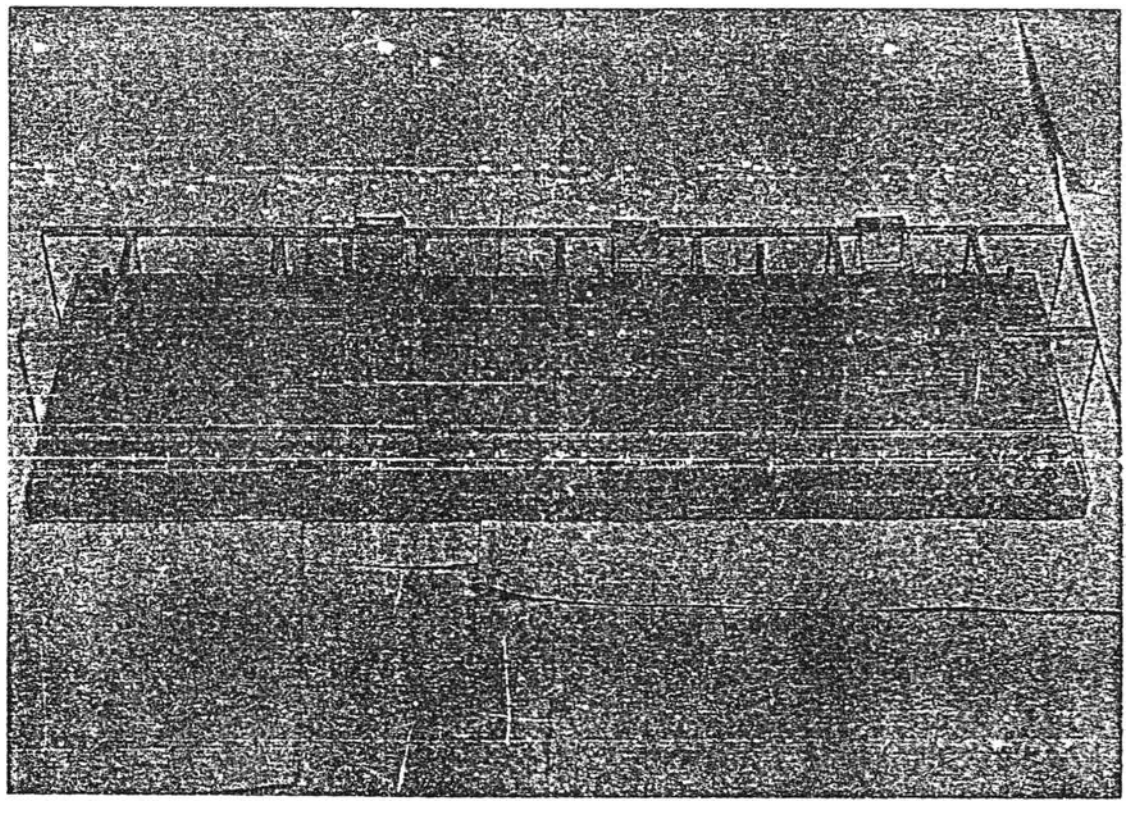
นำแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดถอดแบบหล่อออก และ บ่มก้อนตัวอย่าง โดยใช้ผ้ากระสอบชุ่มน้ำคลุมทับ จนถึงเวลาทดสอบก้อนตัวอย่าง

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงแนวทางในการทำลายฤทธิ์กากตะกอนดิบ ให้สามารถนำไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2531) ดังนั้นวิธีการทดสอบสมบัติของก้อนตัวอย่าง จะยึดถือปฏิบัติตามข้อกำหนดตามประกาศดังกล่าว โดยกำหนดการทดสอบดังนี้

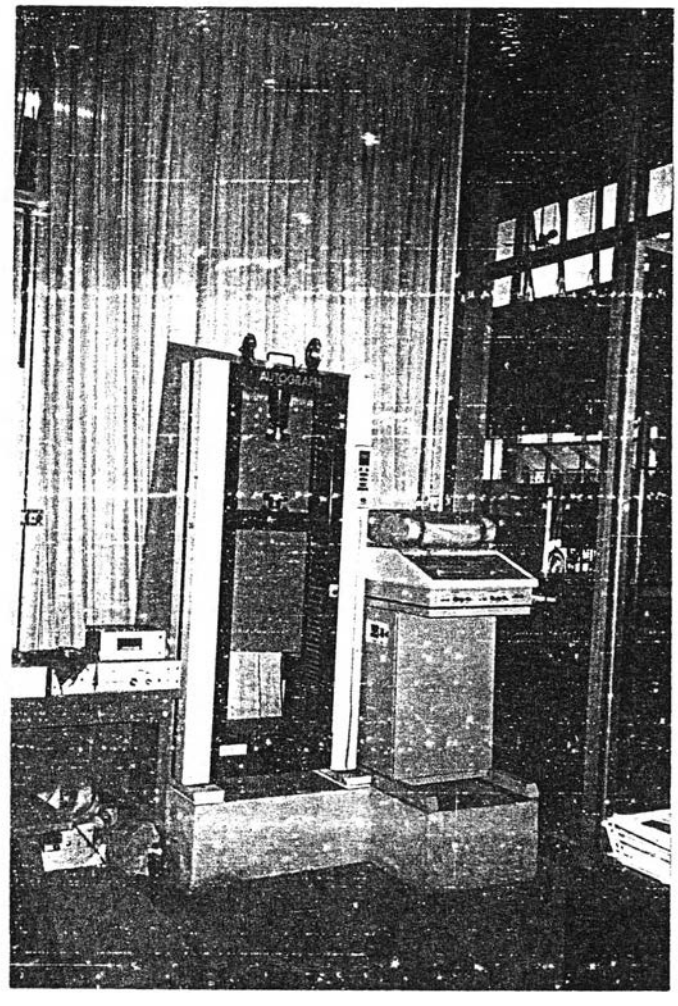
1. การทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

1.1 กำลังรับแรงอัด

กำหนดใช้ค่า Unconfined compressive strength โดยกำหนดการทดสอบจากก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C 109-86 Testing for Compressive Strength of Hydraulic Cement Motars Using 50 mm. Cube Specimens โดยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด แสดงดังรูปที่ 4.3 และทดสอบที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน



รูปที่ 4.2 แบบหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5x5x5 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด

1.2 <u>ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด</u>

ตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน โดยใช้วิธีการสกัดสาร ตามที่กรมโรงงานฯกำหนดไว้ดังนี้ คือ นำก้อนตัวอย่างที่บดให้มีขนาดระหว่าง 0.5 ถึง 5 มิลลิเมตร จำนวน 50 กรัม ใส่ในตัวทำละลายซึ่งประกอบด้วย น้ำกลั่นผสมกับกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าพีเอช 5.8 ถึง 6.3 ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายเป็น 10 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของก้อนตัวอย่าง เขย่าบนเครื่องเขย่าชนิด 200 รอบ/นาที (รูปที่ 4.4) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองใยแก้วขนาดรู 1 ไมครอน นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ

หนัก ได้แก่ อาร์เซนิค แคดเมียม โครเมียม ปรอท และ ตะกั่ว สำหรับแคดเมียม โครเมียม และ ตะกั่ว วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 4.5) อาร์เซนิค กับ ปรอท วิเคราะห์ด้วยวิธี Vapor Generation

2. การทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

2.1 กำลังรับแรงอัด

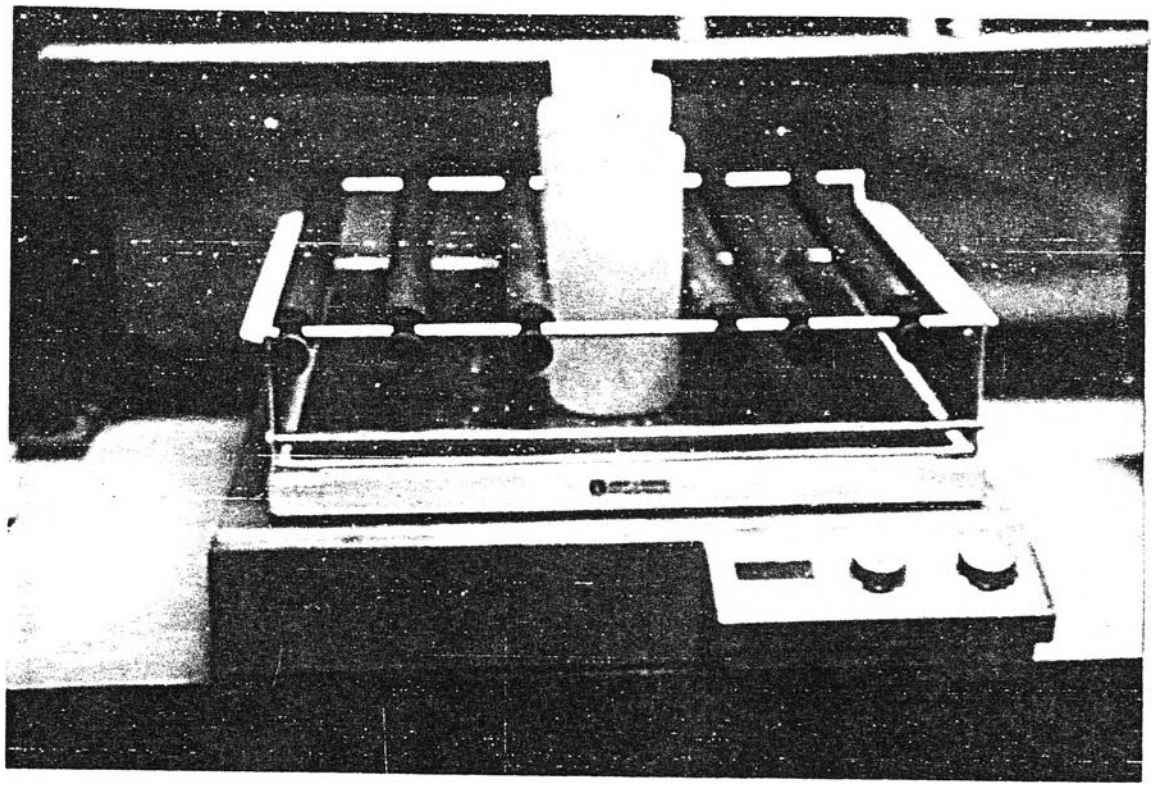
ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน

2.2 ความหนาแน่น

นำก้อนตัวอย่างที่ทราบปริมาตรมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน

2.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด

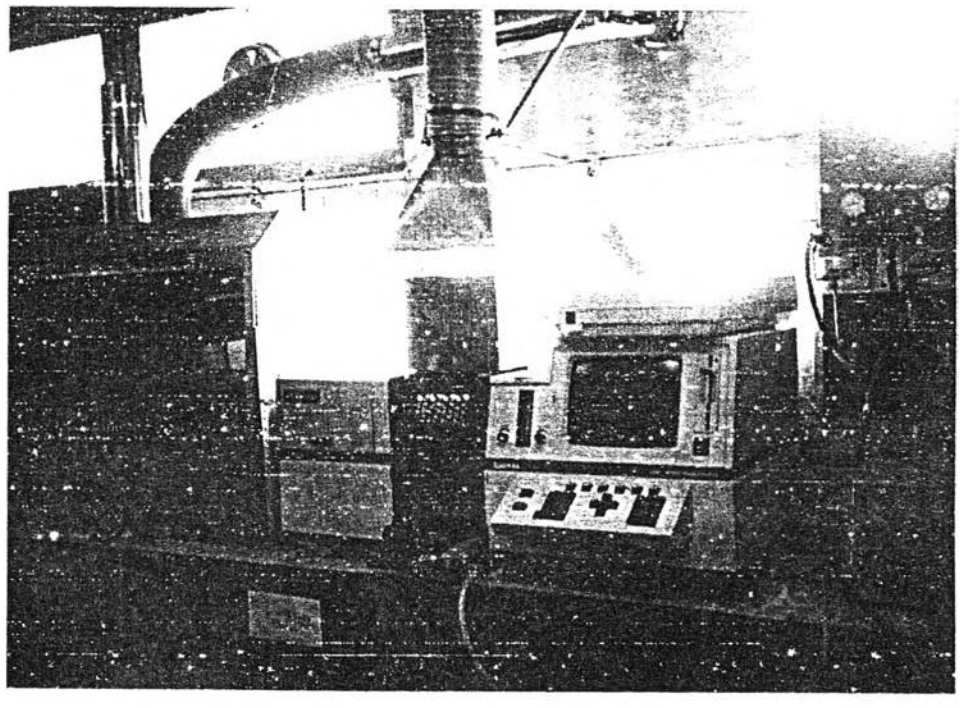
วิเคราะห์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน



รูปที่ 4.4 เครื่องเขย่า 200 รอบ/นาที

2.4 ความให้ซึมได้ (Permeability)

ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2434-68 Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) ทั้งนี้โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Triaxial Test โดยจะทดสอบกับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 °ซ เมื่อใช้สัดส่วนปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้จากผลการทดลอง



รูปที่ 4.5 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์