



บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 คราซ้าง
- 3.1.2 เบนโทไนท์ ใช้เบนโทไนท์ตรา Bentonile จากประเทศฝรั่งเศส
- 3.1.3 น้ำ ใช้น้ำประปา

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

- 3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย
แผนภูมิการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย แสดง

ดังในรูปที่ 3.1

- 3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์
แผนภูมิการศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์-เบนโทไนท์ และแผนภูมิการศึกษาผล
ของระยะเวลาที่มีต่อกำลังรับแรงอัดและการซึมผ่านของน้ำ ของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์
แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 - 3.4 ตามลำดับ

3.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมแบบหล่อ

แบบหล่อที่ใช้สำหรับหล่อก้อนตัวอย่างได้ใช้แบบหล่อโลหะที่ใช้หล่อก้อนคอนกรีต
ขนาดเล็กรูปทรงกระบอกและรูปทรงลูกบาศก์ โดยที่แบบหล่อรูปทรงกระบอกใช้สำหรับหล่อก้อน

ทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบ unconfined ส่วนแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ ใช้สำหรับหล่อก่อนทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ แบบหล่อรูปทรงกระบอกมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm. สูง 10 cm. (รูปที่ 3.5) แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์มีขนาด 5 cm. * 5cm. * 5cm. (รูปที่ 3.6) เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำผ่านรอยต่อของแบบหล่อจะใช้แผ่นยาง เป็นปะเก็นกันการรั่วซึม ส่วนการรั่วซึมบริเวณฐานของแบบหล่อได้ใช้ดินน้ำมันในการป้องกัน

3.3.2 การเตรียมเบนโทไนท์ สเลอรี่

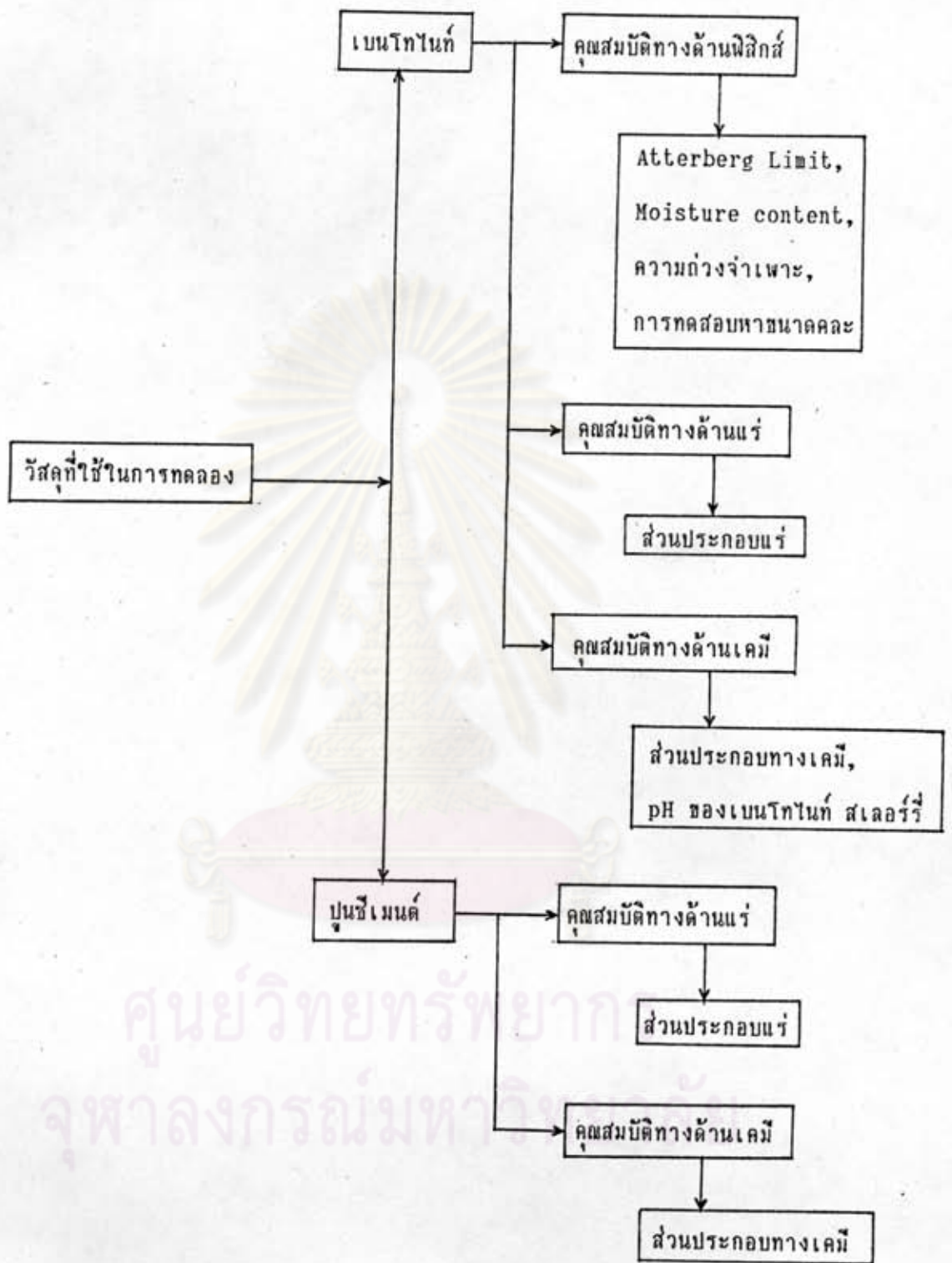
เบนโทไนท์ สเลอรี่ ได้จากการนำเบนโทไนท์ผงมาผสมกับน้ำ แล้วทำการ กวนโดยใช้เครื่องกวน (รูปที่ 3.7) ซึ่งมีลักษณะเป็นใบพายหมุนอยู่ในหม้อซึ่งมีความจุประมาณ 7 ลิตร ใบพายจะหมุนด้วยความเร็วประมาณ 120 รอบต่อนาที การกวนจะกระทำจนกระทั่งน้ำ และผงเบนโทไนท์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 90 นาที เบนโทไนท์ สเลอรี่ ที่ใช้ในการทดลองนี้ มีอัตราส่วนของเบนโทไนท์ 5% โดยน้ำหนัก

3.3.3 การผสมปูนซีเมนต์กับเบนโทไนท์ สเลอรี่

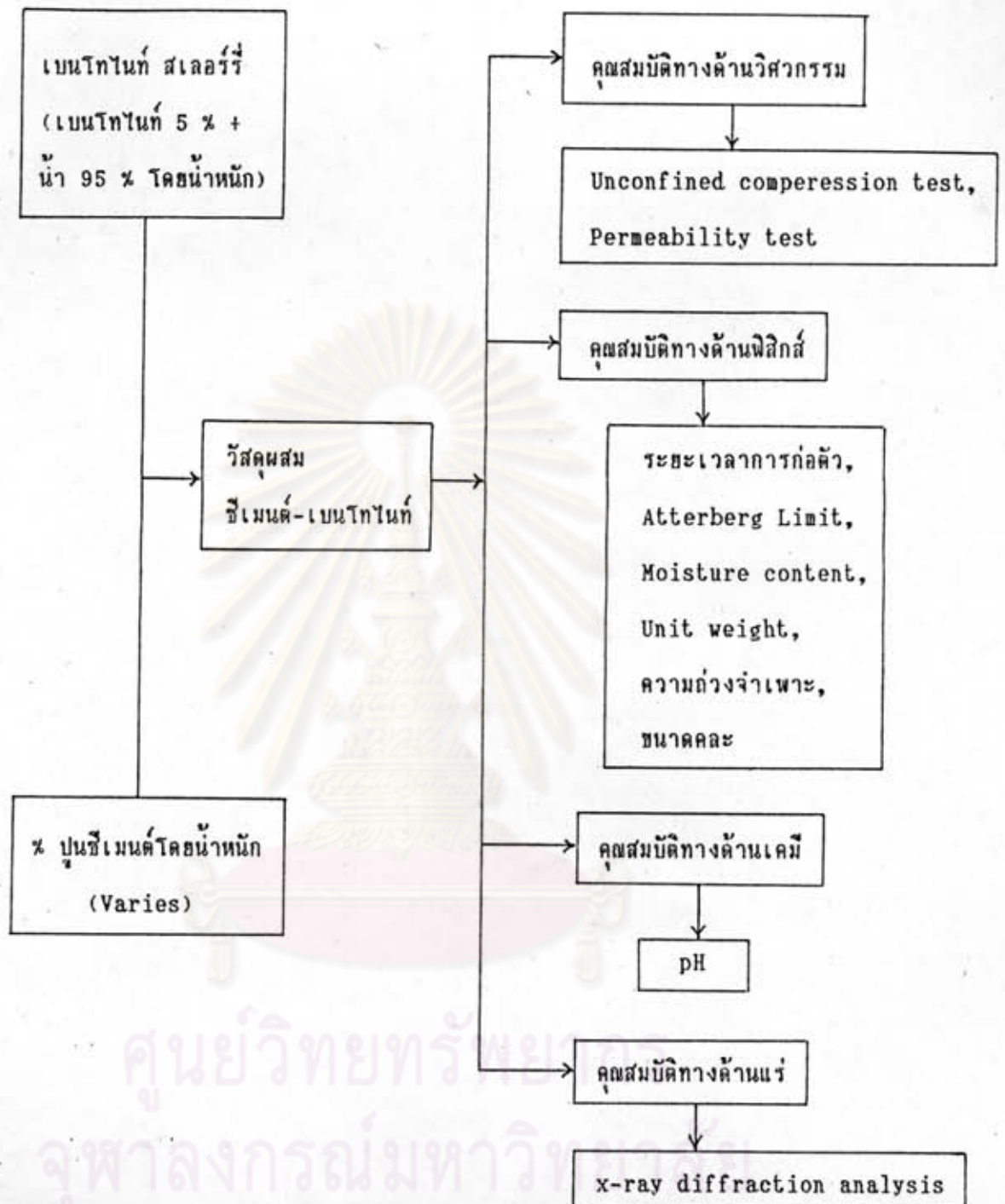
เมื่อได้เบนโทไนท์ สเลอรี่ที่ตามที่ต้องการแล้ว จะทำการเติมปูนซีเมนต์ ด้วยอัตราส่วนตามที่กำหนด จากนั้นจึงนำไปกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เครื่องกวน ซึ่ง จะใช้เวลาประมาณ 15 นาที จากนั้นจึงนำส่วนผสม ซีเมนต์-เบนโทไนท์ ที่ได้ไปเทใส่แบบหล่อ ที่เตรียมไว้ โดยที่ก่อนจะเทจะทำการทาน้ำมันเครื่องที่ผิวในของแบบหล่อ เพื่อป้องกันการยึด เกาะระหว่าง ซีเมนต์เบนโทไนท์กับผิวของแบบหล่อซึ่งจะทำให้สะดวกในการถอดแบบ การ ถอดแบบจะกระทำหลังจากการหล่อตัวอย่างทดสอบเป็นระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง

3.3.4 การบ่มก้อนตัวอย่าง

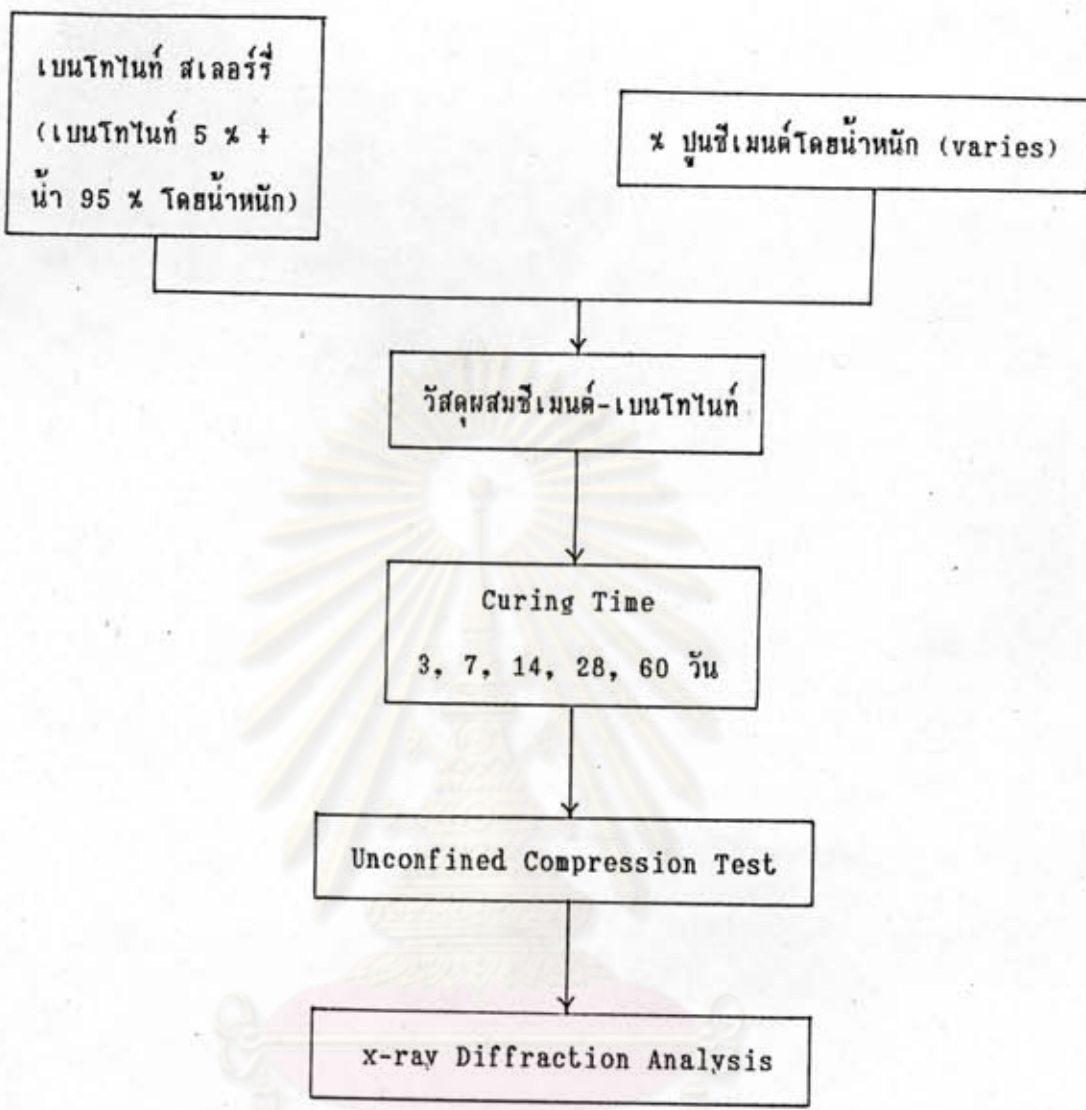
ภายหลังจากการถอดแบบแล้ว จะนำก้อนตัวอย่างที่ได้ไปบ่มในห้องบ่ม แบบละอองไอน้ำ ซึ่งเป็นห้องบ่มที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ดังนั้น อุณหภูมิภายในห้องบ่มจึง ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ในการทำวิจัยนี้ อุณหภูมิภายในห้องบ่มมีค่าอยู่ระหว่าง $26^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

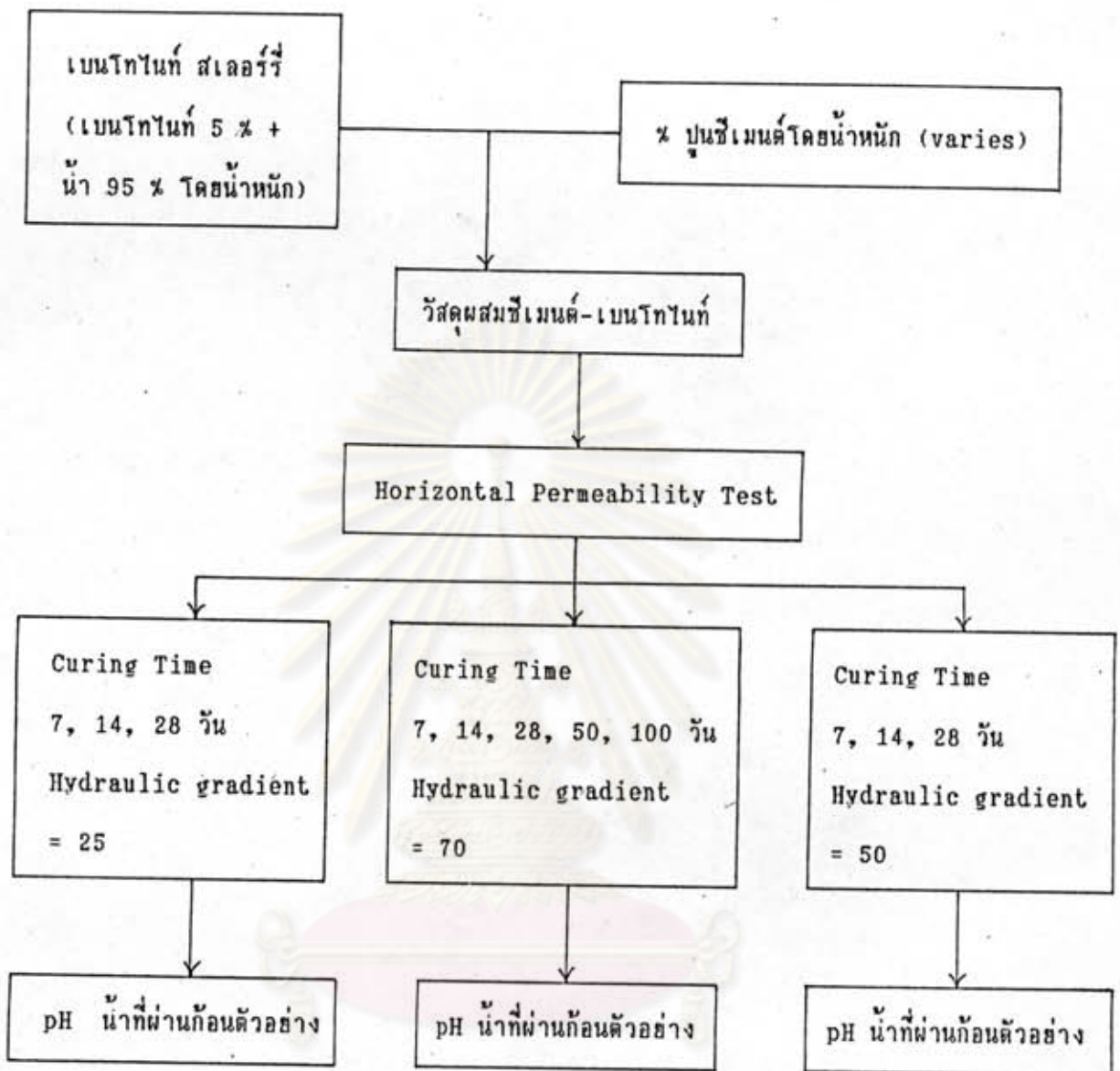


รูปที่ 3.2 แผนภูมิการศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์-เบนโทไนท์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 แผนภูมิการศึกษาค้นคว้าผลของระยะเวลาบ่มต่อการพัฒนา กำลังของวัสดุผสม



รูปที่ 3.4 แผนภูมิการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มต่อการซึมผ่านของน้ำผ่านวัสดุผสม

3.3.5 การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบ

ก่อนที่จะทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดและการซึมผ่านของน้ำ ของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ จะนำก้อนตัวอย่างที่บ่มไว้มาทำการตกแต่ง ด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการตกแต่งตัวอย่างดินเหนียว ดังรูปที่ 3.8 ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบ unconfine มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5 cm. สูงประมาณ 7.0 cm ส่วนขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการซึมผ่านของน้ำมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.5 cm. สูงประมาณ 4 cm.

3.3.6 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัว (setting time)

การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ ได้ใช้เครื่องมือทดสอบแบบ Vicat needle ดังแสดงในรูปที่ 3.9 วัสดุซีเมนต์-เบนโทไนท์ที่ได้จากการผสมจะบรรจุอยู่ในภาชนะที่ป้องกันการรั่วซึมของน้ำแทน conical ring, G ระยะเวลาการก่อตัวหาได้จากเวลาที่เริ่มหลอวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ จนถึงระยะเวลาที่การจมของเข็มผ่านวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ มีค่าเท่ากับ 25 มม. ในระยะเวลา 30 วินาที ขั้นตอนการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวแบบ vicat เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM: C 191-79

3.3.7 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบ unconfine

การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบ unconfine ได้ใช้เครื่องมือทดสอบกำลังของดินแบบ Triaxial โดยที่ไม่มีการให้ confining pressure แก่ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงกดมีค่าเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดในแต่ละอัตราส่วนผสมที่ระยะเวลาบ่มหนึ่ง ๆ จะใช้จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่ากำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ย

3.3.8 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ ได้ใช้เครื่องมือเดียวกันกับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบ unconfine การทดสอบ

เป็นแบบ constant head permeability test โดยมีเกรเดียนต์ของการไหล (Hydraulic gradient) เป็น 25, 50 และ 70 ตามลำดับ ความดันน้ำก่อนที่จะผ่านตัวอย่าง ได้จากการปรับระดับปรอทในส่วนที่จะส่งความดันไปตามสาย back pressure ของการทดสอบ แบบ triaxial test ความดันน้ำภายหลังการซึมผ่านตัวอย่างมีค่าประมาณความดันบรรยากาศ (สภาพของการซึมผ่านที่เกิดขึ้นในสนามจะเป็นลักษณะที่มีความดันน้ำบริเวณด้านที่ซึมมีค่าเป็นศูนย์ (ความดันบรรยากาศ)) ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์จะถูกหุ้มด้วย membrane โดยมี confining pressure กระทำรอบตัวอย่าง เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำบริเวณรอยต่อระหว่างผิวของตัวอย่างกับ membrane ที่อาจเกิดขึ้นได้ ค่าความดันน้ำก่อนผ่านก่อนตัวอย่าง (back pressure) และค่าความดันน้ำที่กระทำรอบตัวอย่าง (confining pressure) ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าดังนี้คือ

Hydraulic gradient	Back pressure	Confining pressure
25	0.1 ksc.	0.2 ksc.
50	0.2 ksc.	0.25 ksc.
70	0.3 ksc.	0.35 ksc.

ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ แสดงดังในรูปที่ 3.10 อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างหาได้จากการวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ในการทดลองนี้ยังได้ทำการวัดค่า pH ของน้ำทั้งก่อนและหลังการซึมผ่านก่อนตัวอย่าง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหลังจากผ่านวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ อีกด้วย

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.3.1

$$k = QL/Aht \quad (3.3.1)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง

L = ความสูงของตัวอย่าง

h = ความดันที่แตกต่างกันเท่ากับ ความสูงของน้ำก่อนและหลังผ่านตัวอย่าง

Q = ปริมาณการไหลที่วัดได้

t = เวลาที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ ในแต่ละอัตราส่วนผสม ที่ระยะเวลาบ่มหนึ่ง ๆ จะใช้จำนวน 2 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

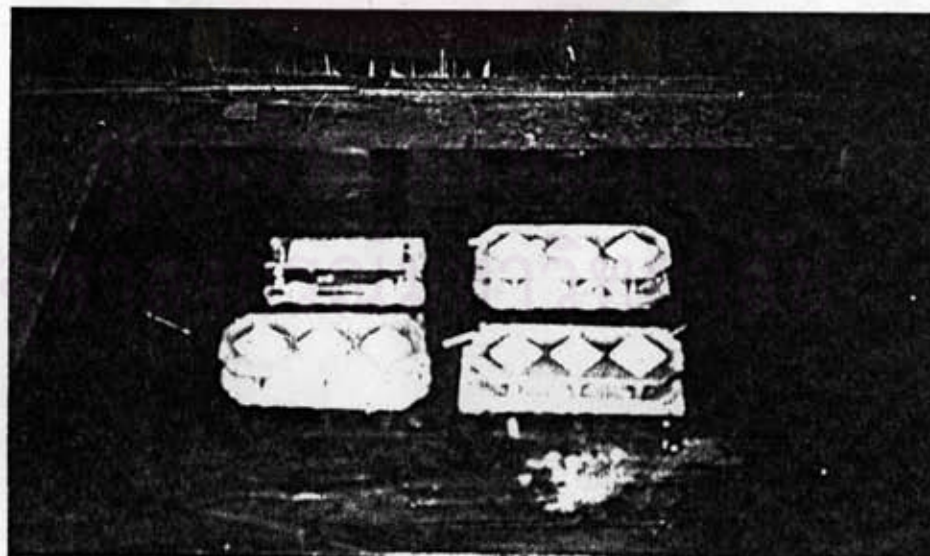
3.3.9 การทดสอบ X-Ray diffraction

การวิเคราะห์หาส่วนประกอบใหม่ที่เกิดขึ้นในวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์ ทำโดยใช้ส่วนผสมที่แบ่งจากวัสดุผสมภายหลังจากการทดสอบ unconfined compression test โดยนำส่วนผสมมาบดให้ละเอียด จากนั้นจึงนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี x-ray diffraction โดยเตรียมตัวอย่างแบบ random powder ซึ่งใช้เครื่องมือของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลักการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางด้านแร่โดยวิธี x-ray diffraction ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



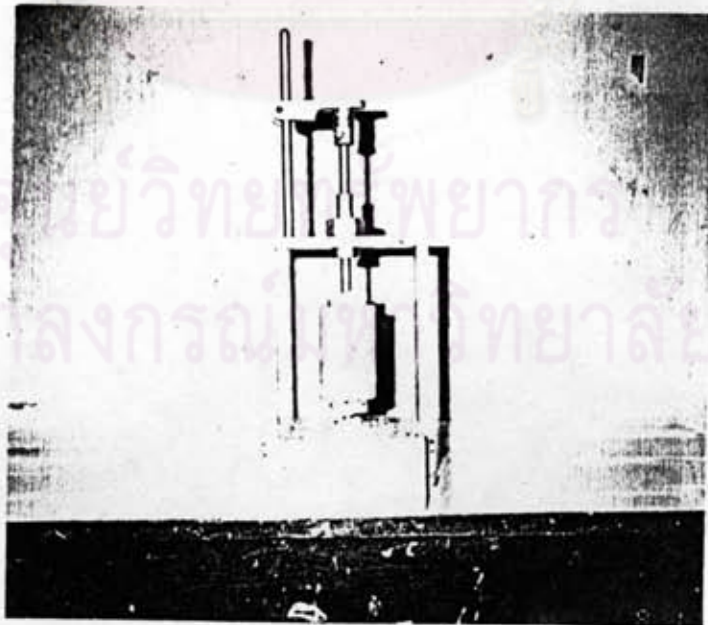
รูปที่ 3.5 แบบหล่อรูปทรงกระบอก



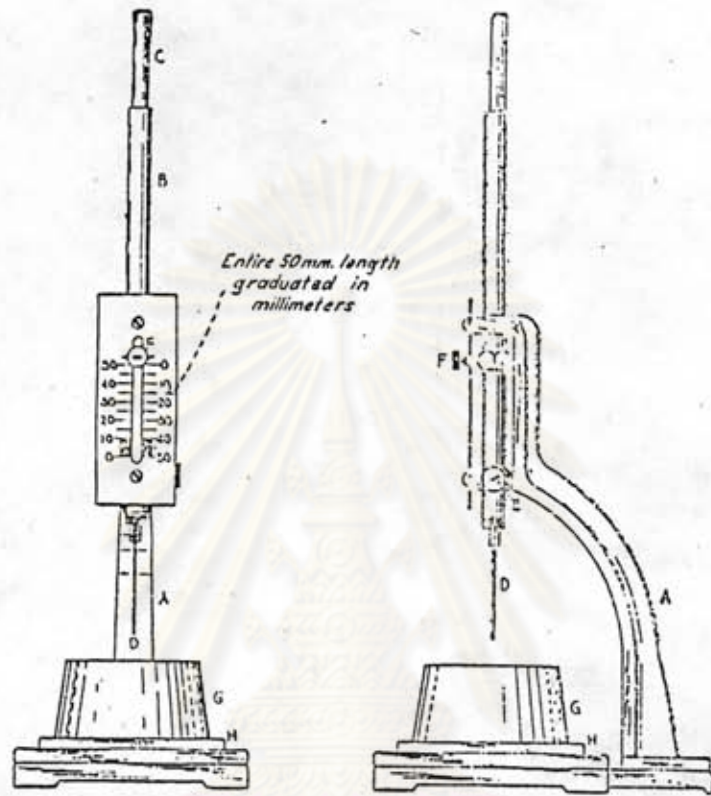
รูปที่ 3.6 แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์



รูปที่ 3.7 เครื่องกวน

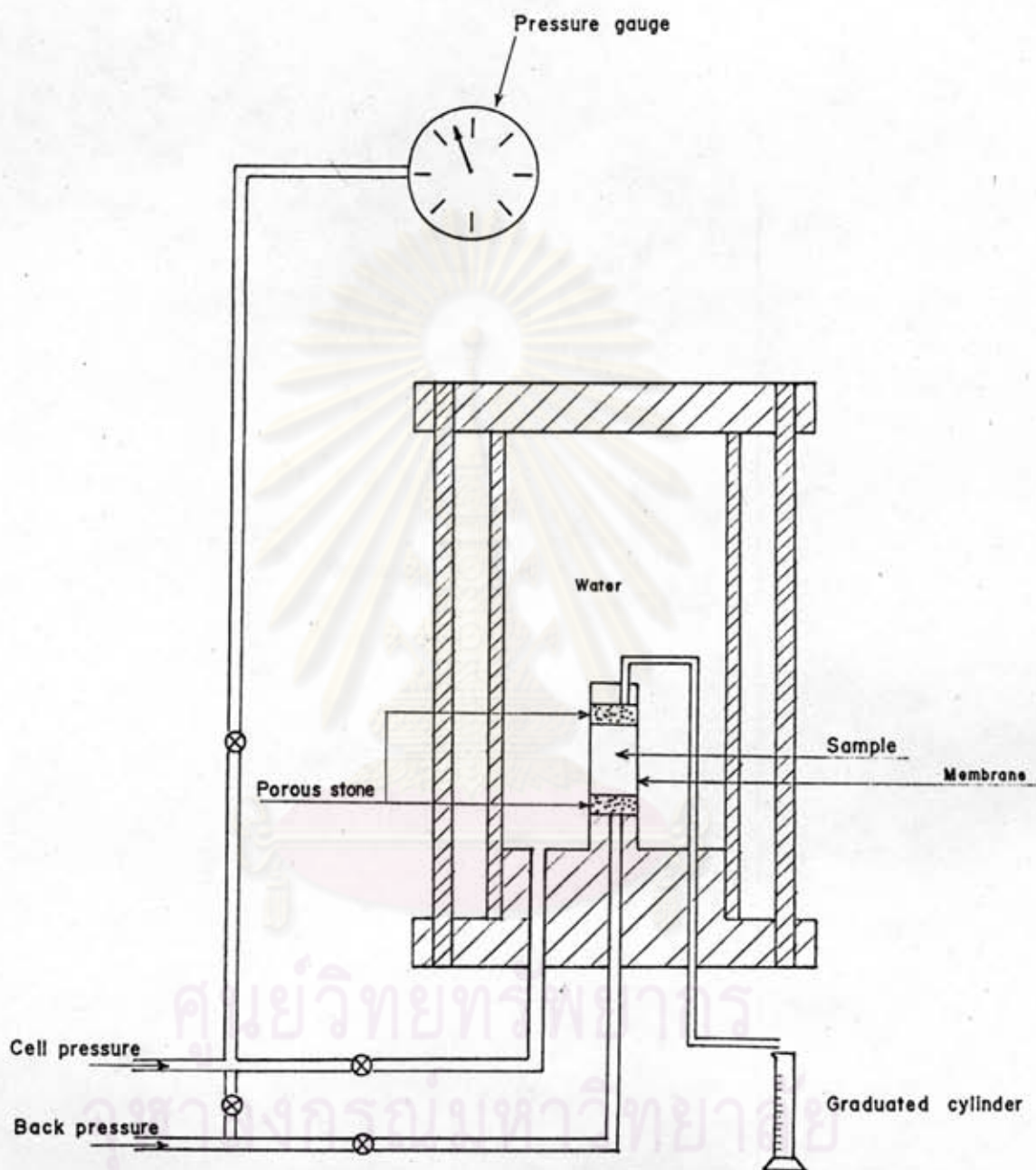


รูปที่ 3.8 เครื่องมือคกแต่งวัสดุ



รูปที่ 3.9 เครื่องมือทดสอบระยะเวลาการก่อตัวแบบ Vicat needle

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 ภาพแสดงลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ