บทที่ 3

วัสดุ เครื่องมือ และ วิธีการทดลอง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 กรวดดินเผา ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนำมาจาก 3 แหล่ง คือ ดินบางเขน ดินบางมด และดินหนองงูเห่า เผาที่อุณหภูมิ 800° ซ. ถึง 1200° ซ. ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 1/2 นิ้ว และค้างบนตะแกรงเบอร์ 8

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของกรวดดินเผาแหล่งต่างๆ (12)

อุณหภูมิที่เผาดิน ° ซ.	ดินหนองงูเห่า			ดินบางเขน			ดินบางมด		
	เปอร์เซ็นต์การดูดซึม	เปอร์เซ็นต์การสึกหรอ	ค่า ถ.พ.	เปอร์เซ็นต์การดูดซึม	เปอร์เซ็นต์การสึกหรอ	ค่า ถ.พ.	เปอร์เซ็นต์การดูดซึม	เปอร์เซ็นต์การสึกหรอ	ค่า ถ.พ.
800	13.1	39.2	1.82	14.9	36.0	1.79	13.1	37.0	1.82
900	15.0	22.0	1.74	14.7	30.0	1.77	14.1	28.0	1.77
1000	15.8	23.1	1.72	12.8	27.2	1.82	14.5	25.0	1.74
1100	16.0	29.0	1.59	10.2	25,8	1.91	15.1	23.6	1.66
1200	17.4	30.0	1.29	7.0	25.6	1.84	15.5	26.8	1.49

3.1.2 ทราย ทรายที่ผสมเป็นคอนกรีตใช้ทรายน้ำจืด ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

001046

3.1.3 ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมเป็นคอนกรีต ใช้ปูนซีเมนต์ตราดอกจิก ชนิดที่ 1

3.1.4 น้ำ น้ำที่ใช้ในการผสมเป็นคอนกรีต ใช้น้ำประปา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ตะแกรงร่อน ใช้ตะแกรงร่อนตามมาตรฐาน ASTM ตะแกรงร่อนตัวอย่างกรวดดินเผาที่ใช้แทนมวลรวมหยาบ ใช้ขนาด 1/2 นิ้ว, 3/4 นิ้ว , เบอร์ 4 และเบอร์ 8

3.2.2 เครื่องร่อนทราย (รูปที่ 3.1) เป็นตู้เหล็กสี่เหลี่ยม ภายในตู้เป็นชั้นของตะแกรงซ้อนกัน ตะแกรงมีขนาด เบอร์ 8 , เบอร์ 16 , เบอร์ 30 , เบอร์ 50 ,และเบอร์100

3.2.3 แบบที่ใช้หล่อคอนกรีต แบบที่ใช้หล่อคอนกรีตมี 3 ชนิด ชนิดแรกเป็นแบบเหล็กรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ใช้สำหรับหล่อคอนกรีตเพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ชนิดที่สอง เป็นแบบที่ทำจากท่อ พี.วี.ซี. เส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 15 ซม. ซึ่งเส้นผ่าศูนย์กลางของแบบชนิดนี้มีขนาดมากกว่า 3 เท่าของขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ (1.25ซม.) จึงสามารถนำแบบขนาดนี้มาใช้ได้[11] แบบชนิดนี้ใช้สำหรับหล่อคอนกรีตเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และหน่วยน้ำหนัก ชนิดที่สาม เป็นแบบไม้สำหรับหล่อคานคอนกรีตและแผ่นคอนกรีต เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดัด การดูดซึม และการนำความร้อน

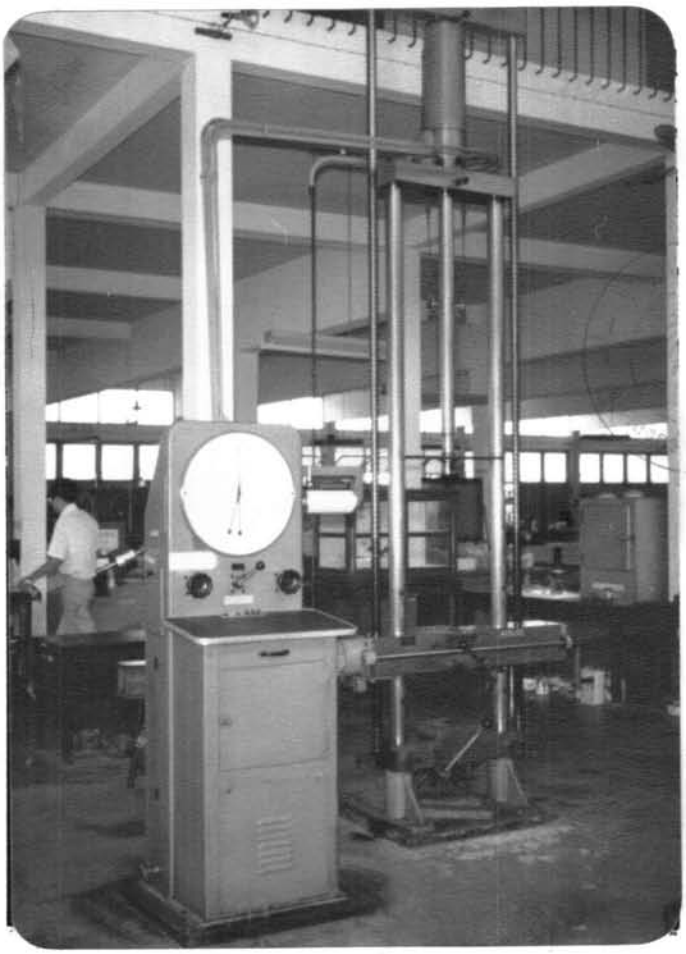
3.2.4 เครื่องทดลองหาค่ากำลังรับแรงอัด และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น(รูปที่ 3.2) และ เครื่องทดลองหาค่ากำลังรับแรงดัด(รูปที่ 3.3) เป็นเครื่องทดลองที่ใช้ระบบไฮดรอลิค

3.3 วิธีการทดลอง

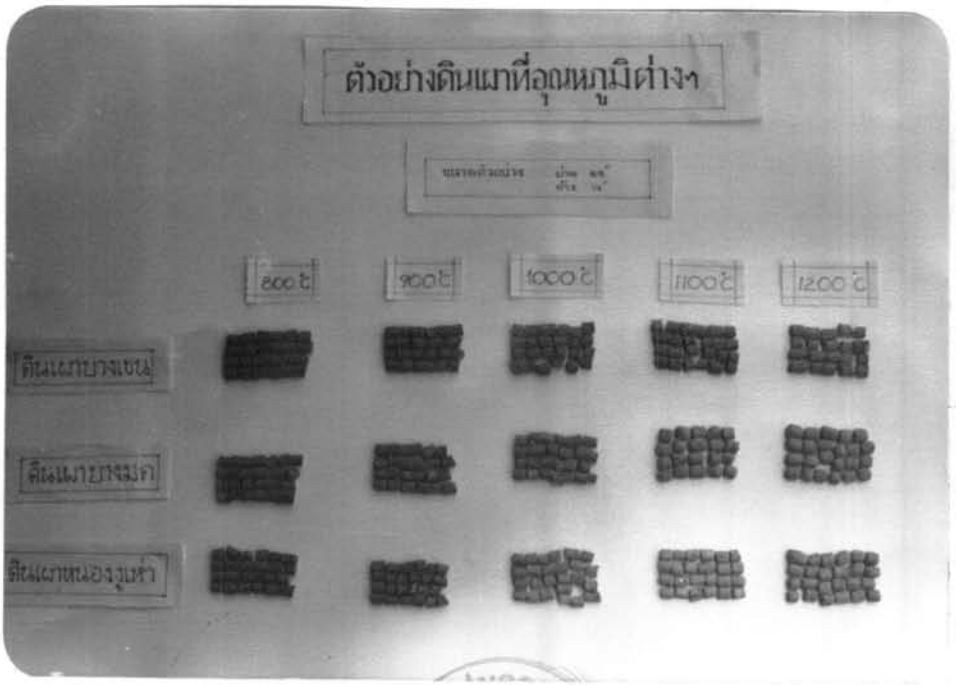
3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง นำกรวดดินเผาที่อุณหภูมิ 800 , 900 , 1000 , 1100 , และ 1200 ° ซ. ไปร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆกัน เพื่อแยกกรวดดิน

รูปที่ 3.1
เครื่องร่อนทราย

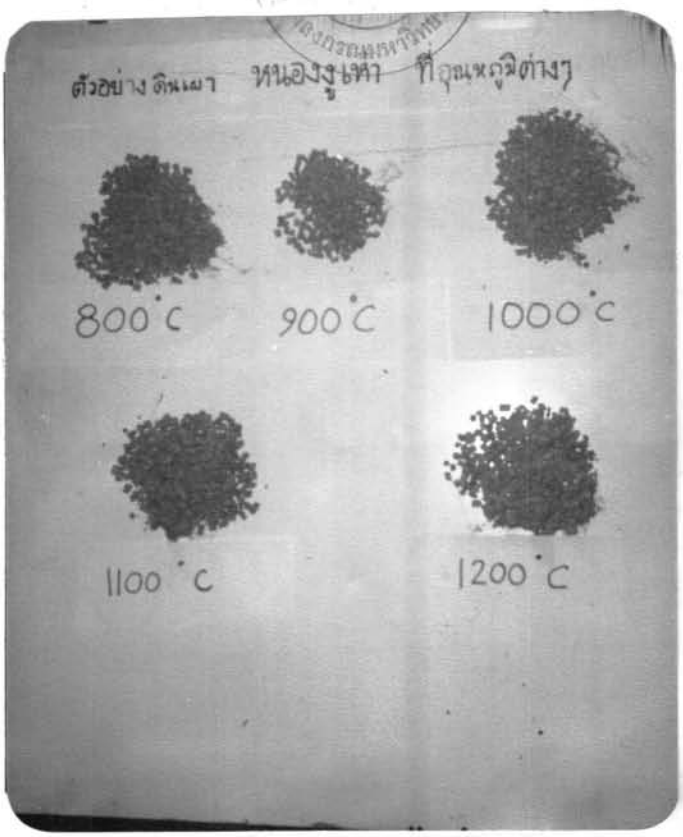
รูปที่ 3.2
เครื่องทดลองหาค่า
กำลังรับแรงอัด
ของคอนกรีต



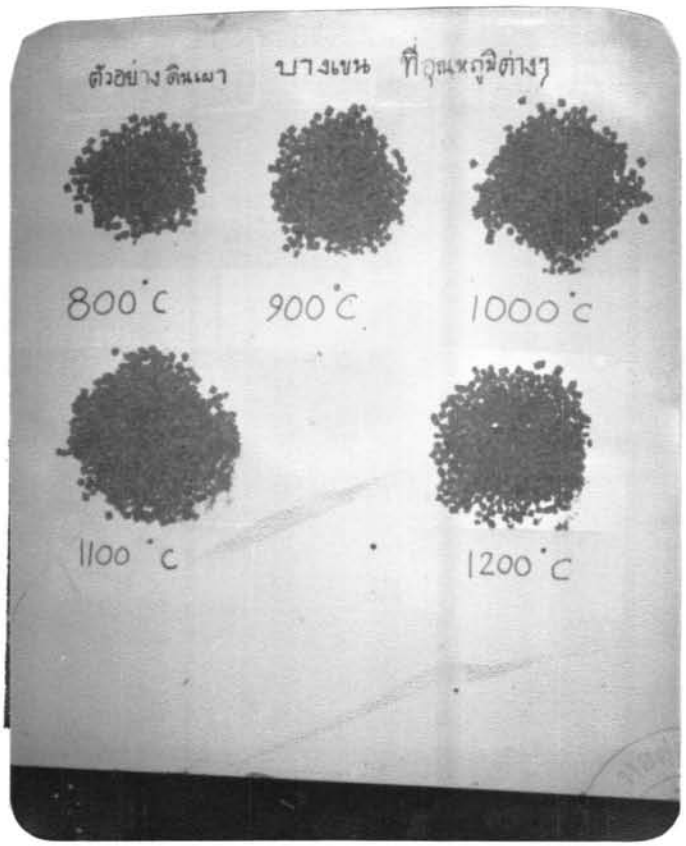
รูปที่ 3.3
เครื่องทดลองหาค่า
กำลังรับแรงดัด
ของคอนกรีต



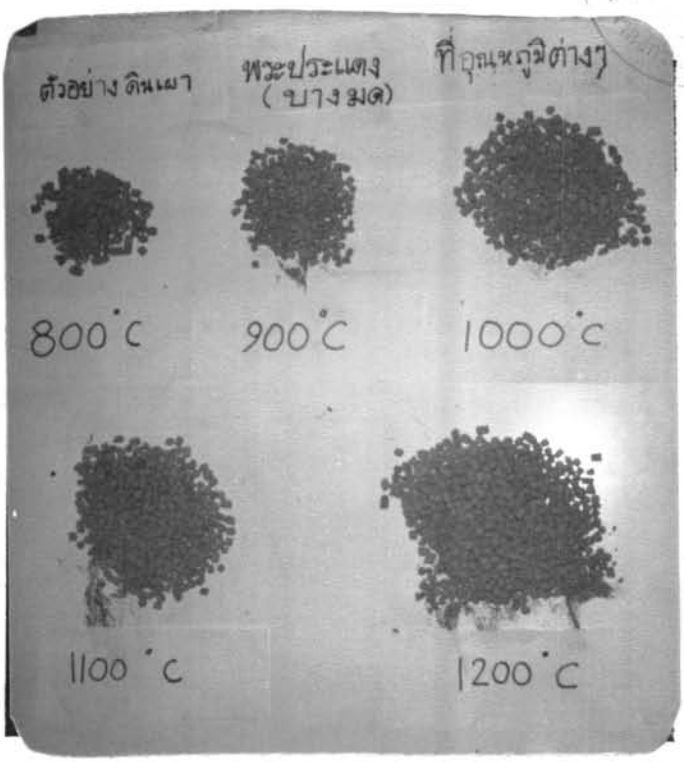
รูปที่ 3.4
ตัวอย่างกรวดดินเผา
ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 3.5
ตัวอย่างกรวดดินเผา
หนองงูเห่า
ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 3.6
ตัวอย่างกรวดดินเผา
บางเขน
ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 3.7
ตัวอย่างกรวดดินเผา
บางมด
ที่อุณหภูมิต่างๆ

แต่ละขนาด(รูปที่3.4 – 3.7) แล้วนำกรวดกินเผาแต่ละขนาดที่แยกไว้มาทดลองผสมกัน เป็นมวลรวมหยาบตามข้อกำหนดของASTM C330 – 77 แล้วทดลองหาส่วนขนาดคละที่เหมาะสมโดยใช้หลักว่า การผสมให้ได้ส่วนขนาดคละที่ดีต้องมีที่ว่างระหว่างมวลรวมน้อยที่สุด ดังนั้นหน่วยน้ำหนักต้องมากที่สุด จึงได้ทำการทดลองผสม 4 การผสม และนำมาคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนัก เลือกการผสมที่มีหน่วยน้ำหนักมากที่สุดเป็นส่วนขนาดคละที่เหมาะสมสำหรับมวลรวมเบาชนิดนั้น

ทราย ใช้ทรายน้ำจืดโดยนำไปร่อนผ่านเครื่องร่อน เพื่อแยกทรายแต่ละขนาด แล้วนำทรายแต่ละขนาดนี้ มาทดลองผสมกันเป็นมวลรวมละเอียดตามข้อกำหนดของ ASTM C 33–49 แล้วทดลองผสม 5 การผสม เลือกการผสมชุดที่มีหน่วยน้ำหนักมากที่สุด เพราะการผสมที่มีส่วนขนาดคละที่เหมาะสมนั้น ต้องมีช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อยที่สุด จึงมีหน่วยน้ำหนักมากที่สุด ส่วนผสมที่เลือกนี้ได้นำมาใช้เป็นส่วนขนาดคละของทรายที่จะนำมาเป็นมวลรวมละเอียดต่อไป

3.3.2 <u>การทดลองผสมคอนกรีต</u> เมื่อเตรียมกรวดกินเผา ทราย ซีเมนต์ และ น้ำแล้ว ก็จึงทำการทดลองผสมเป็นคอนกรีต

จากข้อมูลต่างๆของผู้ที่ได้วิจัยมาก่อน ทำให้ทราบได้ว่าคอนกรีตเบานั้นจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เป็นหลักในการออกแบบการผสมนั้นทำไม่ได้ เพราะมวลรวมเบามีรูพรุนมากค่าการดูดซึมจึงมาก และค่าการดูดซึมก็มีค่าไม่สม่ำเสมอ คือมวลรวมชนิดเดียวกันแต่ขนาดต่างกันการดูดซึมก็ต่างกัน ดังนั้นการผสมตัวอย่างเพื่อทดลองจึงตั้งข้อกำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์จำนวนหนึ่ง ต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตรเป็นหลัก โดยทดลองผสม 3 การผสม ใช้ปูนซีเมนต์จำนวน 6 , 7 , และ 8 ถุง ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร

ทรายและกรวดกินเผา ใช้สัดส่วน 1 ต่อ 2 โดยปริมาตรรวม ปริมาณน้ำที่ใช้ กำหนดด้วยการทดลองการยุบตัวของคอนกรีต โดยปริมาณน้ำจะต้องพอดีให้เกิดการยุบตัวของคอนกรีตประมาณ 2.5 นิ้ว เพราะถ้าการยุบตัวมากไป แสดงว่าใช้น้ำ

เข้าไปผสมมากความแข็งแรงก็ลดลง ถ้าการยุบน้อยไปคอนกรีตที่เทลงแบบก็ไม่สามารถเทไล่ความ ข้อมูลของปริมาณทราย , กรวดหิน เผา , และซีเมนต์ วัดโดยหน่วยน้ำหนักได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ซึ่งปริมาณทราย และกรวดหิน เผานั้น เกิดจากการทดลองผสม

3.3.3 <u>การทดลองหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต</u> กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต เป็นตัวบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติอื่นๆได้เป็นอย่างดี เพราะค่ากำลังต้านทานหรือรับแรงอย่างอื่นเป็นสัดส่วนกับกำลังรับแรงอัด

การทดสอบหาแรงอัดประลัยของคอนกรีตเบา ทำได้โดยการกดแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก , ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 15 ซม. บ่มชื้นในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด , ด้วยเครื่องทดสอบมาตรฐานจนกระทั่งคอนกรีตถูกอัดแตก น้ำหนักกดสูงสุดหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง จะเป็นค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตนั้น

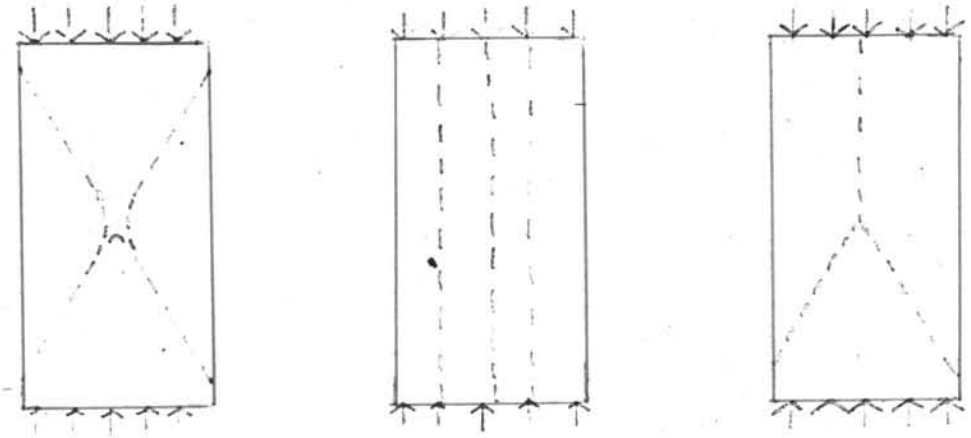
การหล่อตัวอย่างคอนกรีตทำโดยการเทคอนกรีตลงในแบบซึ่งทำด้วยท่อ พี.วี.ซี. กันน้ำซึม เป็นจำนวน 3 ชั้น ชั้นละเท่าๆกัน แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กเส้นกลม ϕ 5 มม. เป็นจำนวนชั้นละ 25 ครั้ง เมื่อหล่อเสร็จแล้วให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 18 ถึง 24 องศาเซลเซียส จนถึงเวลาทดสอบ คอนกรีตจะถูกนำมาทำการทดสอบเมื่ออายุได้ 14 วันและ 28 วัน ก่อนการทดสอบต้องหล่อเปลือกหุ้มทับขอบตัวอย่างที่จะรับแรงกดให้ได้พื้นราบ เพื่อที่จะให้ได้ค่าแรงกดที่ถูกต้อง วัสดุที่ใช้หล่อเปลือกหุ้มนี้ได้แก่สารประกอบกราไฟท์กับน้ำมะถัน สภาพการทดสอบอยู่ในสภาพแห้งในอากาศ และกดด้วยอัตรากดสม่ำเสมอ 2.5 ± 1.0 กก./ซม.^{2} ต่อ 1 วินาที

ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างคอนกรีตมีอยู่ 3 ลักษณะคือ

ก. Shear Failure การแตกจะเป็นแนวเฉียงดังภาพ (ก) มุมของการแตกหักมีค่าเท่ากับ $45^\circ - \frac{\phi}{2}$ เมื่อ ϕ เป็นมุมเสียดทานภายในของคอนกรีต

ข. Splitting Failure เป็นการแยกออกตามแนวแกน ดังภาพ (ข)

ค. Combining Shear & Splitting Failure เป็นการรวมลักษณะการชำรุดทั้ง 2 แบบดังภาพ (ค)



Shear Failure (ก)

Splitting Failure (ข)

Combining Shear & Splitting Failure (ค)

รูปที่ 3.8 ลักษณะการชำรุดของแท่งคอนกรีตรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดนี้คำนวณได้จากสมการ

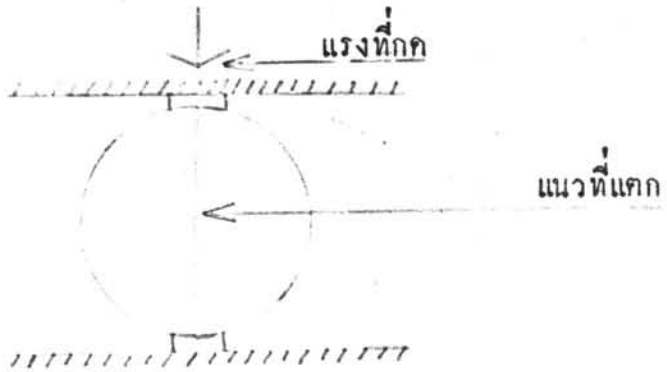
$$fc' = \frac{P}{A}$$

เมื่อ fc' = ค่ากำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

P = แรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกดของแท่งคอนกรีต

3.3.4 <u>การทดลองหาค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต</u> การทดลองหาค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตทำได้โดยอัดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. สูง 15 ซม. วางให้แกนตามยาวอยู่ในแนวนอนดังภาพ จนกระทั่งแตกหรือแยกจากกันในแนวดิ่ง วิธีนี้เรียกว่า Splitting Test



รูปที่ 3.9

กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = \frac{2P}{ld}$$

เมื่อ δ = กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

P = แรงอัดของคอนกรีต

l = ความยาวของแท่งคอนกรีต

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งคอนกรีต

กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตที่คำนวณได้จากวิธีนี้ มีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงดึงจริงประมาณ 15 % กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10 % ของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

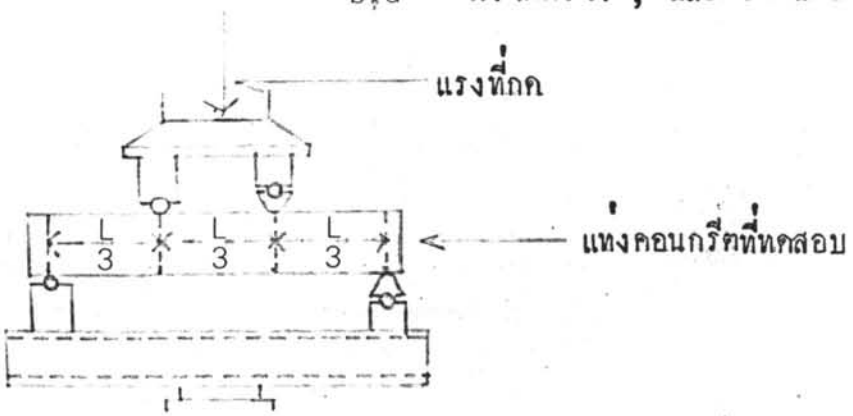
3.3.5 <u>การทดลองหาค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต</u> การทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตกระทำโดยการทดสอบคานตัวอย่างขนาด 10 10 50 ซม. โดยเทคอนกรีตลงในแบบเป็น 3 ชั้น กระทุ้งแต่ละชั้นให้แน่น

วิธีการทดสอบคานตัวอย่าง กระทำโดยการใช้น้ำหนักกดลงบนจุดแบ่ง 3 ช่วงของคาน จากค่าน้ำหนักสูงสุดของคานที่สามารถรับไว้ได้นั้น นำมาคำนวณหาค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต โดยใช้สูตรแรงดัด จะได้ค่าโมดูลัสของการแตกหัก $ft = \frac{PL}{bd^2}$

เมื่อ P = น้ำหนักกดสูงสุด

L = ระยะห่างของจุดที่รองรับใต้คาน

b, d = ความกว้าง , และความลึกของคาน



รูปที่ 3.10

การทดลองพบว่าค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต สูงกว่ากำลังรับแรงดึงประมาณ 60 ถึง 100 % และมีค่าอยู่ในช่วง 11 ถึง 23 % ของค่ากำลังรับแรงอัด

3.3.6 <u>การทดลองหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น</u> คุณสมบัติยืดหยุ่นของคอนกรีตมีความสำคัญต่อการเสียรูปของโครงสร้างคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุก คุณสมบัติยืดหยุ่นนี้หาได้จากการทดลองหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต โดยใช้แท่งคอนกรีตขนาดมาตรฐาน ϕ 15 30 ซม. ทดสอบหากำลังอัด และหน่วยการหดตัว ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นคืออัตราส่วนของหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัว เส้นสัมพันธ์นี้มีลักษณะเป็นรูปพาราโบลา

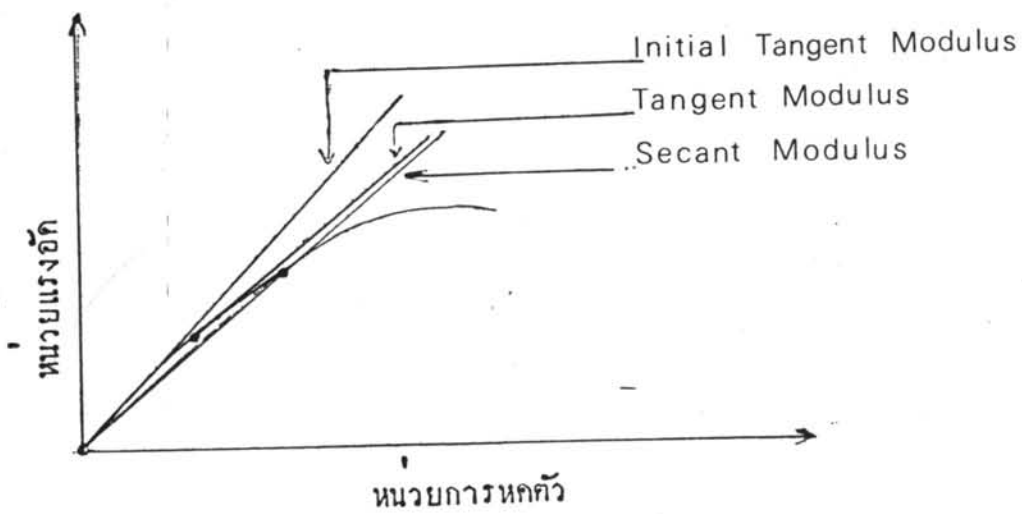
การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต มีวิธีหาต่างๆกันดังนี้

ก. Initial Tangent Moaulus เป็นความลาดเอียงของเส้นสัมผัสของเส้นโค้งนี้ ณ จุดเริ่มต้น

ข. Secant Modulus เป็นความลาดเอียงของเส้นที่ลากจากจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งไปยังจุดใดๆบนเส้นโค้งนี้

ค. Tangent Modulus เป็นความลาดเอียงของเส้นสัมผัส ณ จุดใดๆบนเส้นโค้งนี้

วิธีหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในการทดลองครั้งนี้ใช้วิธี Secant Modulus โดยเส้นโค้งตั้งแต่จุดเริ่มต้นไปจะมีลักษณะค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง จนถึงจุดหนึ่งที่เส้นโค้งจะเริ่มโค้งมากขึ้น



รูปที่ 3.11

3.3.7 <u>การทดลองหาค่าหน่วยน้ำหนัก และค่าการดูดซึมของคอนกรีต</u>

การทดลองนี้ใช้แท่งตัวอย่างคอนกรีตมาวัดขนาดเพื่อหาปริมาตร , นำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่แห้งในอากาศ และนำมาแช่น้ำ 7 วัน แล้วนำขึ้นมาชั่งในลักษณะอิ่มตัวผิวแห้ง

ค่าหน่วยน้ำหนักคอนกรีต (แห้งในอากาศ) คำนวณได้จากสูตร

$$\gamma = \frac{W_1}{V}$$

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ คำนวณได้จากสูตร

$$W_a = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_1}\right) \times 100\ \%$$

เมื่อ γ = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

V = ปริมาตรของแท่งคอนกรีต

W_1 = น้ำหนักของคอนกรีตที่แห้งในอากาศ

W_2 = น้ำหนักของคอนกรีตที่อิ่มตัวผิวแห้ง

W_a = ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีต

3.3.8 <u>การทดลองหาค่าตัวนำความร้อน</u> ได้เตรียมแผ่นตัวอย่างคอนกรีตขนาด 1.8 x 13 x 14 ซม. ไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยใช้วิธี Guard Hot Plate ตามมาตรฐาน ASTM C177–45 โดยนำแผ่นคอนกรีตขนาดดังกล่าวมา 2 แผ่น ที่มีลักษณะเหมือนกันทั้งความกว้าง ความยาว และความหนา ใส่ลงไปในเครื่องทดสอบ ให้อยู่ระหว่าง Hot Plate และ Cold Plate ดังภาพที่แสดง (รูปที่ 3.12) จากนั้นก็ให้ความร้อนจาก Heater ถ่ายเทเข้า Hot Plate ผ่านตัวอย่างทั้งสองเข้าสู่ Cold Plate ทั้งสองข้าง เมื่อถึงภาวะสมดุลย์ (ประมาณ 6 ถึง 7 ชั่วโมง) ซึ่งอุณหภูมิของผิวตัวอย่างทั้งสองด้านจะคงที่ จึงอ่านค่าต่างๆเพื่อนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K—Value) ดังสมการ

$$K = \frac{Q}{A}\left(\frac{L}{T_2 - T_1}\right)$$ ที่ภาวะสมดุลย์

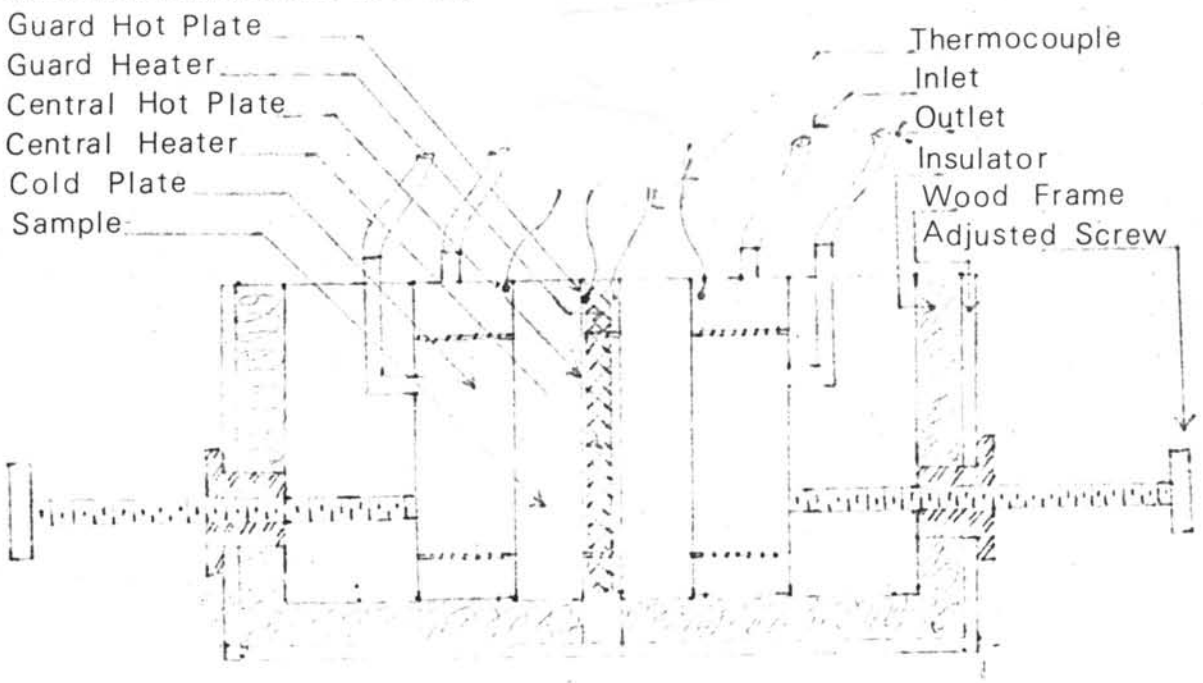
เมื่อ Q = ความร้อนที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A

L = ความหนาของตัวอย่าง

$T_2 - T_1$ = อุณหภูมิที่แตกต่าง ที่ผิวทั้งสองด้านของตัวอย่าง

Heater เป็นขดลวดความร้อน ทำด้วยอัลนิโครมประกบด้วยแผ่นทองแดง (Hot Plate) และมี Guard Hot Plate เป็นกรอบล้อมรอบเพื่อกันการไหลของความร้อนจาก Hot Plate ออกสู่ด้านข้าง โดยใช้หลักที่ว่าเมื่อจุด 2 จุดมีอุณหภูมิเท่ากัน จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างจุด 2จุดนั้น ดังนั้นจึงควบคุมอุณหภูมิของ Hot Plate และ Guard Hot Plate ให้เท่ากัน (ต่างกันไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส)

Cold Plate เป็นกระป๋องทองแดงหล่อด้วยน้ำเย็น และสามารถควบคุมการไหลของน้ำทั้งสองด้านให้มีอัตราการไหลเท่ากันได้



รูปที่ 3.12 เครื่องมือการวัดสัมประสิทธิ์การนำความร้อน