

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

อธิบายถึงวิธีการทดสอบวัสดุที่ใช้ในการทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินเหนียว กรรมวิธีในการเตรียมวัสดุคือ ดินเหนียว ทราย ฐูปภาณี การผสมอิฐ ดินในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน ตลอดจน การทดสอบกำลังอัด กำลังดัด และความทนทานต่อการชะล้างของน้ำฝน

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

- 1) ดินเหนียวในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
- 2) ฐูปภาณี
- 3) ทรายเป็นทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป
- 4) น้ำเป็นน้ำที่สะอาด

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) อุปกรณ์ทดสอบหา Atterberg Limit และ Water Content
- 2) อุปกรณ์ทดสอบหา หาดขนาดของเม็ดดินโดยใช้ Hydrometer
- 3) อุปกรณ์ทดสอบหา ค่าความถ่วงจำเพาะ
- 4) เครื่องทดสอบแรงอัดและแรงดัดของอิฐ
- 5) อุปกรณ์ผสมอิฐดินเหนียว
- 6) แบบหล่ออิฐดินเหนียว
- 7) อุปกรณ์วัดขนาด
- 8) เครื่องร่อนพร้อมตะแกรง
- 9) ตู้อบที่สามารถควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}C$
- 10) เครื่องทดสอบการชะล้างของน้ำ
- 11) เครื่องชั่งน้ำหนัก

3. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม

3.1 การทดสอบหาค่า ชีดการไหลตัวและขีดความอ่อนตัวของดิน (Atterberg Limit) และ ปริมาณความชื้นในดิน (Water Content)

3.2 การทดสอบหาค่า ชีดการไหลตัว (Liquid Limit)

1) เตรียมตัวอย่างดิน โดยใช้ก้อนยางทุบดินที่ผึ่งให้แห้งโดยอากาศ ต่อจากนั้นใช้ตะแกรงเบอร์ 40 ร่อนให้ตัวอย่างดินที่จะนำไปทดสอบประมาณ 250 กรัม

2) ตรวจสอบอุปกรณ์ของเครื่องมือทดสอบให้เรียบร้อย ดูความสูงของการตกกระทบของจานทองเหลืองให้เท่ากับ 1 ซม. โดยใช้ส่วนปลายของด้าน Grooving Tool ตรวจสอบถ้าความสูงคลาดเคลื่อน ค่าที่ได้ก็ผิดพลาด

3) นำดินที่เตรียมไว้ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ เติมน้ำที่ละน้อยแล้วคนให้ทั่ว เมื่อคนให้ทั่วกันดินจะมีลักษณะเป็นครีมให้เติมน้ำลงไปอีกหน่อยคนต่อไปจนเป็นเนื้อเดียวกันนำดินใส่จานทองเหลืองทำการทดสอบให้ได้ค่า No. of Blow = 50 ครั้ง แล้วแบ่งดินไว้ต่างหาก 20 กรัมเพื่อนำไปทดสอบหาค่าขีดความอ่อนตัว เอาดินที่เหลือเติมน้ำลงไปอีกแล้วคนให้ทั่ว กะให้ได้ค่า No. of Blow ประมาณ 30-40 ครั้ง

4) นำดินพอประมาณใส่จานทองเหลืองใช้ Spatulas ปาดให้เรียบกะให้ความหนาของดินตรงกลางจานประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วใช้ Grooving Tool แบบ ASTM ถ้าหากใช้ Grooving Tool แบบ Casagrande การควบคุมความสูงของดินจะง่ายกว่าเมื่อปาดดินให้เรียบร้อยแล้วให้เริ่มเคาะได้เลยถ้าซ้ำจะทำให้ปริมาณความชื้นของดินเปลี่ยนแปลง

5) ทำการเคาะเพื่อให้ดินไหลมาชนกันได้ระยะทางตามกำหนด และสอดคล้องกันกับจำนวนครั้งของการเคาะ ตัดเอาดินตรงส่วนที่ไหลมาชนกันใส่กระป๋องอบดินเพื่อนำไปหาค่าปริมาณน้ำในดินต่อไป

6) ทำการทดลองต่อไปอีก 3 ครั้ง โดยการเพิ่มปริมาณน้ำที่ละน้อย

3.3 การทดสอบหาค่าขีดความอ่อนตัวของดิน (Plastic Limit)

1) นำดินที่แบ่งไว้จากการหาค่า L.L. มาปั้นเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตรหลายๆ ตัวอย่าง

2) นำดินจากข้อ 1 มาคลึงบนแผ่นกะดาษผิวเรียบพร้อมกดน้ำหนกอย่างสม่ำเสมอให้เป็นเส้นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ในอัตราส่วน 80-90 เที้ยวต่อนาที (1 เที้ยวเท่ากับคลึงไปข้างหน้า 1 ครั้ง กลับหลัง 1 ครั้ง) ถ้าดินยังไม่มีรอยแตกให้ปั้นเป็นก้อนกลมใหม่จนกว่าจะเกิดรอยแตกที่ผิวขณะที่เส้นผ่าศูนย์กลางดังกล่าว

3) นำตัวอย่างดินที่คลึงเสร็จแล้ว ใส่กระป๋องอบดินเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

4) ทำตามลำดับข้อ 1-3 อีกประมาณ 3-4 ค่าเพื่อจะได้นำเอาปริมาณน้ำ ในดินแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบ แล้วเอาค่าใกล้เคียงเป็นค่า Plastic Limit

3.4 การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

- 1) ชั่งน้ำหนักของกระป๋องอบดิน พร้อมฝาปิดและบันทึกน้ำหนักของกระป๋องไว้ และเขียนหมายเลขกำกับแต่ละกระป๋อง
- 2) นำตัวอย่างดินใส่กระป๋องแล้วนำไปชั่งก็จะได้น้ำหนักดินรวมน้ำหนักกระป๋อง ถ้าหากการชั่งน้ำหนักช้าเกิน 3-5 นาที ต้องปิดฝากระป๋องด้วยเพื่อป้องกันมิให้ความชื้นหนีออกจากดิน
- 3) หลังจากชั่งน้ำหนักดิน + กระป๋องแล้วก็นำเข้าเตาอบขณะอบต้องเปิดกระป๋องไว้
- 4) หลังจากดินตัวอย่างแห้งแล้วก็นำมาชั่งใหม่ ก็จะได้น้ำหนักดินแห้ง + น้ำหนักกระป๋อง
- 5) คำนวณหาค่าน้ำหนักน้ำในดินและน้ำหนักดินแห้ง

$$W_w = (W_{S(wet)} + W_C) - (W_{S(dry)} + W_C) \quad (1)$$

$$W_s = (W_{S(dry)} + W_C) - (W_C) \quad (2)$$

กำหนดให้

$$W_w = \text{น้ำหนักน้ำ}$$

$$W_s = \text{น้ำหนักดิน}$$

$$W_C = \text{น้ำหนักกระป๋อง}$$

$$W_{S(wet)} = \text{น้ำหนักดินก่อนอบ}$$

$$W_{S(dry)} = \text{น้ำหนักดินหลังการอบ}$$

- 6) สูตรที่ใช้คำนวณปริมาณน้ำในดิน

$$\text{Water Content} = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3)$$

$$W_w = \text{น้ำหนักน้ำ}$$

$$W_s = \text{น้ำหนักดิน}$$

3.5 การทดสอบการหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) ปรับแก้ค่าของขวดหาความถ่วงจำเพาะ (Pycnometer) โดยการเติมน้ำเข้าไปในขวดให้ถึงความขีดที่กำหนด
- 2) ทำการต้มไล่ฟองอากาศ ประมาณ 10 นาทีและนำไปปรับอุณหภูมิให้เย็นลง แล้วเติมน้ำให้ได้ตามขีดที่กำหนด วัดอุณหภูมิที่ได้ และชั่งน้ำหนัก ให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 20 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส

3) หลังจากปรับแก้ขนาดความถ่วงจำเพาะเสร็จ ก็สามารถทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน โดยการนำตัวอย่างดินที่อบแห้งประมาณ 50 กรัม มาทดสอบ ทำได้

4) โดยใช้ขนาดความถ่วงจำเพาะ นำตัวอย่างดินที่ได้มาทดสอบผสมกับน้ำแล้วกวนให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่น แล้วเทส่วนผสมเข้าไปในขนาดความถ่วงจำเพาะ

5) แล้วนำขวดไปต้ม เพื่อไล่ฟองอากาศ ประมาณ 10 นาที และทำการปรับอุณหภูมิให้เย็นลง ให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 20 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส เติมน้ำให้ได้เท่ากับขีดที่กำหนด แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก พร้อมวัดอุณหภูมิและนำดินที่อยู่ในขนาดความถ่วงจำเพาะ มา

6) เทใส่ภาชนะแล้วไปเข้าเตาอบ แล้วชั่งเพื่อจะได้น้ำหนักดินแห้ง

3.6 การวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดิน โดยใช้ Hydrometer

1) ใช้ดินตัวอย่างที่อบแห้งโดยเตาอบ 50 กรัม ผสมกับสารละลาย NaPO_3 ความเข้มข้น 4 % จำนวน 125 c.c.

2) ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่กระบอกสำหรับกวนดิน เติมน้ำลงไป 2 ส่วน 3 ของกระบอก แล้วเข้าเครื่องกวนประมาณ 3 – 5 นาที

3) เทดินใส่ในกระบอกแก้วการตกตะกอนให้หมด อย่าให้เศษดินค้างอยู่ เติมน้ำลงไปให้ถึงขีด 1000 c.c.

4) ใช้อุ้งมือปิดตรงปลายกระบอกแก้ว แล้วเขย่า หรือ แกว่ง ประมาณ 1 นาที แล้ววางลง เอา Hydrometer จุ่มลงแล้วอ่านค่าต่างๆ ในขณะเดียวกันก็ วัดอุณหภูมิในขณะที่ทดลองด้วย

4. การกำหนดอัตราส่วนผสม

การหาอัตราส่วนผสมของอิฐดินเหนียวในการทดสอบนี้จะคิดต่อก่อนได้กำหนดอัตราส่วนผสมของ ดินเหนียว : ทราย : โยต้นรูปฤาษี : น้ำ อัตราส่วนผสมนี้ได้มาจากการทดลองการขึ้นรูปของอิฐดินเหนียว

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสม

ดินเหนียว	ต้นรูปฤาษี	ทราย	น้ำ
1	1	0.2	1
1	1	0.2	0.8
1	0.68	0.038	0.388
1	0.68	0.05	0.45
1	0.5	0.05	0.45

4.1 การเตรียมวัสดุในการทดสอบ

1) ดินเหนียว

ดินเหนียวที่ใช้ในการทดสอบจะต้องไม่มีซากพืชซากสัตว์รวมอยู่ด้วยและจะต้องเก็บไว้ให้ห่างจากน้ำฝน

2) ดันรูปภาณี

ดันรูปภาณีที่จะนำมาใช้ต้องผ่านการย่อยโดยใช้เครื่องย่อยกิ่งไม้สำหรับการย่อย แล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้ง

3) ทราย

ทรายที่จะนำมาผสมนั้นต้องมีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มม. และควรผึ่งแดดก่อนนำมาใช้งาน

4.2 วิธีการผสมและการอัดเข้าแบบ

1) นำดินเหนียวที่ขุดมานำมาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนด เมื่อชั่งแล้วเทดินลงในกระบะที่เตรียมไว้หลังจากนั้นเติมน้ำตามส่วนผสมที่กำหนดไว้ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอย่าง่ายขึ้น ดังภาพที่ 18

2) ทำการย่ำดินที่เป็นก้อนให้แตกออกจนเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำที่ผสมไว้ พอดินกับน้ำเข้ากันดี แล้วทยอยใส่รูปภาณีตามส่วนผสมลงไปแล้วย่ำจน ดิน น้ำ รูปภาณี เข้ากัน หลังจากนั้นจึงเริ่มใส่ทราย แล้วทำการย่ำต่อไปจนเป็นเนื้อเดียวกันตาม ภาพที่ 19

3) นำดินที่ผสมจนเข้ากันดีแล้ว เข้าไปอัดในแบบหล่อที่เตรียมไว้ ตามภาพที่ 21 แต่ก่อนที่จะใส่ดินลงในแบบควรเช็คแบบให้เปียกเสียก่อนเพื่อไม่ให้ดินติดแบบตอนดึงแบบออก อีกอย่างหนึ่งควรใช้แถบโรย หรือวางกระสอบ ลองก่อนวางแบบเพื่อป้องกันการพลิกก้อนอิฐ หลังจากอัดดินเต็มแบบให้ปาดหน้าให้เรียบ แล้วดึงแบบออก

4.3 วิธีการบ่มอิฐดินเหนียว

ทิ้งอิฐดินเหนียวผึ่งแดดไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง จากนั้นพลิกก้อนอิฐตั้งขึ้นเพื่อให้ถูกแดดแล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 21 วัน และ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ

5. การทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

5.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)

ทดสอบหากำลังรับแรงอัดของอิฐที่มีอายุ 28 วัน ของอิฐที่มีส่วนผสมของนำยางพารา ทดสอบสองแบบในการวางคือ Edge-Wise (วางเอาด้านขอบขึ้น) Flat-Wise (วางแบบแบนราบ) และคำนวณโดยใช้สูตร

$$\sigma = P/A \quad (4)$$

- เมื่อ σ = กำลังต้านแรงอัด (กก. / ตร.ซม.)
 P = แรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการวิบัติ (กก.)
 A = พื้นที่รับแรงอัด (ตร.ซม.)

5.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength)

ทดสอบหาลำกำลังรับแรงอัดของอิฐที่มีอายุ 28 วัน ของอิฐที่มีส่วนผสมของนำยางพารา ทดสอบสองแบบในการวางคือ Edge-Wise (วางเอาด้านขอบขึ้น) Flat-Wise (วางแบบแบนราบ) เพื่อหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของอิฐคือ Modulus of Rupture = R ในกรณีที่นำหนักกระทำแบบ Center Loading และสามารถคำนวณโดยใช้สูตร

$$R = 3P_{\max}L / 2bd^2 \quad (5)$$

- เมื่อ P_{\max} = น้ำหนักที่ทำให้อิฐตัวอย่างถึงจุดประลัย (กก.)
 L = ความยาวของฐานรองรับ (ซม.)
 b = ความกว้างของหน้าตัด (ซม.)
 d = ความลึกของหน้าตัด (ซม.)

5.3 การทดสอบความสามารถในการป้องกันน้ำ

ตามที่มีการศึกษาถึงข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบทำการทดสอบพบว่า การทดสอบความสามารถในการป้องกันน้ำ (Erosion Testing) ของก้อนดินเหนียวดิบสำหรับในประเทศไทย ยังไม่มีห้องปฏิบัติการทดลองที่เหมาะสม ดังนั้นผู้ทดลองจึงขอความร่วมมือกับคณะนักศึกษาในภาควิชาที่ศึกษาร่วมกันสร้างเครื่องมือ สำหรับการทดลองการทดสอบความสามารถในการป้องกันการซึมน้ำโดยการอ้างแหล่งข้อมูลจาก The Australia Spray Test ซึ่งเป็นมาตรฐานการทำการทดสอบความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำของก้อนอิฐดินเหนียวดิบ(Adobe) ของประเทศออสเตรเลีย ดัง ตารางที่ 4 เนื่องมาจากการทดสอบตามมาตรฐานนี้มีความเป็นสากล และมีการพัฒนาประสิทธิภาพการทดสอบให้มีความทันสมัยกว่าในอดีต ประกอบกับการพิจารณาถึงสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้นแถบเส้นศูนย์สูตรเช่นเดียวกับประเทศไทย ดังนั้นจึงเห็นสมควรในการใช้เป็นเกณฑ์การทดสอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4 เกณฑ์การทดสอบในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำ Erosion Testing

ของอิฐดินเหนียวดิบ(Adobe) ตามมาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย

ระยะระหว่างหัวฉีด กับวัตถุทดสอบ (มิลลิเมตร)	ความแรงของน้ำ (กิโลปาสกาล)	ชนิดหัวฉีดน้ำ	ระยะเวลาการทดสอบ (นาที)
470(แนวระดับ)	50	สเปรย์ (Spray)	30

โดยเกณฑ์ที่ได้จะมีการนำมาคิดค่าความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ของอิฐดินเหนียวดิบ (Adobe) โดยคิดจากค่าน้ำหนักที่สูญหายไป (Weight Loss) หลังจากการทำการทดสอบการสเปรย์น้ำเทียบกับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (Time) และน้ำหนักก่อนทำการทดลองสเปรย์น้ำโดยจะได้ค่าทดสอบออกมาเป็นร้อยละจากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของอิฐดินเหนียวดิบด้วยการใช้สูตรส่วนผสมแบบระหว่างส่วนผสมเก่า (ไม่ผสมน้ำยางพารา) กับแบบใหม่ (มีการใส่น้ำยางพารา) รวมถึงการเปรียบเทียบค่าความลึกของผิวหน้าวัสดุ ที่โดนน้ำกับค่ามาตรฐานการทดสอบอิฐดินเหนียวดิบของประเทศออสเตรเลีย ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์การแบ่งระดับความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของ

ของอิฐดินเหนียวดิบ (Adobe) ตามมาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย

การแบ่งระดับความสามารถในการป้องกันน้ำ	ความลึกของผิวหน้าก่อนอิฐที่โดนน้ำ(มิลลิเมตร)
ดีมาก	น้อยกว่า 10 มม.
ดี	10-20 มม.
ปานกลาง	20-30 มม.
ควรปรับปรุง	มากกว่า 30 มม.

3.6 รายการทดสอบและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

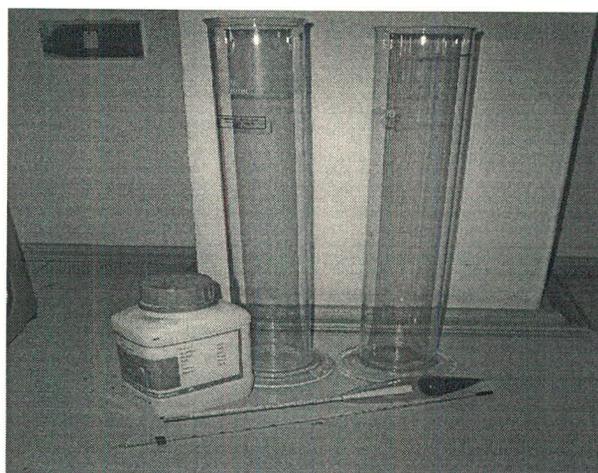
รายการทดสอบและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบค่าความสามารถในการรับกำลังอัดกำลังตัด และความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำในอิฐดินเหนียว ที่ 28 วัน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนตัวอย่างการทดสอบค่าความสามารถในการรับกำลังอัด กำลังดัดและ
ความสามารถในการ ป้องกันการรั่วซึมของน้ำในอิฐดินเหนียว ที่ 21วันและ 28 วัน

การทดสอบ กำลังดัด (ก้อน)	การทดสอบ กำลังอัด (ก้อน)	การทดสอบ การรั่วซึมน้ำ (ก้อน)
6	6	3
6	6	3
6	6	3
6	6	3
6	6	3



ภาพที่ 13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแล็บ Atterberg Limit



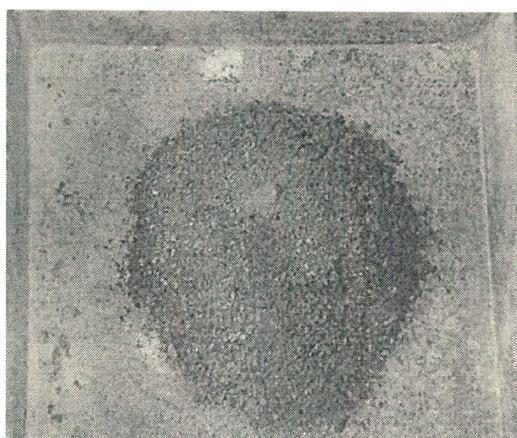
ภาพที่ 14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำแล็บ Hydrometer



ภาพที่ 15 ดินเหนียวดิบตามธรรมชาติ



ภาพที่ 16 ต้นรูปฤาษีที่ผ่านการย่อยจนเป็นใย



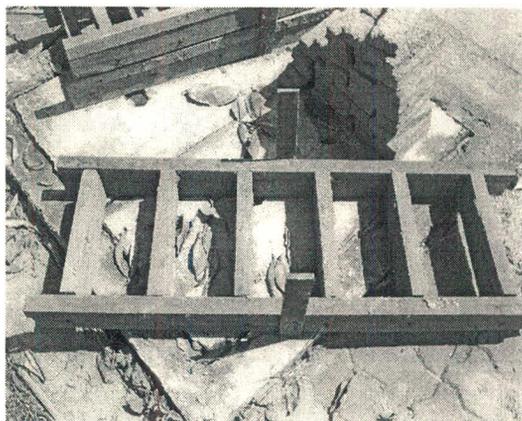
ภาพที่ 17 ทรายที่ใช้เป็นส่วนผสม



ภาพที่ 18 ทำการแช่ดินเหนียวเพื่อให้ย่อยต่อการย่ำ



ภาพที่ 19 ใส่เส้นใยต้นรูปถาชี ทวาย แล้วทำการย่ำดินจนเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 20 แบบสำหรับขึ้นรูปอิฐดินดิบทำให้เปื่อยก่อนนำดินมาใส่



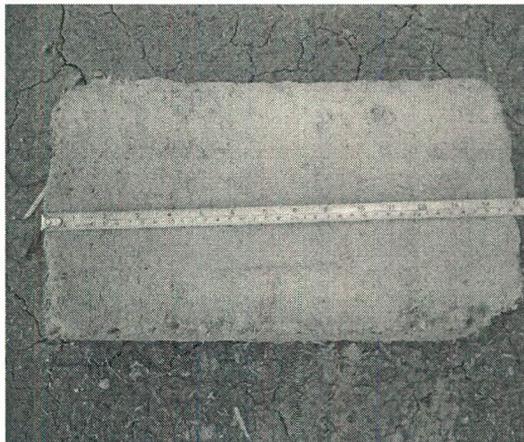
ภาพที่ 21 นำดินที่ผสมกันดีแล้ว ใส่ในแบบที่เตรียมไว้



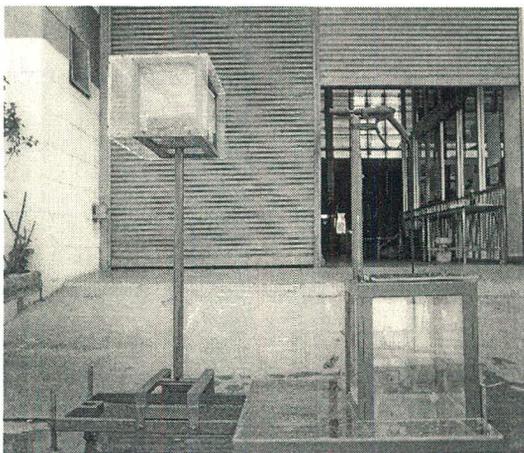
ภาพที่ 22 ตากก้อนอิฐดินดิบจนครบ 48 ชั่วโมงแล้วพลิกด้านตาก



ภาพที่ 23 ตัวอย่างก้อนดินที่อายุ 21 วันและ 28 วัน



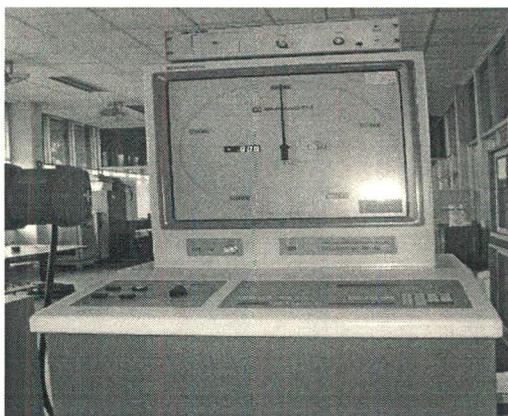
ภาพที่ 24 วัดขนาดก้อนตัวอย่างด้านกว้าง ยาว หนาที่อายุ 21 วัน และ 28 วัน



ภาพที่ 25 เครื่องทดสอบการชะล้างของตัวอย่างวัสดุก่อสร้างที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ



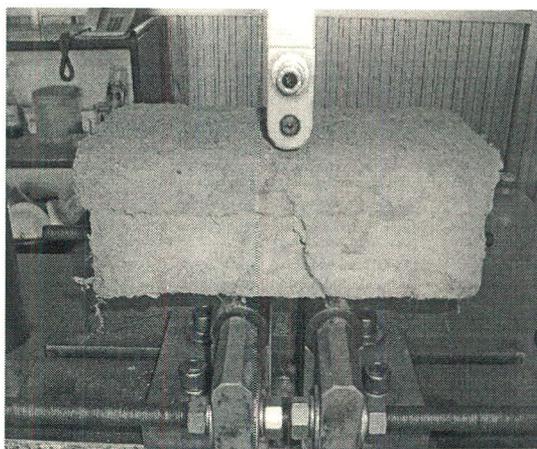
ภาพที่ 26 เครื่องทดสอบการรับแรงอัด



ภาพที่ 27 เครื่องทดสอบการรับแรงอัด



ภาพที่ 28 การทดสอบการชะล้างของดินเหนียว



ภาพที่ 29 การทดสอบการรับแรงดัดของดินเหนียว



ภาพที่ 30 การทดสอบการรับแรงอัดของดินเหนียว