

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะการพัฒนากำลังของดินเหนียว เมื่อผสมด้วยปูนขาว จากผลการศึกษาที่ผ่านมาในอดีตสามารถประเมินได้ว่า การพัฒนากำลังของส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน โดยที่องค์ประกอบสำคัญซึ่งได้สรุปไว้ในผลการศึกษาที่ผ่านมาในอดีตและเป็นที่ยอมรับได้แก่ส่วนประกอบของดินเหนียวโดยเฉพาะ ชนิดของแร่ดินเหนียว ดังนั้น เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดขั้นตอนของการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

- ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ดินเหนียวและปูนขาว
- ศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมของส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาว

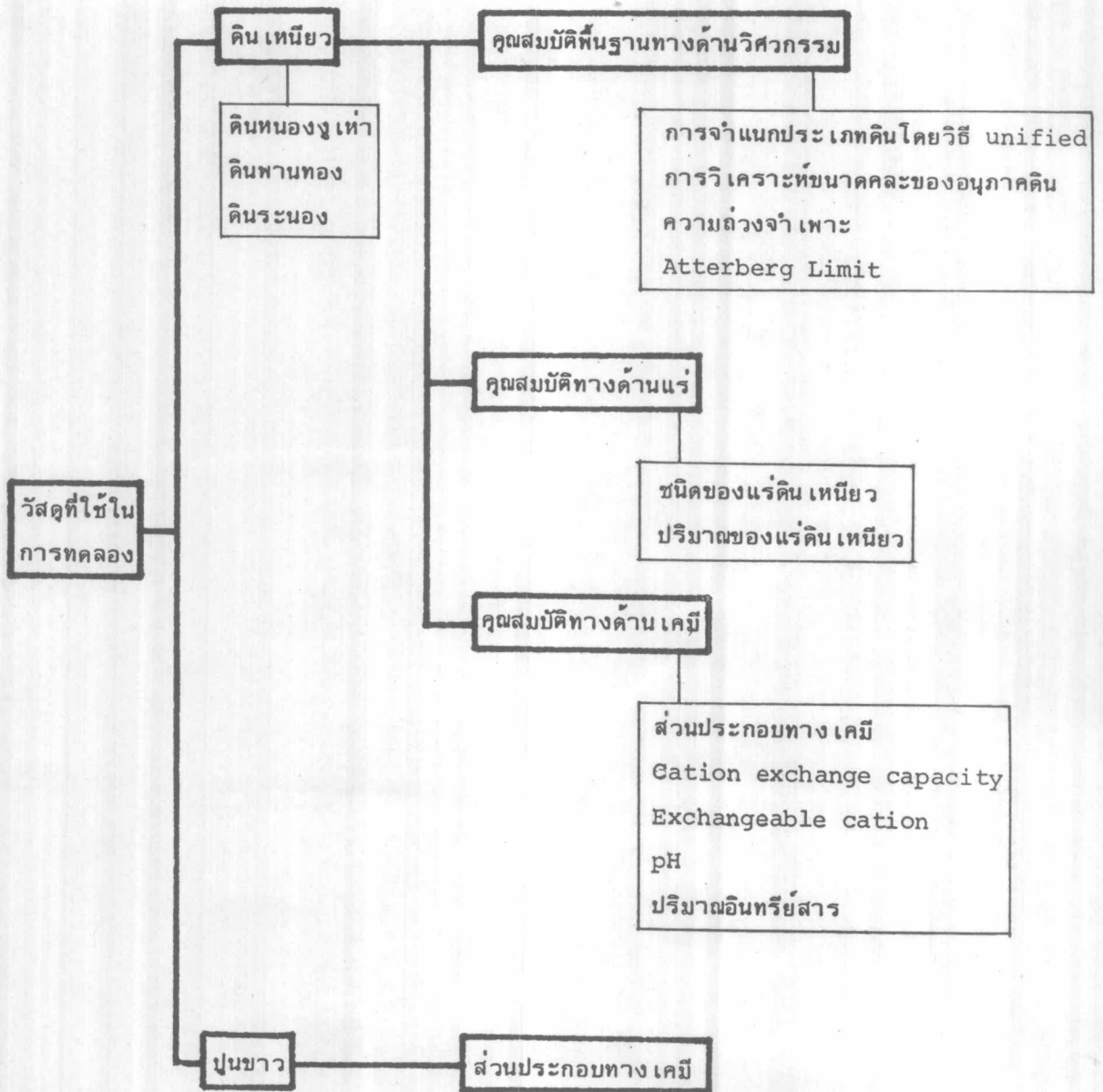
โดยกำหนดให้ ปริมาณปูนขาว ระยะเวลาในการบ่ม อุณหภูมิขณะทำการบ่ม เป็นตัวแปรสำหรับการศึกษา

3.1 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.1 แสดงแผนภูมิการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ดินเหนียวและปูนขาว โดยมีรายละเอียดและวิธีการทดลองดังนี้

3.1.1 ดินเหนียว

ดินเหนียว เป็นวัสดุที่สำคัญที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เพราะส่วนประกอบของดินเหนียว โดยเฉพาะปริมาณของอินทรีย์สาร ปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียวจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาว ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เมื่อผสมปูนขาว เข้าไปในดินเหนียวจะเกิดโดยตรงต่อแร่ดินเหนียวและจะมีผลอย่างมากต่อแร่ดินเหนียวบางชนิด โดยเฉพาะพวกมอนท์โมริลโลไนท์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พิจารณา



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เลือกดินเหนียวที่มีส่วนประกอบทางด้านแร่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นวัตถุคืบสำหรับการทดลองจากแหล่งต่าง ๆ 3 แหล่งด้วยกันคือ

1. ดินจากหนองงูเห่า จังหวัดสมุทรปราการ
2. ดินจากอำเภอบางปะหัน จังหวัดลพบุรี
3. ดินสีขาวจากจังหวัดระนอง

ในการทดลองและวิเคราะห์ผลจะเรียกชื่อดินตัวอย่างตามแหล่งที่มาดังนี้คือ ดินหนองงูเห่า ดินบางปะหันและดินระนอง

ก. การเก็บดิน

ดินทั้ง 3 ชนิดเก็บมาจากระดับความลึกประมาณ 1.50 เมตรจากผิวดิน โดยเก็บดินใส่ถุงพลาสติกขนาดใหญ่ ลักษณะโดยทั่วไปของดินทั้ง 3 ชนิดเป็นดังนี้

1. ดินหนองงูเห่า เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มปนแดงไม่มีทรายและหินปน
2. ดินบางปะหัน เป็นดินเหนียวสีเทาอ่อนไม่มีทรายและหินปน
3. ดินระนอง เป็นดินสีขาวมีลักษณะร่วนความเหนียวน้อย ไม่มีทราย หินและอินทรีย์สาร เจือปน

ข. การหาคูณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม

วิธีการมาตรฐานที่ใช้หาคูณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวสำหรับงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ส่วนผลการทดลองและวิเคราะห์ได้สรุปไว้ในบทที่ 4

ค. การศึกษาคุณสมบัติทางด้านแร่

การศึกษาคูณสมบัติทางด้านแร่ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ดินและปูนขาวได้ใช้วิธีการทดลองและวิเคราะห์ 2 วิธี คือ

ตารางที่ 3.1 วิธีการมาตรฐานที่ใช้หาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียว

คุณสมบัติของดิน	วิธีการทดลอง
<p>คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม</p> <p>Grain size distribution</p> <p>Liquid Limit</p> <p>Plastic Limit</p> <p>Specific gravity</p>	<p>ASTM:D4 22-63 (1972)</p> <p>ASTM:D423-66 (1972)</p> <p>ASTM:D424-59 (1971)</p> <p>ASTM:D854-58 (1979)</p>
<p>คุณสมบัติทางด้านแร่</p> <p>ชนิดของแร่ดินเหนียว</p> <p>ปริมาณของแร่ดินเหนียว</p>	<p>X-ray diffraction analysis</p> <p>DTA และ X-ray diffraction analysis</p>
<p>คุณสมบัติทางด้านเคมี</p> <p>ส่วนประกอบทางเคมี</p> <p>Organic carbon</p> <p>Cation exchange capacity</p> <p>Exchangeable cation</p> <p>Ca</p> <p>Mg</p> <p>Na</p> <p>K</p>	<p>Two solution method</p> <p>Titration procedure</p> <p>Ammonium acetate method</p> <p>Titration procedure</p> <p>Titration procedure</p> <p>Frame photometer procedure</p> <p>Frame photometer procedure</p>



- X-ray diffraction test
- Differential Thermal Analysis (DTA)

1. X-ray diffraction test

X-ray diffraction test เป็นวิธีการทดลองวิธีหนึ่งเพื่อวิเคราะห์หาส่วนประกอบด้านแร่ของดินเหนียวตามธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบและยังใช้หาสารประกอบใหม่ที่เกิดขึ้นเมื่อผสมดินเหนียวกับปูนขาวที่ระยะเวลาในการบ่มต่าง ๆ ด้วย รายละเอียดเกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์โดยวิธี X-ray diffraction นี้ได้สรุปไว้ในภาคผนวก ข. สำหรับในส่วนนี้ของงานวิจัยจะกล่าวถึงเฉพาะขั้นตอนและวิธีการทดลองในการวิเคราะห์หาส่วนประกอบด้านแร่ของดินเหนียวตามธรรมชาติที่ใช้เป็นวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากส่วนประกอบของดินเหนียวตามธรรมชาตินั้นมีสารประกอบรวมกันหลาย ๆ ประเภท คือมีทั้งแร่ดินเหนียวและแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวตลอดจนอินทรีย์สาร ดังนั้น การที่นำดินเหนียวมาทดสอบโดยไม่เตรียมตัวอย่างก่อนอาจจะทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่ชัดเจนและยากต่อการสรุปผลเนื่องจากความไม่เป็นอิสระของแร่ต่าง ๆ โดยเฉพาะแร่ดินเหนียว กล่าวคือ อาจเกิดการเกาะรวมตัวกัน เป็นก้อนจึงจำเป็นต้องเตรียมตัวอย่างก่อน ในการวิเคราะห์นี้ได้เตรียมตัวอย่าง 2 ประเภท คือ

ก. Random powder sample การทดลองจะนำดินมาบดให้ละเอียดแล้วนำเอาดินส่วนที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยอัดใส่ sample holder ซึ่งในที่นี้ใช้เป็นกรอบพลาสติก การทดลองด้วยวิธีนี้จะทำให้ทราบถึงส่วนประกอบโดยทั่วไปของตัวอย่างดินคือมีทั้งแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวและแร่ดินเหนียว แต่อาจเป็นการยากที่จะบ่งบอกชนิดของแร่ดินเหนียวได้อย่างแน่ชัด

ข. Oriented aggregate sample วิธีนี้จะนำตัวอย่างดินมาแยกขนาดโดยใช้ deflocculating agent เช่น โซเดียมซิลิเกตช่วยแล้วทำการบดด้วยเครื่องบดเพื่อช่วยเร่งให้ดินแยกขนาดได้เร็วขึ้นเสร็จแล้วปล่อยให้ตกตะกอน การทดลองวิธีนี้จะนำตัวอย่างดินที่ตกตะกอนอยู่ด้านบนซึ่งมีขนาด clay size เป็นส่วนใหญ่มาหยดลงบนแผ่นแก้วแล้วทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ

ในการนี้อาจมีการ เตรียมตัวอย่างดินก่อนโดยการผสมสารประกอบอื่น ๆ ลงไปเพื่อช่วยไล่พวก ออกไซด์ของแร่อื่น ๆ ให้ออกไปเพื่อให้ข้อมูลที่ได้แสดง peak ของแร่ดินเหนียวได้เด่นชัดขึ้น การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดลองโดยวิธีนี้มีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีดังนี้

1. Mg-saturated, air dry sample
2. Mg-saturated, glycerol-solvated sample
3. K-saturated, air dry sample
4. K-saturated, heated sample

การเตรียมตัวอย่างดินด้วยวิธีนี้จะใช้เฉพาะสำหรับการวิเคราะห์แร่ดินเหนียว เท่านั้น

2. Differential Thermal Analysis (DTA)

DTA เป็นวิธีการทดลองวิธีหนึ่งเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์วิธีอื่น ๆ เพื่อหาชนิด และปริมาณของแร่ในตัวอย่างดิน ในการวิจัยนี้จะใช้ DTA เป็นผลประกอบการวิเคราะห์ทางด้าน X-ray diffraction ของตัวอย่างดินชนิดเดียวกัน รายละเอียดในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะกล่าวโดยละเอียดในภาคผนวก ค. สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ด้านความร้อนหรือ (Thermoanalyzer) ผลิตโดยบริษัท Setaram ประเทศฝรั่งเศส

การทดลองทำโดยการนำตัวอย่างดินที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วมาใส่ใน sample holder ซึ่งทำด้วย platinum โดยมีการอัดให้แน่นพอสมควร นำ sample holder วางบน thermocouple โดยการวางต้องให้หัวของ thermocouple อยู่กึ่งกลางตัวอย่างดิน แล้วเพิ่มความร้อนด้วยอัตราสม่ำเสมอ (อัตราที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ประมาณ 10°C . ต่อ นาที) จน อุณหภูมิสูงถึง 1000°C . แล้วจึงค่อยลดอุณหภูมิลง เป็นการเสร็จการทดลอง

3.1.2 ปูนขาว

จากการศึกษาในอดีตพบว่าชนิดของปูนขาวมีผลต่อปฏิกิริยา pozzolanic เป็นอย่างมาก แต่งานวิจัยนี้มีได้มีจุดประสงค์ที่จะทำการศึกษาดังผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทาง

ด้านวิศวกรรมอัน เนื่องมาจากชนิดของปูนขาว เพียงแต่ศึกษาถึงองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเหนียวเมื่อผสมด้วยปูนขาว ปูนขาวที่ใช้ตลอดการทดลองนี้เป็นปูนขาวที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป

ปูนขาวที่ใช้ในการทดลองนี้ได้เก็บปูนขาวที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ที่นำไปอบให้แห้ง แล้วเก็บในภาชนะปิดเพื่อป้องกันไม่ให้ปูนขาวทำปฏิกิริยา carbonation กับอากาศ ปูนขาวที่เก็บไว้นี้พร้อมที่จะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2 การศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมของส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาว

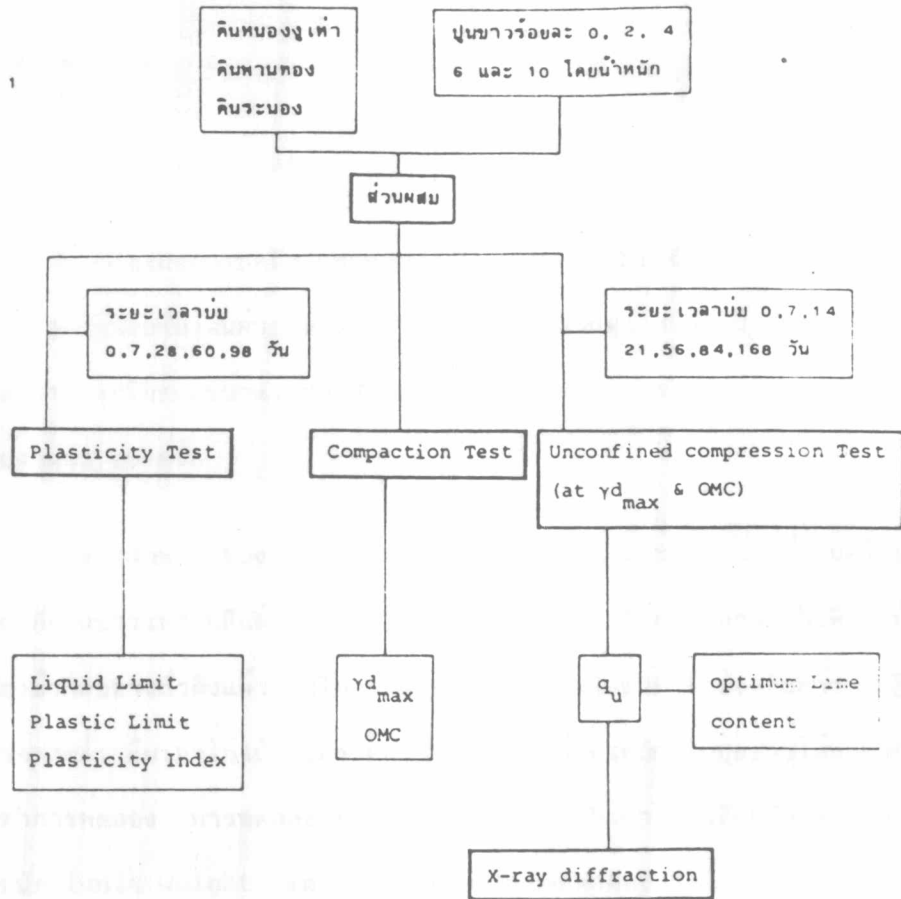
รูปที่ 3.2 แสดงแผนภูมิการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติและพฤติกรรมของส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาวและศึกษาผลของปริมาณทรายในตัวอย่างดินเหนียวโดยมีรายละเอียดและวิธีการทดลองดังนี้

3.2.1 Plasticity Test

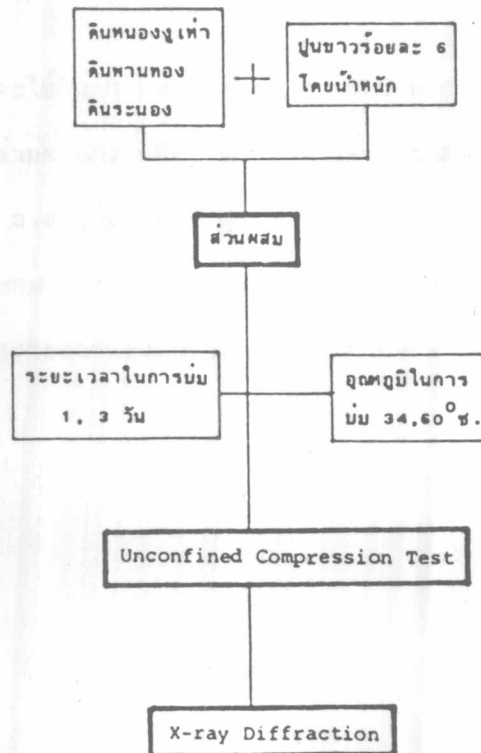
การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL.) และค่า Plastic Limit (PL.) ได้ทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM:D423-66 (1972) และ ASTM:D424-59 (1971) ตามลำดับ โดยดินที่ใช้ในการทดลองจะร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ก่อนแล้วนำมาผสมกับปูนขาวที่ได้เตรียมไว้โดยอัตราส่วนการผสมนั้นได้ใช้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้งเป็นหลัก เมื่อผสมปูนขาวกับดินเหนียวตามอัตราส่วนที่ต้องการเข้ากันดีแล้ว จึงเติมน้ำและทำการผสมให้เข้ากันอย่างดีเนื่องและทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในภาชนะปิดเพื่อให้ดินเหนียวกับปูนขาวได้ทำปฏิกิริยากันจึงค่อยนำมาทำการทดลอง สำหรับตัวอย่างดินและส่วนผสมที่จะทดลองที่ระยะเวลาในการบ่มต่าง ๆ นั้นจะเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดปากถุงแน่นเพื่อป้องกันไม่ให้ปูนขาวทำปฏิกิริยากับอากาศ

อัตราส่วนผสมของปูนขาวที่ใช้ในการทดลองคือ 0, 2, 4, 6 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและทำการทดลองที่ระยะเวลาในการบ่ม 0, 7, 28, 60 และ 98 วัน

ขั้นตอนที่ 1



ขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.2 แผนภูมิการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาว

3.2.2 Compaction Test

การทดลองการบดอัดได้ทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM:D698-78 : Standard proctor test โดยใช้แบบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว ส่วนสูง 4.59 นิ้ว ทำการบดอัดเป็น 3 ชั้นโดยแต่ละชั้นจะใช้ช้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้วหนัก 5.5 ปอนด์ ยกสูง 12 นิ้ว ทำการบดอัดเป็นจำนวน 25 ครั้ง

อัตราส่วนผสมของปูนขาวที่ใช้คือ 0, 2, 4, 6 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อผสมดินเหนียวกับปูนขาว เข้ากันดีแล้วจะผสมน้ำเข้าไปเล็กน้อยโดยใช้กระบอกลูกฉีดน้ำเพื่อให้ดินเป็นละอองจะได้ผสมเข้ากันอย่างทั่วถึงแล้ว เก็บใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้สนิทเพื่อป้องกันการทำให้ปฏิกิริยาของปูนขาวกับอากาศแล้วเก็บเอาไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินเหนียวกับปูนขาวได้ทำปฏิกิริยากันจึงค่อยนำมาทำการทดลอง การทดลองจะค่อย ๆ เพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปจนถึงปริมาณน้ำปริมาณหนึ่งที่ทำให้หน่วยน้ำหนัก (unit weight) ของส่วนผสมที่ทำการบดอัดลดลงหรือไม่เพิ่มขึ้นมากจึงหยุดทำการทดลอง สำหรับผลของการทดลองนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ใช้ผสมกับความหนาแน่นแห้ง

3.2.3 Unconfined Compression Test

ตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบหาค่า unconfined compressive strength สำหรับงานวิจัยนี้ได้จากการอัดส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาว อัตราส่วนต่าง ๆ ลงในแบบรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3.6 เซนติเมตร สูง 7.6 เซนติเมตร โดยให้มีความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นเท่ากับความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture content) ที่ได้มาจากการทดสอบการบดอัดส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาวที่อัตราส่วนเดียวกันตามหัวข้อที่ 3.2.2

การเตรียมตัวอย่างดินทำโดยซึ่งนำหนักดินและปูนขาวที่จะใช้ให้พอเหมาะ แล้วผสมให้เข้ากันจึงค่อยเติมน้ำให้เท่ากับความชื้นที่พอเหมาะ โดยใช้กระบอบกั่วดวง แล้วทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันจนส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาวมีเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงดักใส่แบบที่เตรียมไว้และกดด้วย CBR compression machine จนได้ปริมาตรตามต้องการแล้วแช่น้ำหนักที่กดไว้อีกเป็นเวลา 1 นาทีจึงค่อย ๆ คลายน้ำหนักออก สำหรับการเอาส่วนผสมออกจากแบบทำโดยใช้ hydraulic jack ค่อย ๆ ดันออกมา เมื่อได้ส่วนผสมเรียบร้อยแล้วจะนำเอาส่วนผสมนี้ไปซึ่งน้ำหนักและหุ้มด้วย paraffin wax เพื่อกันไม่ให้ น้ำระเหยออกและป้องกันไม่ให้ปูนขาวทำปฏิกิริยา carbonation กับอากาศ นำส่วนผสมที่เตรียมเสร็จแล้วนี้เก็บไว้ในกระบะซึ่งมีน้ำอยู่ข้างล่างเพื่อทำให้ความชื้นในกระบะสูงกว่าในส่วนผสม เป็นการป้องกันการระเหยของน้ำในส่วนผสมอีกชั้นหนึ่ง

สำหรับส่วนผสมที่บ่มที่อุณหภูมิห้องจะบ่มในกระบะที่กล่าวมาแล้วข้างต้นโดยด้านบนของกระบะจะคลุมด้วยพลาสติกและมีเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อใช้วัดอุณหภูมิภายในกระบะที่เวลาต่าง ๆ ส่วนผสมที่บ่มที่อุณหภูมิต่ำจะบ่มในเคออบที่ควบคุมอุณหภูมิ โดยส่วนผสมที่บ่มไว้จะหุ้มด้วย paraffin wax หนากว่าปกติ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในส่วนผสม

การทดลอง unconfined compression test จะกระทำเมื่อส่วนผสมที่เตรียมเอาไว้บ่มเป็นระยะเวลา 0, 7, 14, 21, 28, 56, 84 และ 168 วัน โดยใช้อัตราความเครียด 0.05 นิวตัน

ขั้นตอนการทดลอง เป็นดังนี้คือ ขั้นแรกจะนำส่วนผสมมาแกะเอา paraffin wax ที่เคลือบอยู่ออกแล้วนำไปซึ่งน้ำหนัก วัดความสูง วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนผสมที่ระดับบน กลางและล่างแล้วจึงนำไปทดสอบ อย่างไรก็ตามในกรณีที่ซึ่งน้ำหนักส่วนผสมแล้วพบว่า น้ำหนักสูญหายไปมากก็จะไม่นำตัวอย่างส่วนผสมนั้นมาทำการทดสอบหาค่า unconfined compressive strength ขั้นที่ 2 จะกดตัวอย่างส่วนผสมโดยเครื่อง unconfined compression machine ด้วยอัตราความเครียดสม่ำเสมอประมาณ 0.05 นิวตันจนถึงจุดพิบัติแล้วบันทึกแรงกดสูงสุดและลักษณะของการพิบัติ ขั้นสุดท้ายจะนำส่วนผสมที่ทดลองเสร็จนี้ไปหาปริมาณความชื้นและจะแบ่งอีกส่วนหนึ่งไปทำการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของแร่โดยวิธี X-ray diffraction

เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดสอบ unconfined compression test มีค่าที่กระจุกกระจายมากแม้ในส่วนผสมที่เตรียมมาแบบเดียวกันและบ่มโดยใช้ระยะเวลาเท่ากัน ดังนั้นค่า unconfined compressive strength ที่ใช้ในการศึกษานี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยของส่วนผสมอย่างน้อย 2 ตัวอย่างเป็นเกณฑ์

3.2.4 X-ray diffraction Test

การวิเคราะห์หาสารประกอบใหม่ที่เกิดขึ้นในส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาว ทำโดยใช้ส่วนผสมที่แบ่งมาจากส่วนผสมภายหลังจากการทดลอง unconfined compression test เรียบร้อยแล้ว โดยนำส่วนผสมมาบดให้ละเอียดแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จากนั้นจึงนำมาทำการวิเคราะห์โดย X-ray diffraction โดยเตรียมตัวอย่างแบบ random powder

3.2.5 pH

นำส่วนผสมดินเหนียว-ปูนขาวที่บดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มาผสมกับน้ำกลั่นโดยอัตราส่วนการผสมของส่วนผสมกับน้ำกลั่นเท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมนี้แนะนำโดย Clare และ Cruchley (1957) pH meter ใช้ Beckman Zeromatic SS-3 pH meter เป็นชนิด glass electrode ขณะที่วัดค่า pH ส่วนผสมจะถูกกวนให้เข้ากันตลอดเวลา โดยค่า pH จะบันทึกเมื่อเข็มชี้ได้ค่าคงที่ที่แล้ว