



เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี, 2526.

นพรัตน์ นรินทร์, วิชัย ชอบสุชน, อนันต์ สติศบุญวิวัฒน์, งานก่อสร้างชั้นใต้ดิน. วิทยานิพนธ์ของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2532.

सानิตย์ ศรีสุข, การประมาณการทรุดตัวของพารามิเตอร์ดินของถนนเข้าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนบางปะกง. วิทยานิพนธ์ของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรม-ศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

สุนันท์ สักดิ์วานิชกุล, การศึกษาการผลิตซีเมนต์จากกากหินน้ำมันโดยกระบวนการกึ่งแห้ง. วิทยานิพนธ์ของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

สุรจักร สัมพันธ์รักษ์, การคำนวณแรงดันด้านข้าง และ ข้อมูลดินในการออกแบบ, การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง การออกแบบและก่อสร้าง Sheet Pile, วสท., พฤศจิกายน 2530.

อรุณ ชัยเสวี, การบรรยายเรื่อง การก่อสร้างห้องใต้ดินโครงการ International Trade Center, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, กุมภาพันธ์ 2532.

ภาษาอังกฤษ

ASTM Standards. Cement Lime Gypsum, Part 13, American Society for Testing And Materials, Philadelphia, Pa. 1980.

Awal, A.A., Effect of portland cement mixing on soil properties. Master Thesis, AIT, 1979.

- Banerjea, H.N. Technology of portland cement and blended cement.
Wheeler Publishing, 1980.
- Bowles, J.E. Foundation analysis and design. 3rd ed., McGraw-Hill
Book Company, 1982.
- Bowles, J.E. Engineering properties of soil and their measurement.
3rd ed., McGraw-Hill Book Company, 1986.
- Das, B.M. Advanced soil mechanics. Hemispheve Publishing
Corporation, 1983.
- Gould, J.P. Lateral Pressure on Rigid Permanent Structure, ASCE
Special Conf., Cornell, June 1970.
- Greenwood, D.A., and J.F. Raffle. Formulation and Applications of
Grouts Containing Clay, in "Grouts and Drilling Muds in
Engineering Practice," Butterworths. London, 1963.
- Grim, R.E. Clay Mineralogy. McGraw-Hill Book Company, 1976.
- ICOS, Economics of Cutoff Walls by New Slurry Method,
International Coustruction. Milan, 1973.
- Ingles, O.G. and Metcalf, J.B. Soil stabilization Principles and
Practice. Butterworths Pty Limited, 1972.
- Jone, G.K., Chemistuy and Flow Properties of Bentonite Grouts, in
"Grout and Drilling Muds in Engineering Practice,"
Butterworths. London, 1963.
- Lambe, T.W. and Whitman, R.V. Soil mechanic. John Wiley and Sons.
New York, 1979.
- Midgley, H.G. and Fletcher, K.E. D.S.I.R. Building Research station
Note A 94 HMSO. London, 1961.
- Mitchel, J.K. Fundamental of Soil Behavior. John Wiley and Sons, 1976.

Niti Arunyanak. Lime-cement stabitization on Nong Ngoo Hao clay.

Master's Thesis, Chulalongkorn University, 1978.

Tatsuoka, F. and Kobayashi, A. Triaxial strength Characteristics of
Cement-Treated Soft Clay, Proceeding of the eight european
conference on soil mechanic and foundation engineering.

PP. 421-426, 1983.

Xanthakos, P.P. Slurry walls. New York. Mcgraw-Hill, 1979.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

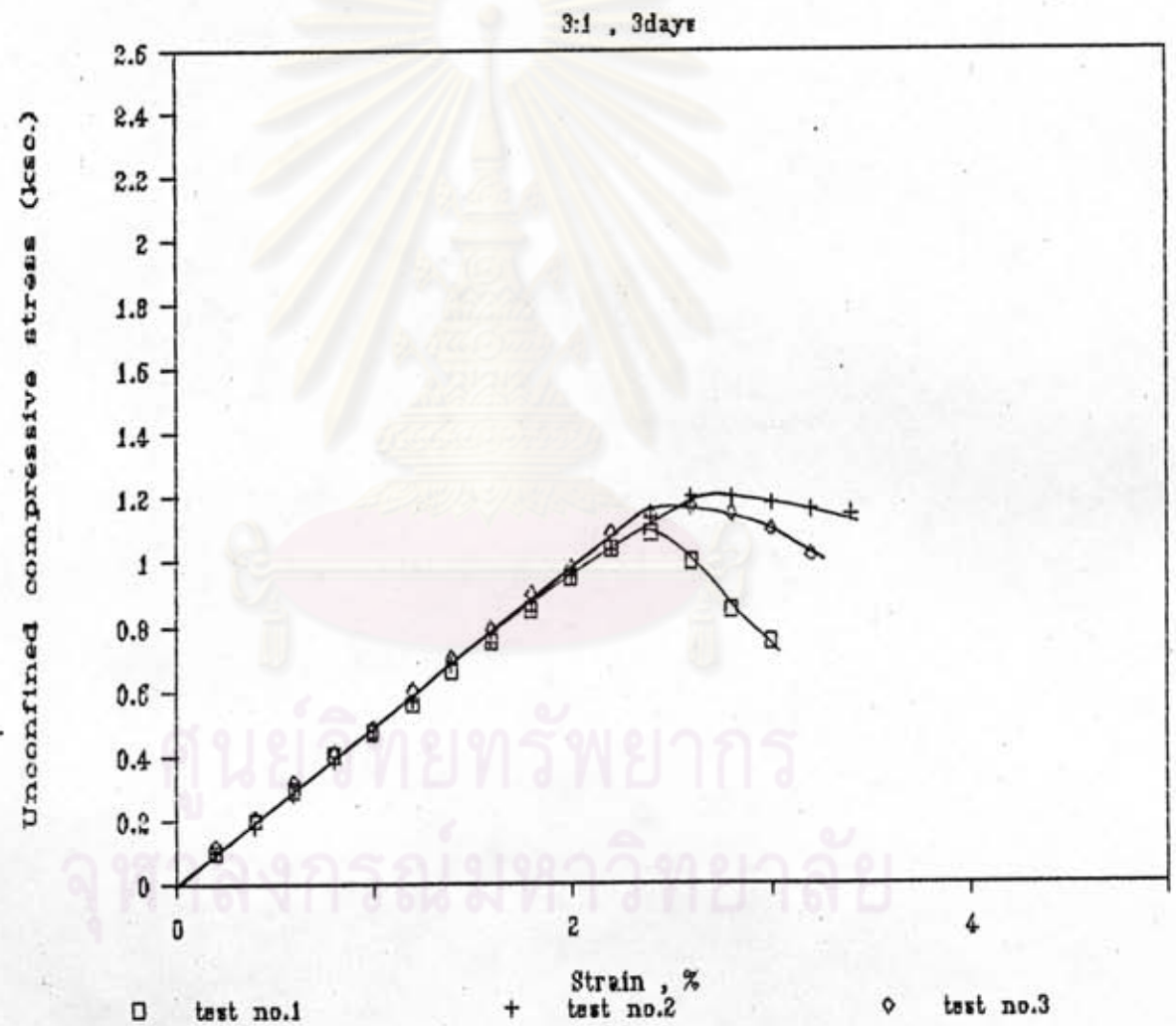


ภาคผนวก

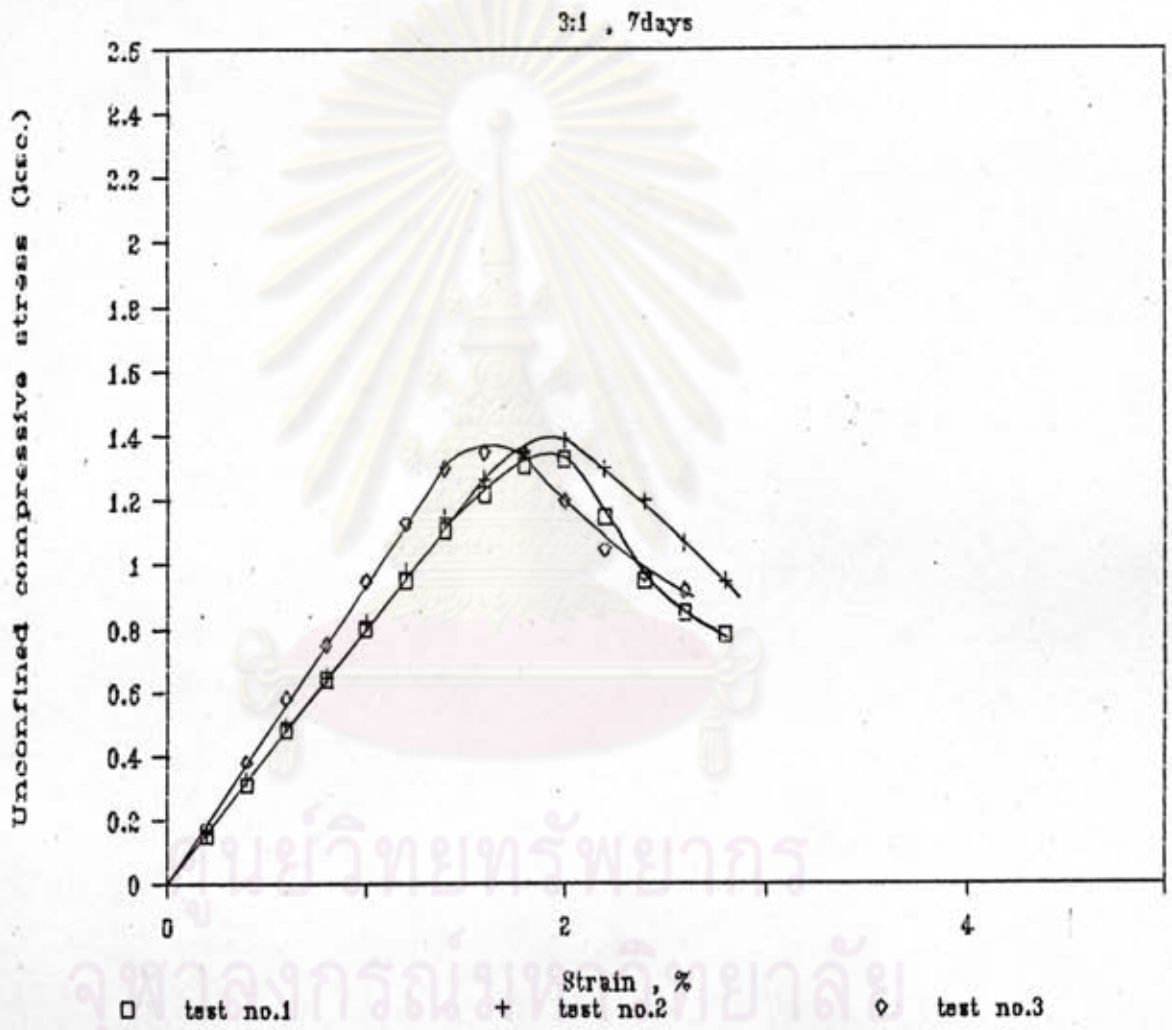
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

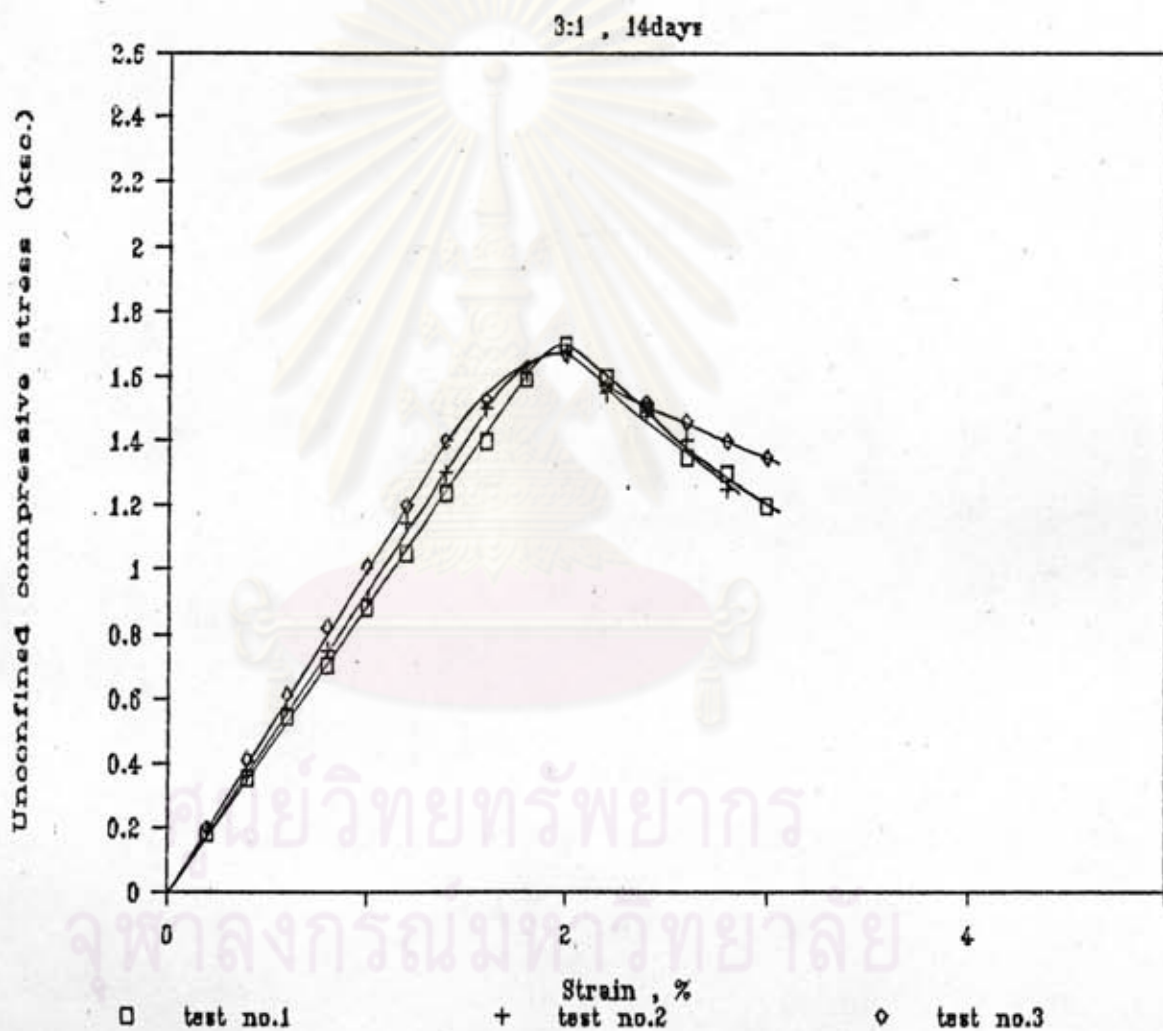
กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ Unconfined compression test



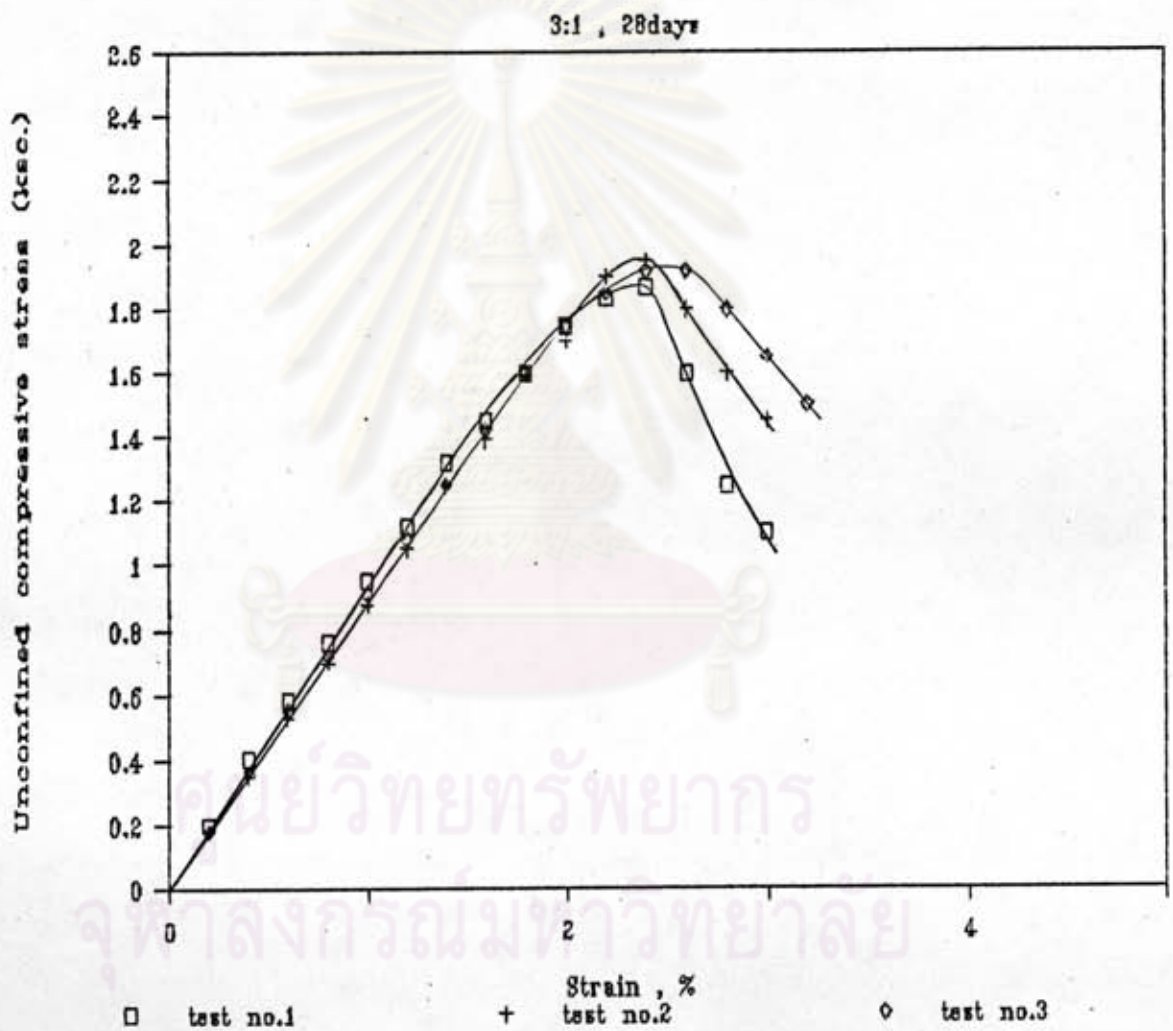
รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน



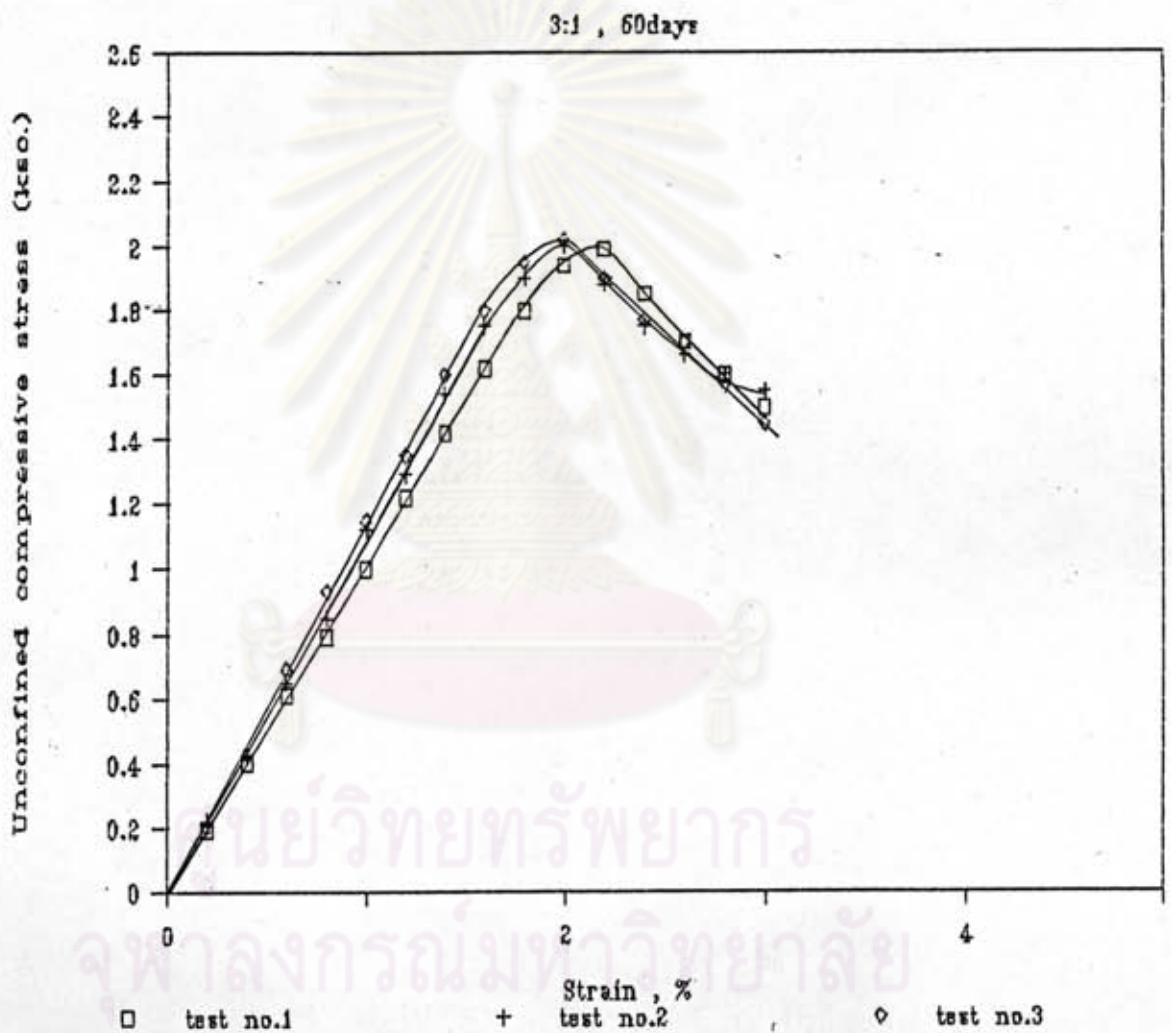
รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



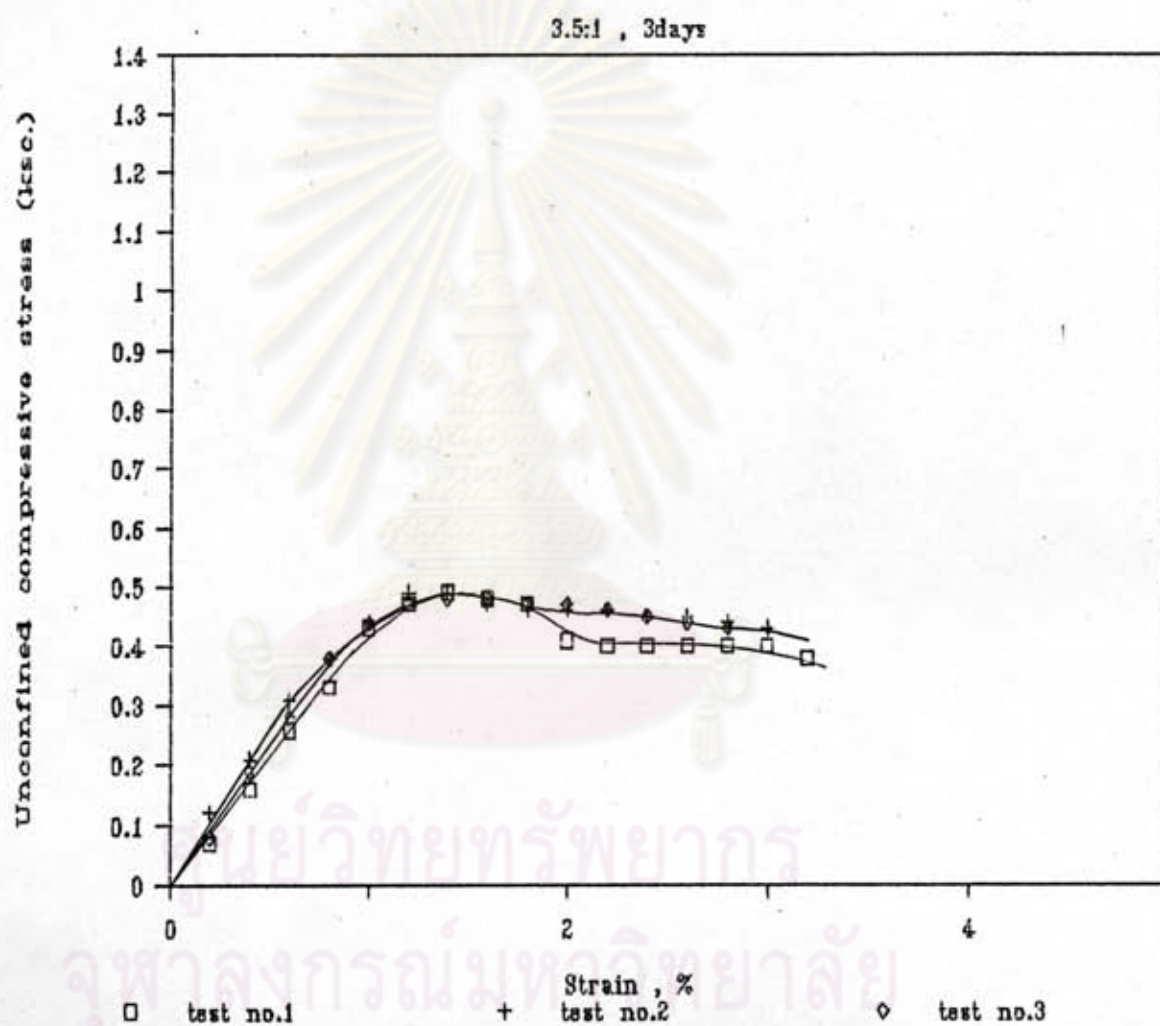
รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน



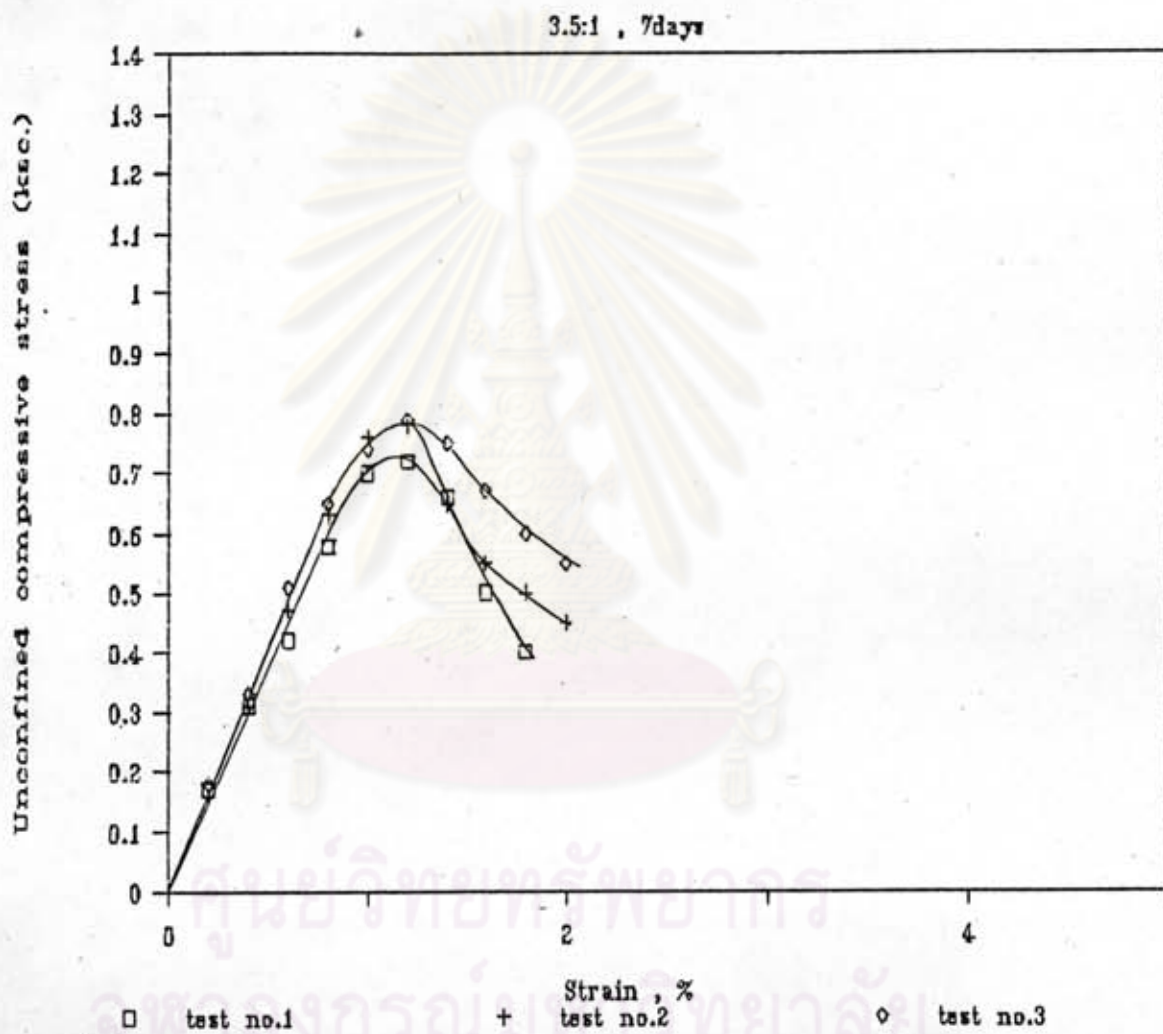
รูปที่ ๓.๔ ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน



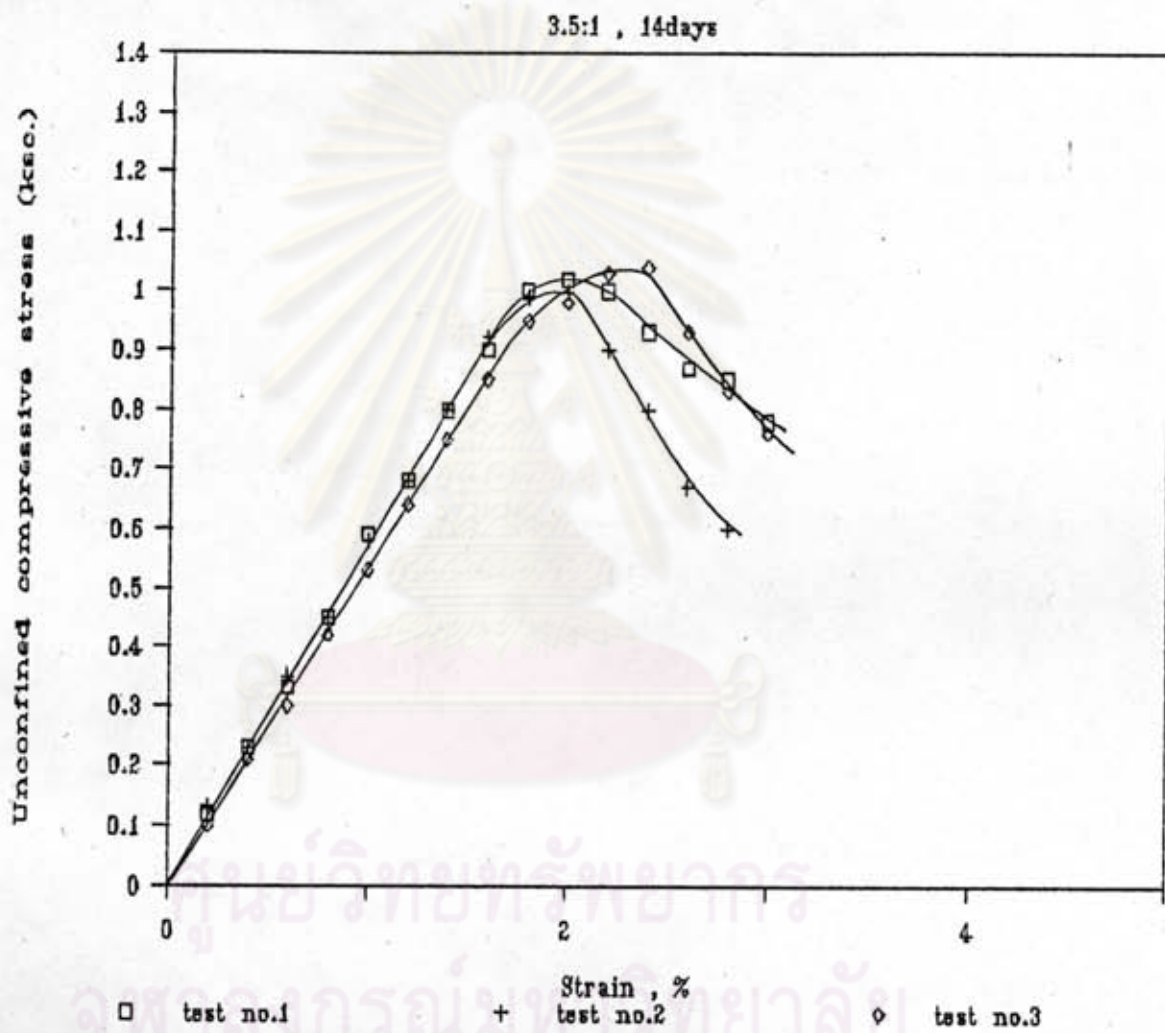
รูปที่ ๓.๕ ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน



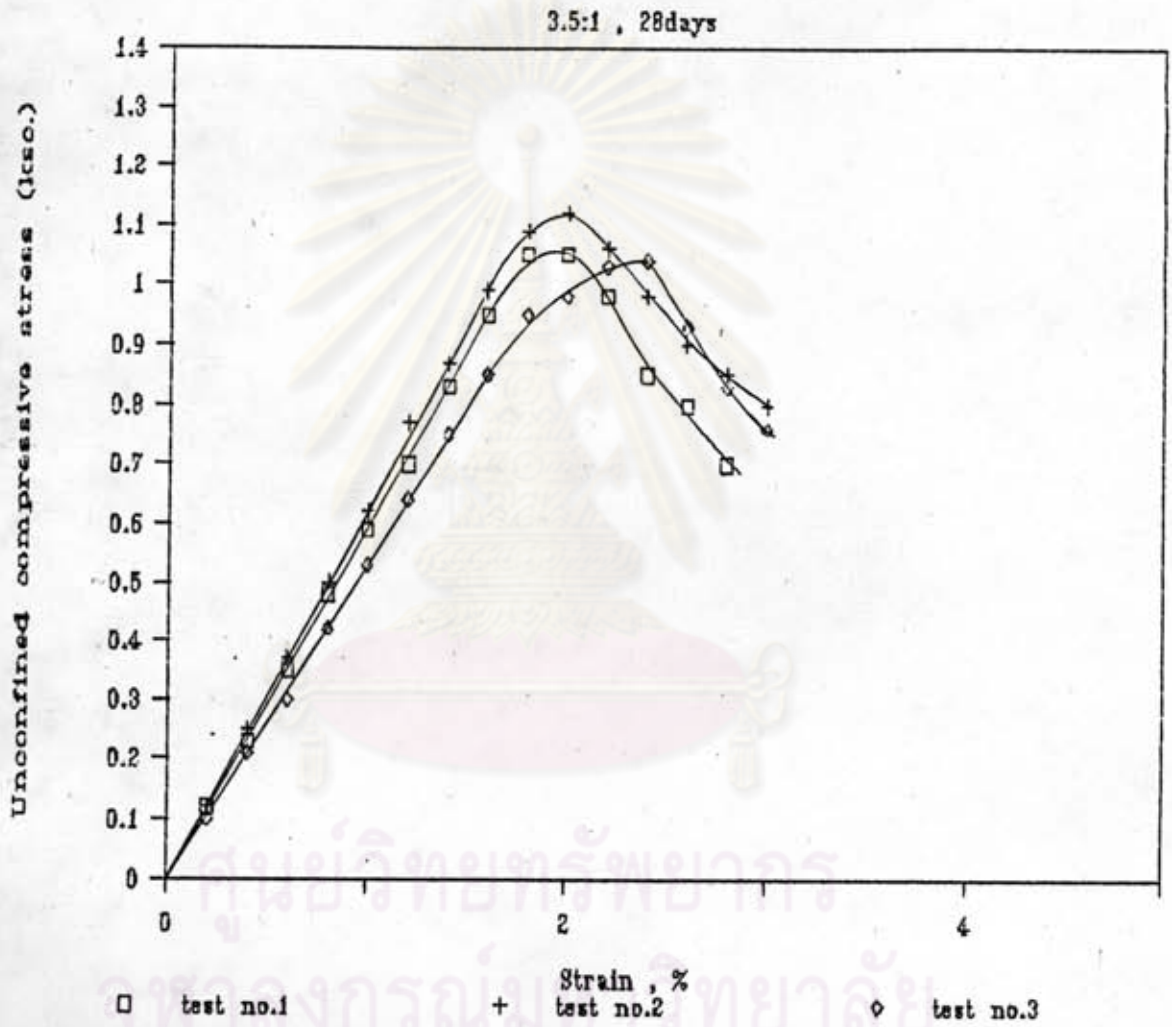
รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน



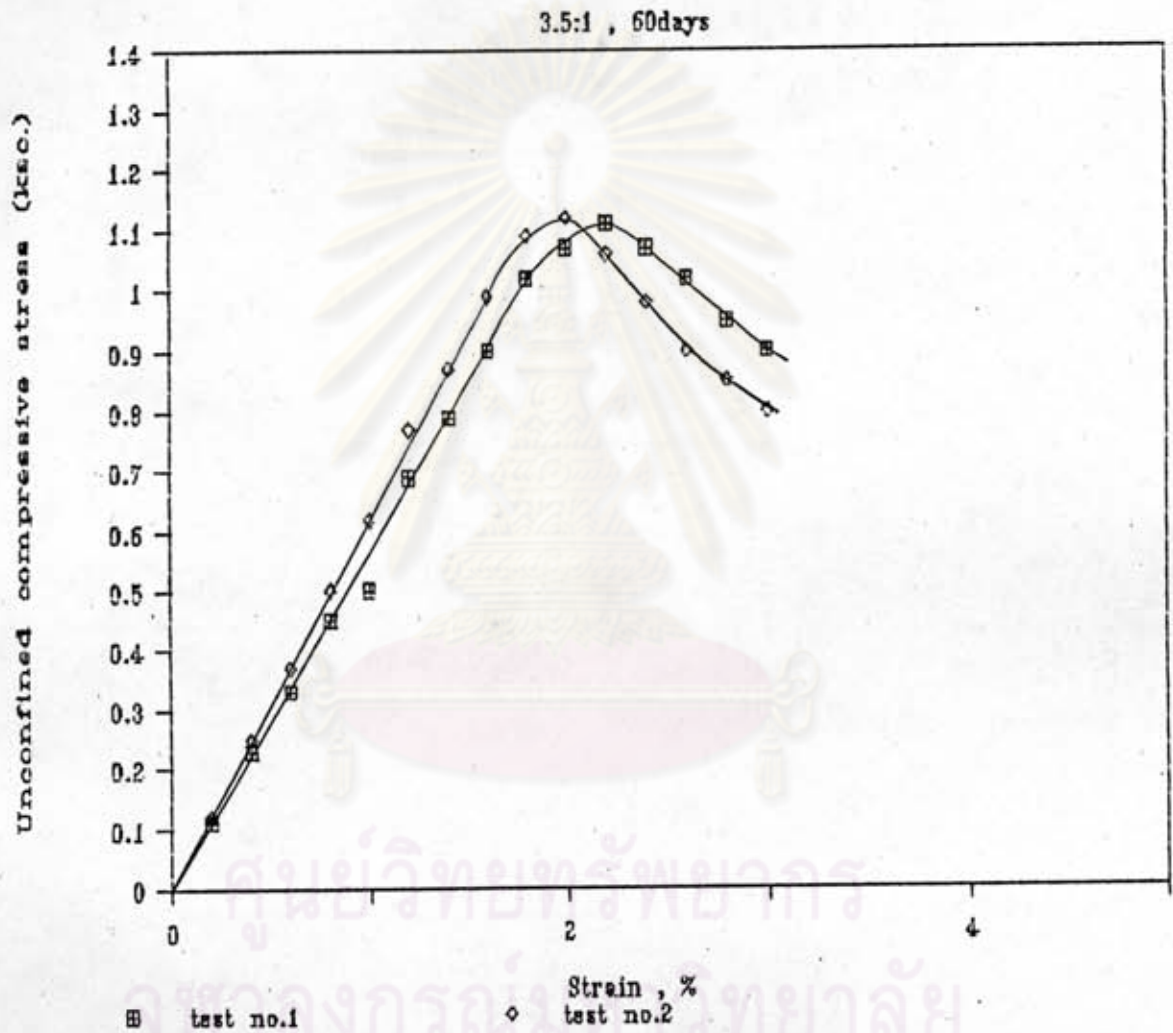
รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



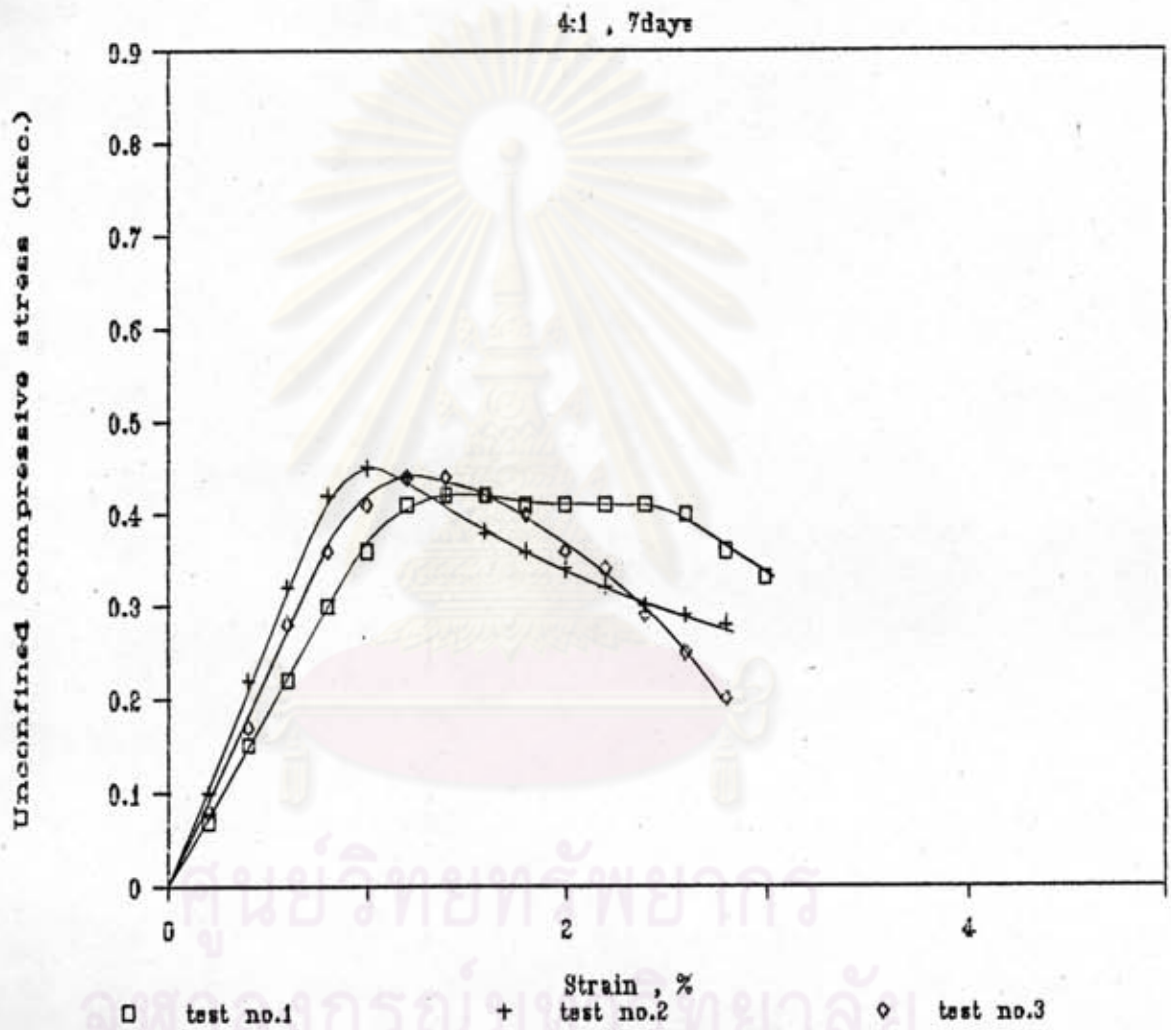
รูปที่ ๓.๘ ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน



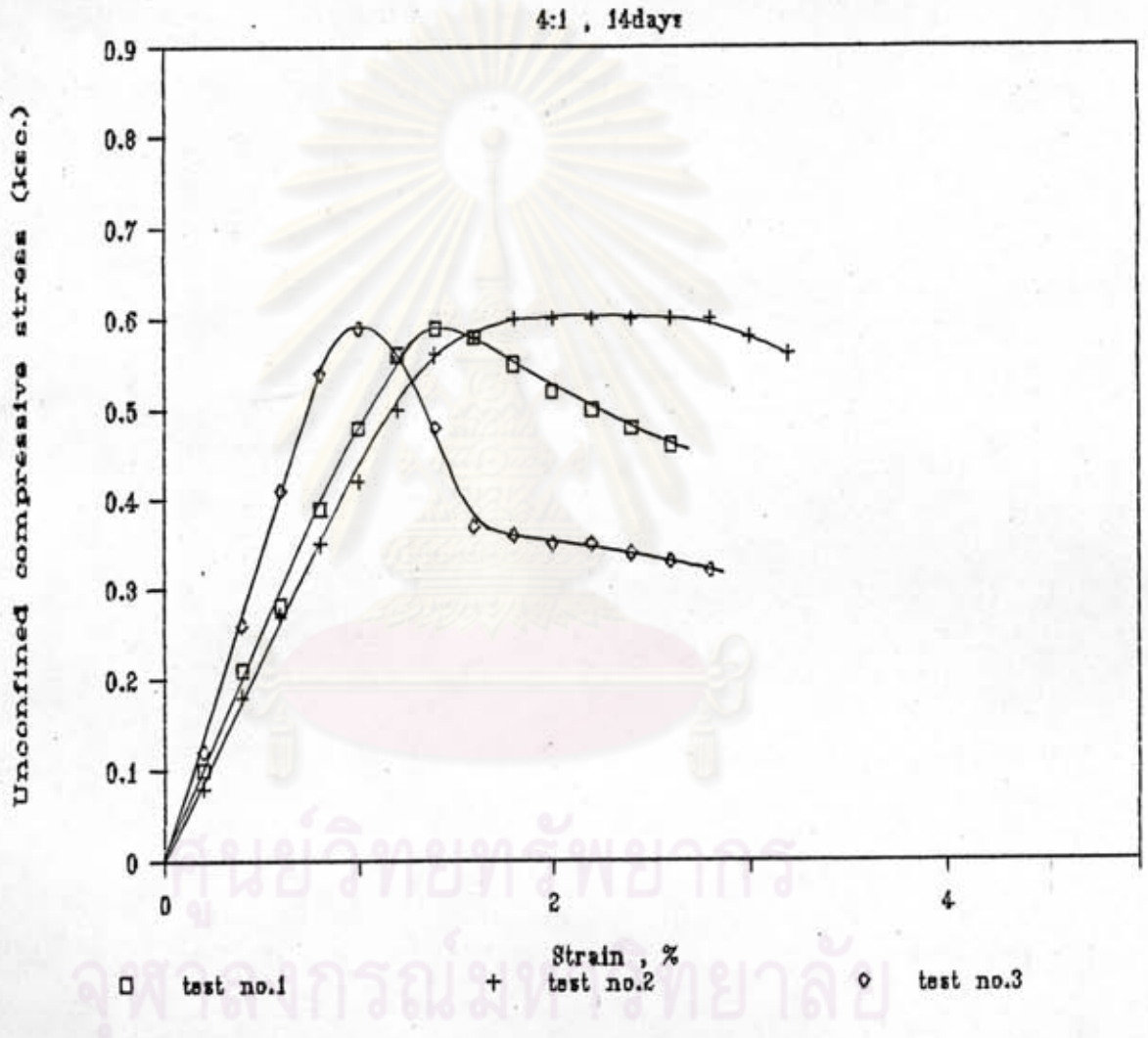
รูปที่ ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน



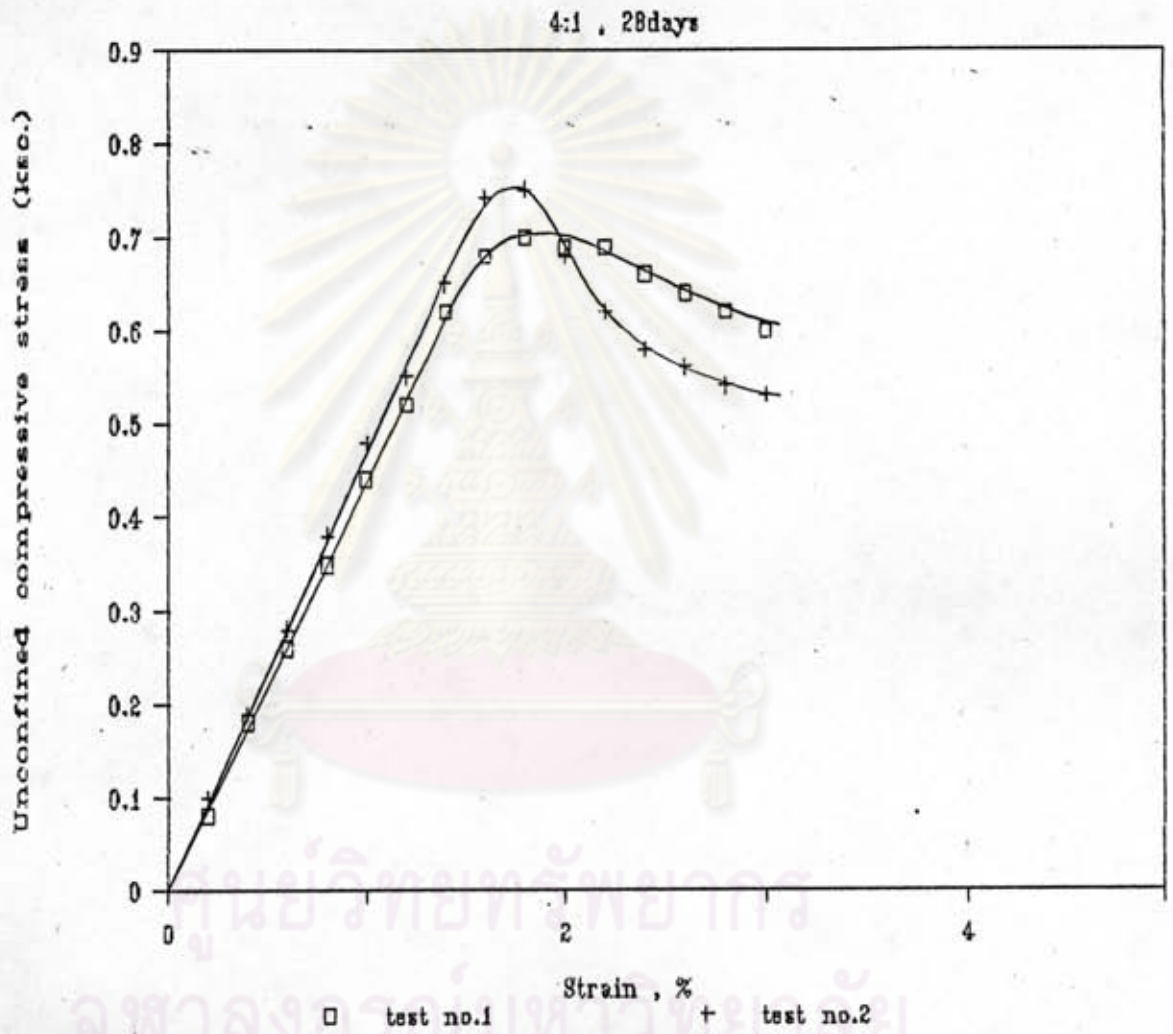
รูปที่ น.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 3.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน



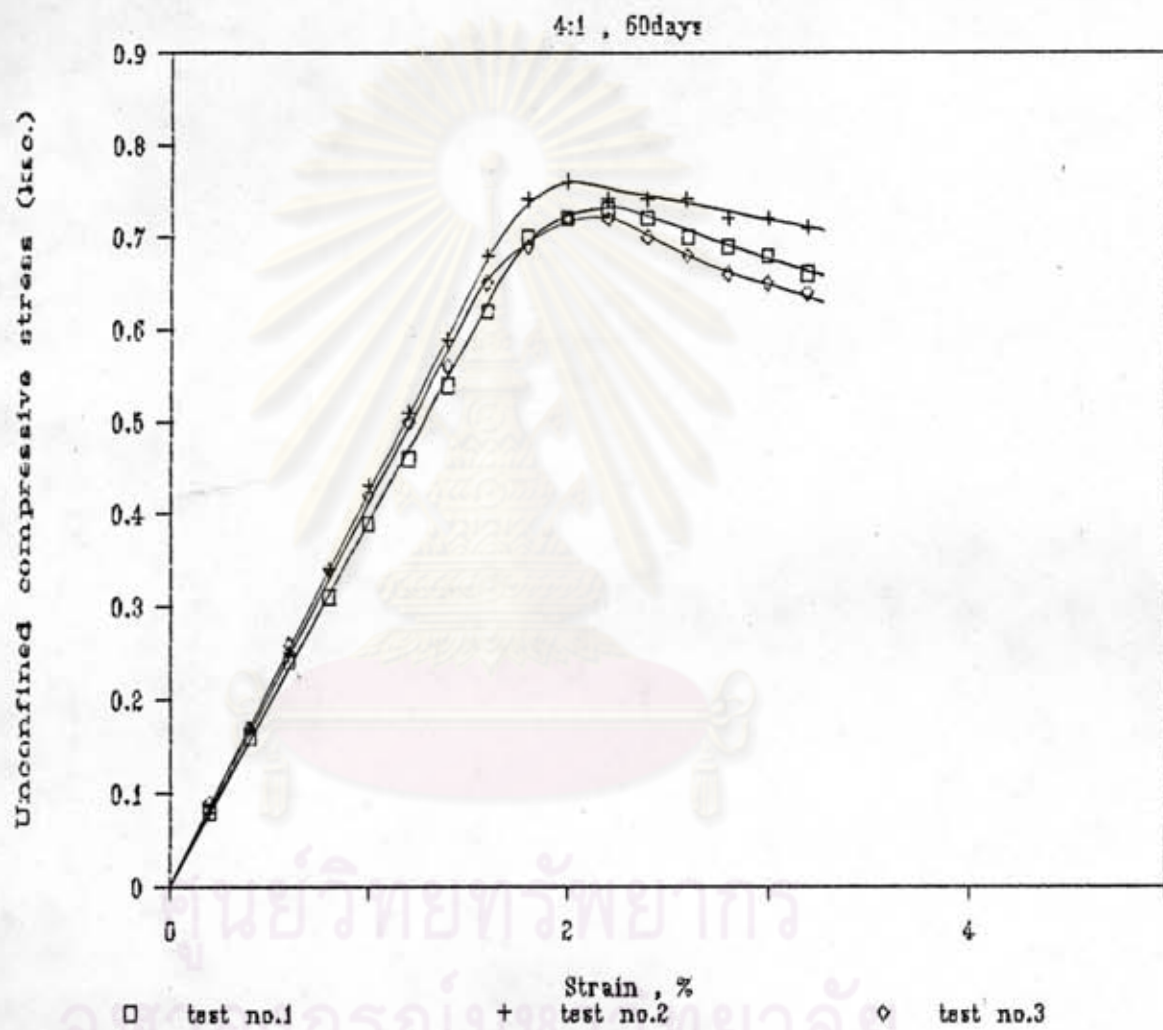
รูปที่ ก.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



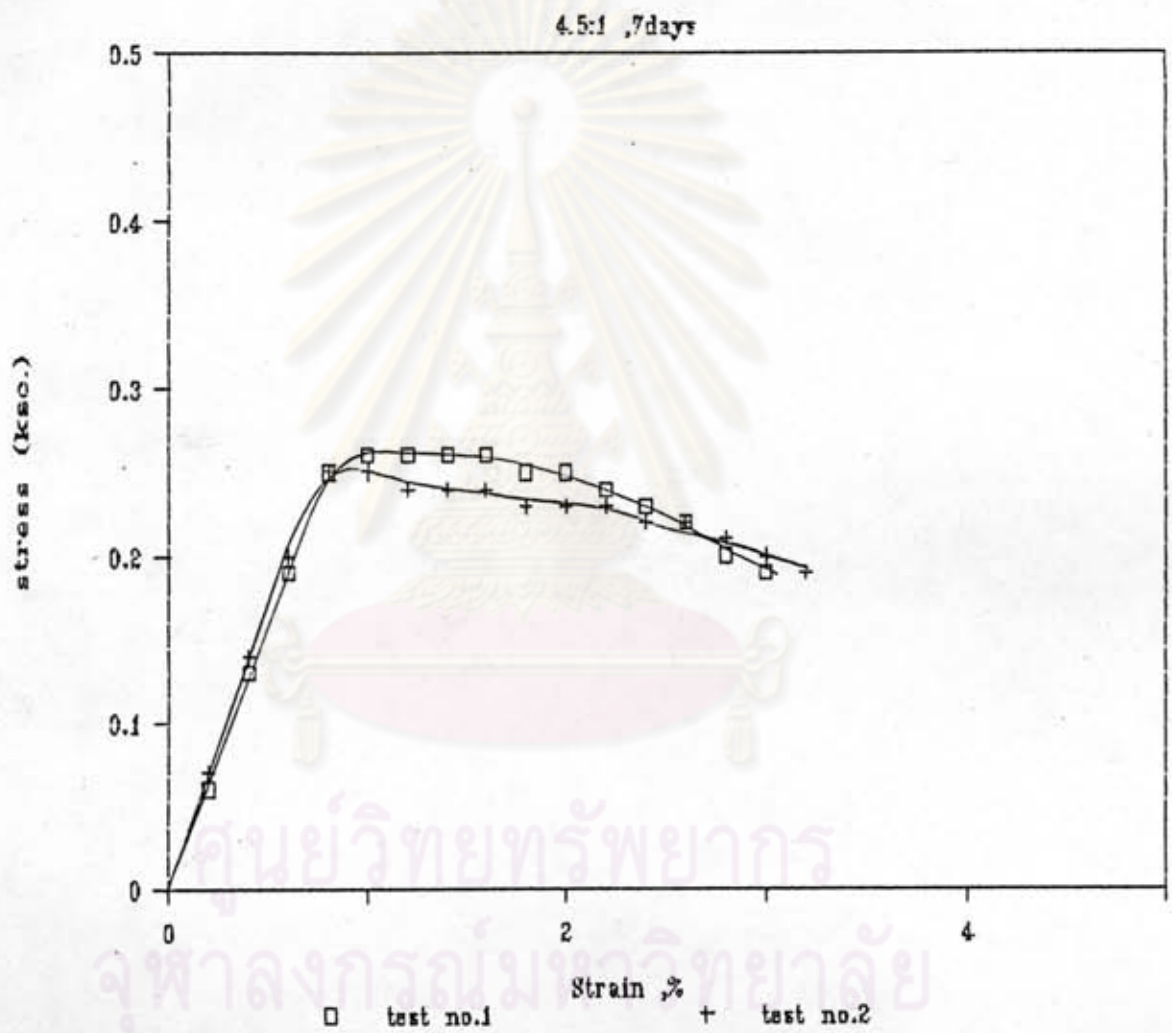
รูปที่ ก.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน



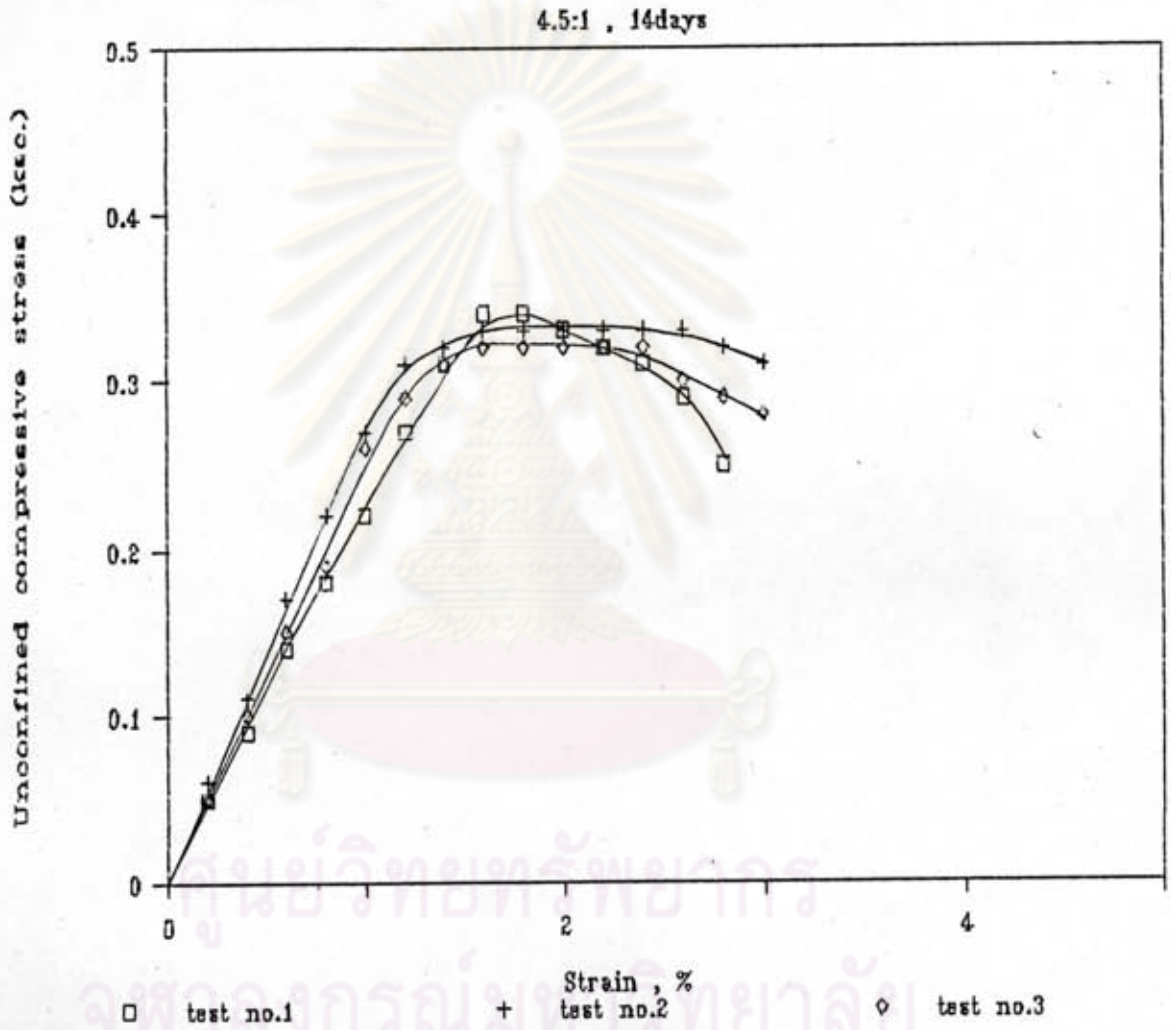
รูปที่ ก.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน



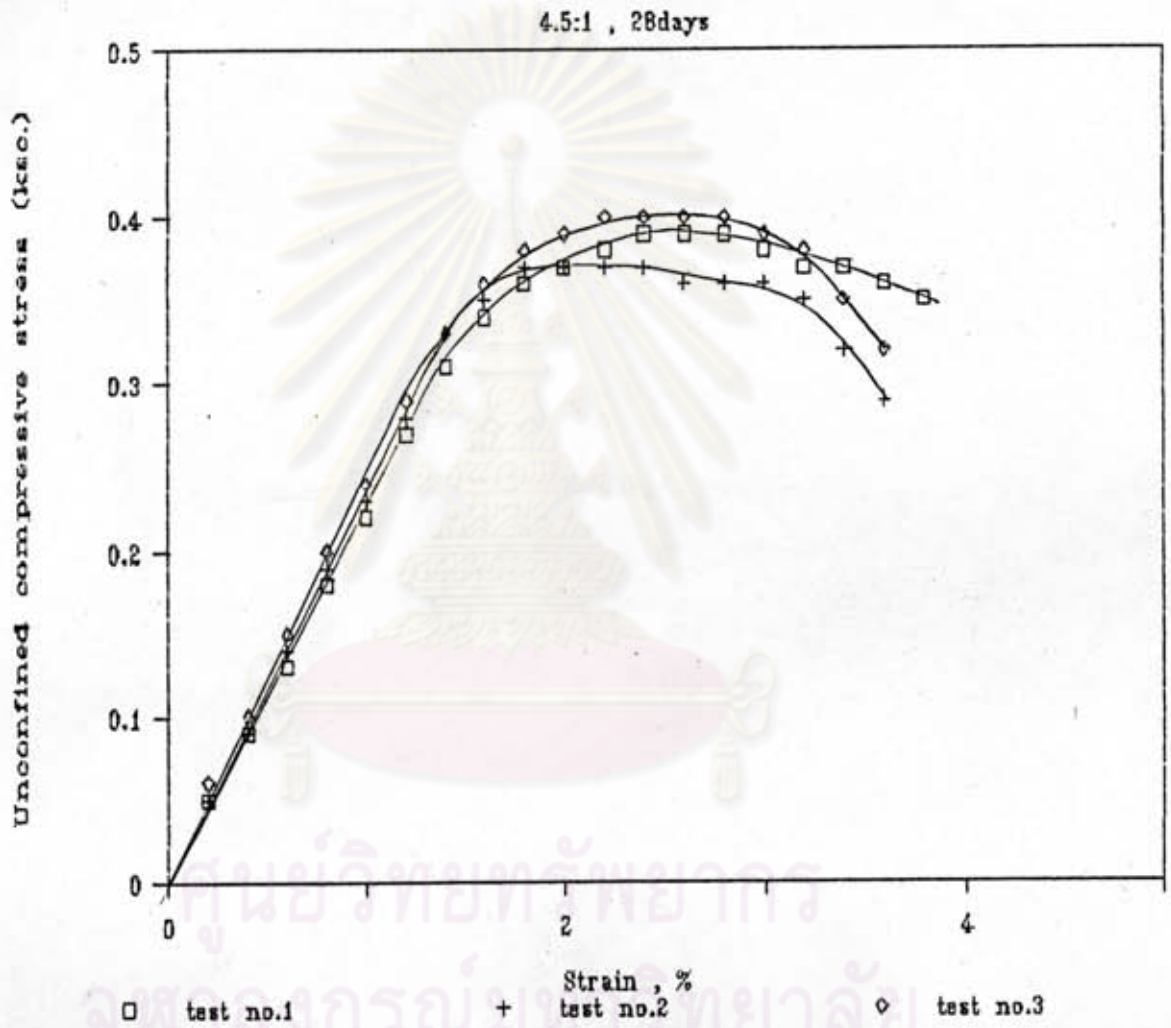
รูปที่ ก.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการศึกษาทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน



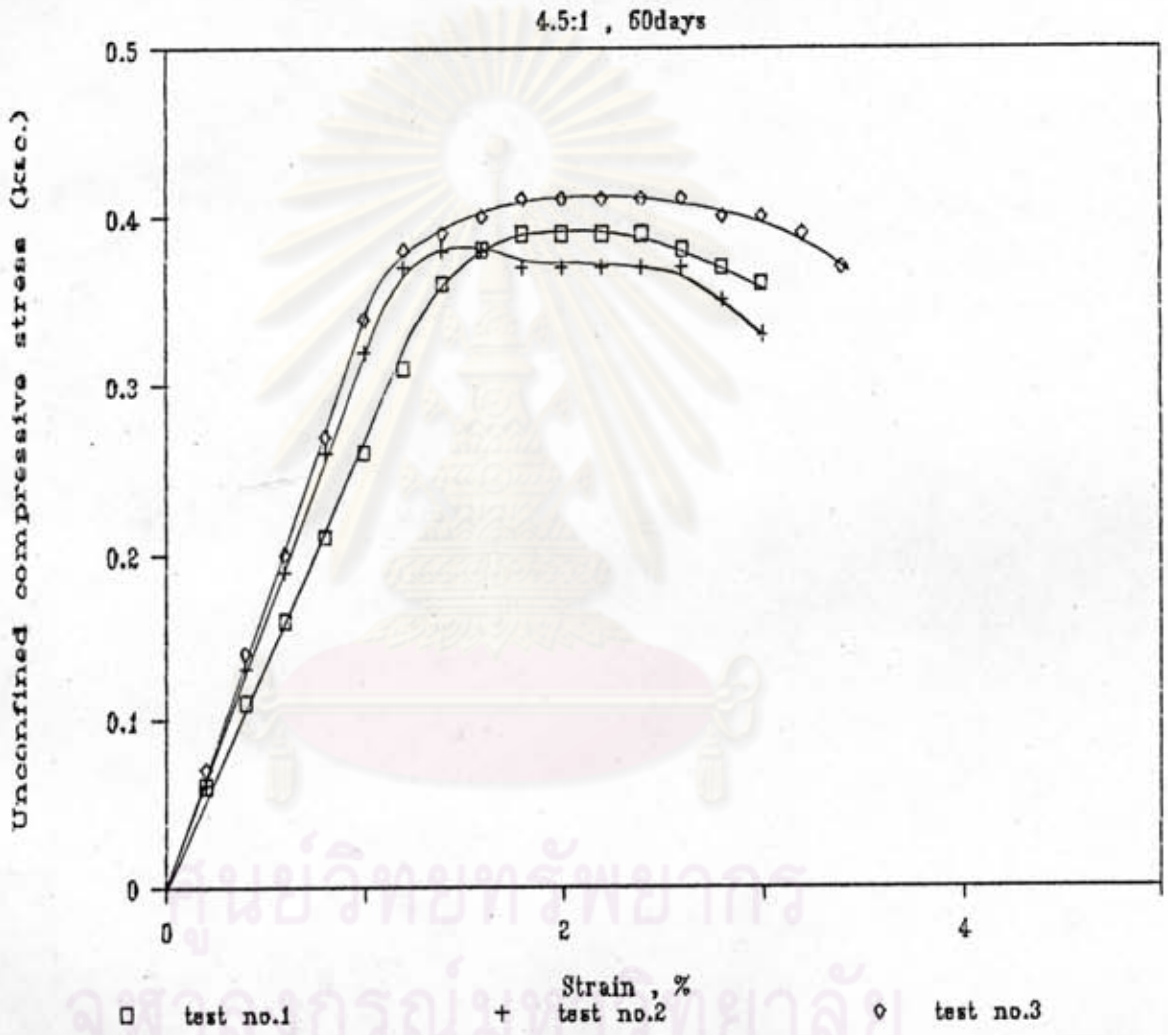
รูปที่ ก.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



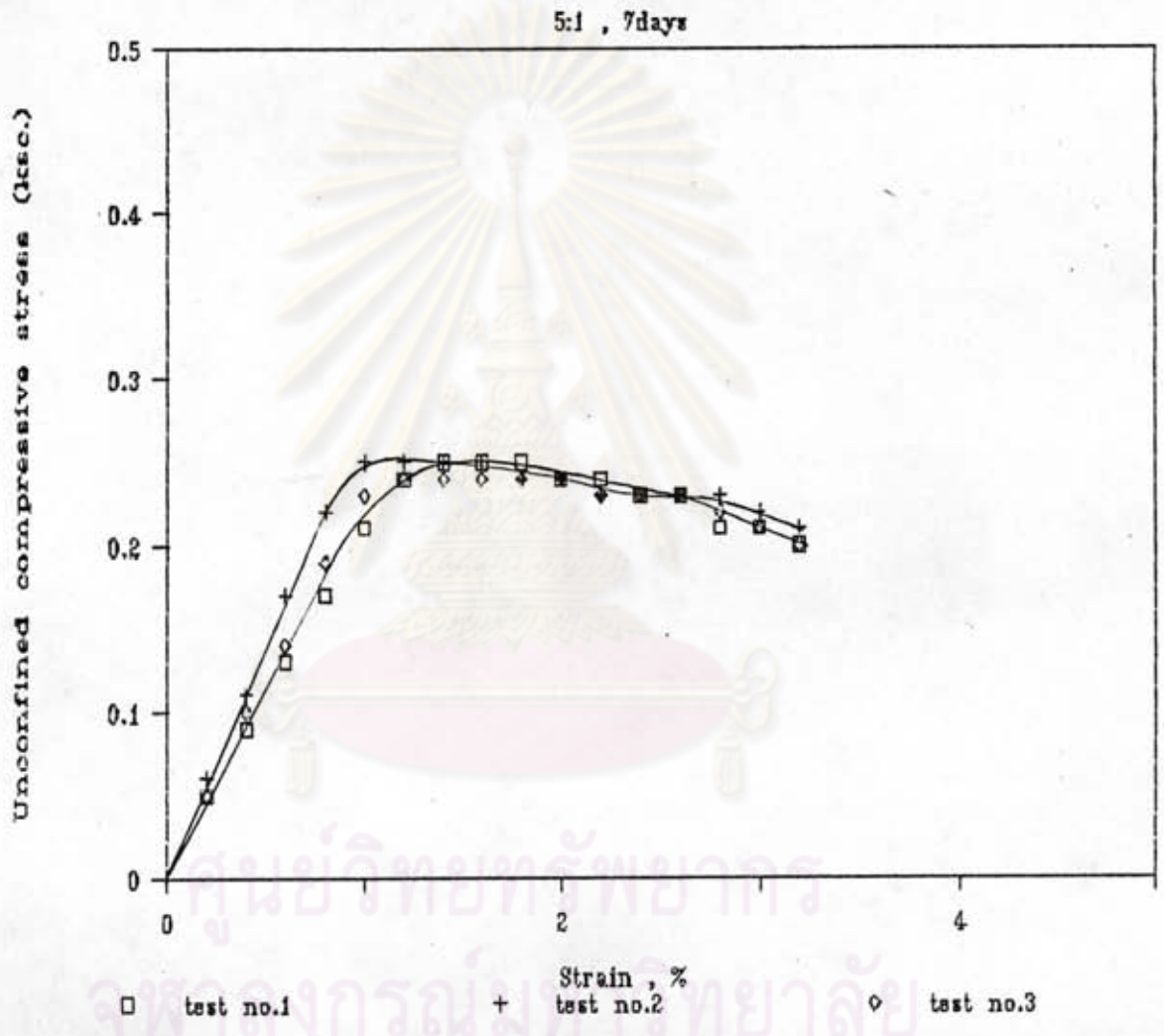
รูปที่ ก.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน



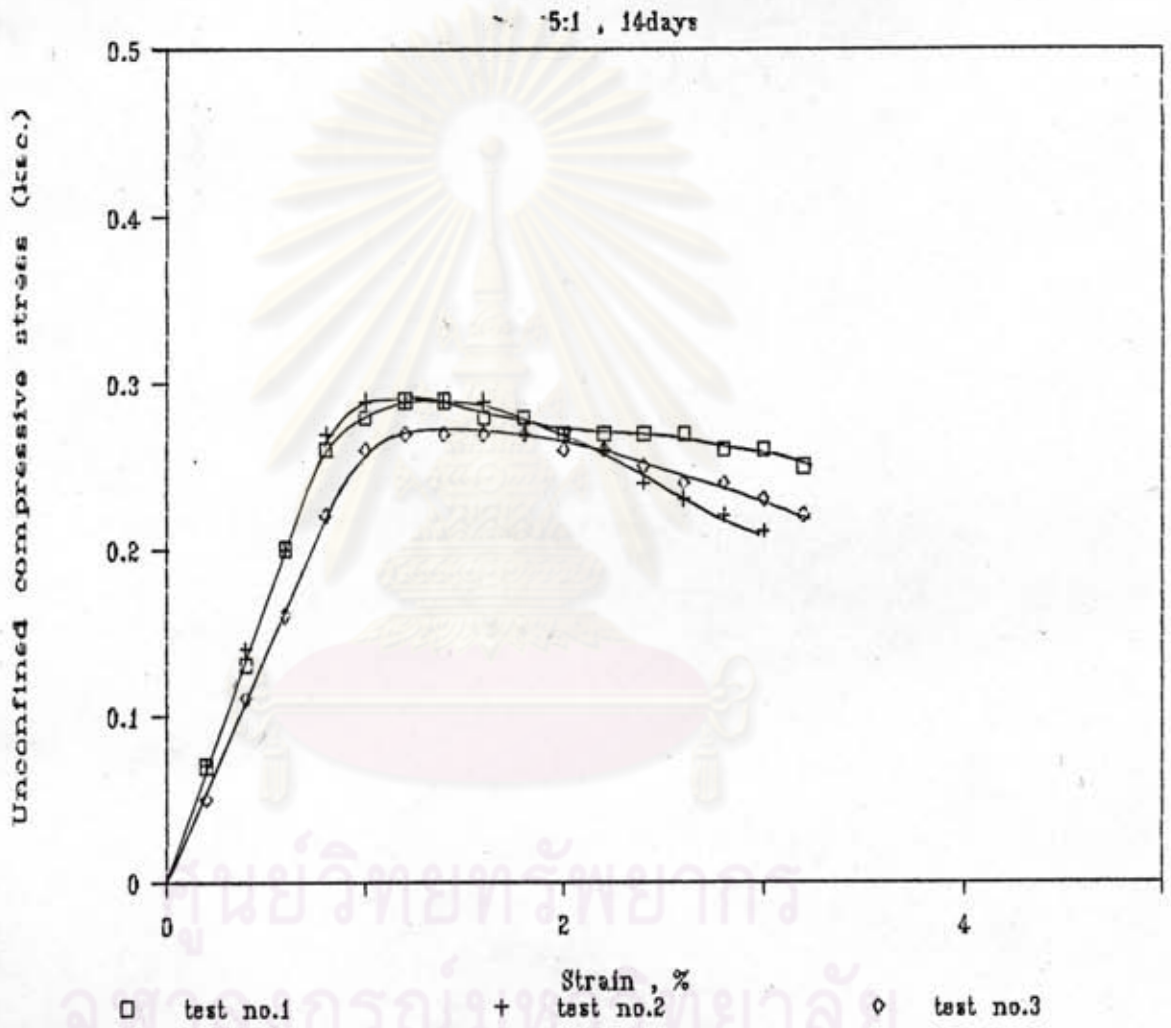
รูปที่ ก.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน



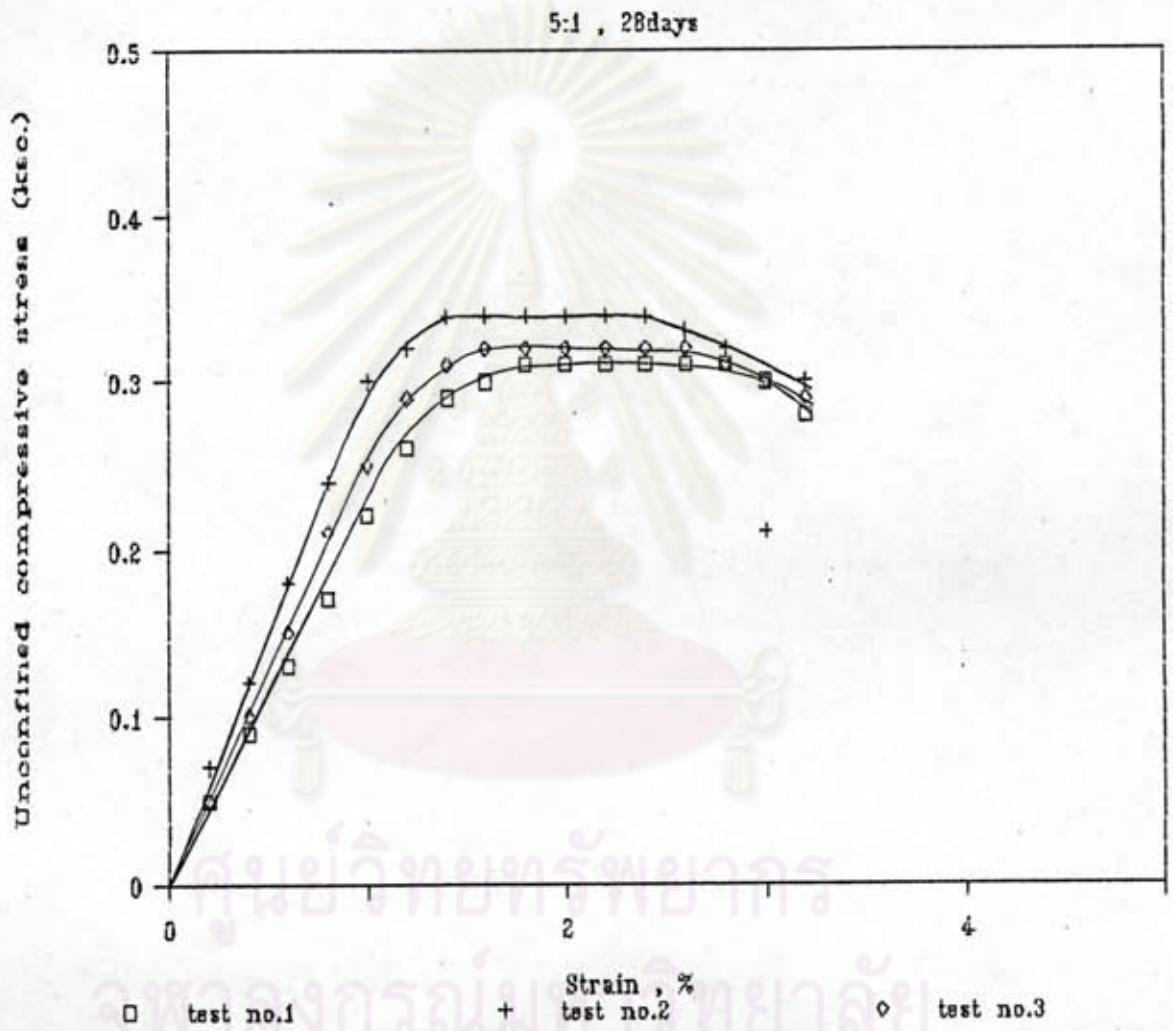
รูปที่ ก.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 4.5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน



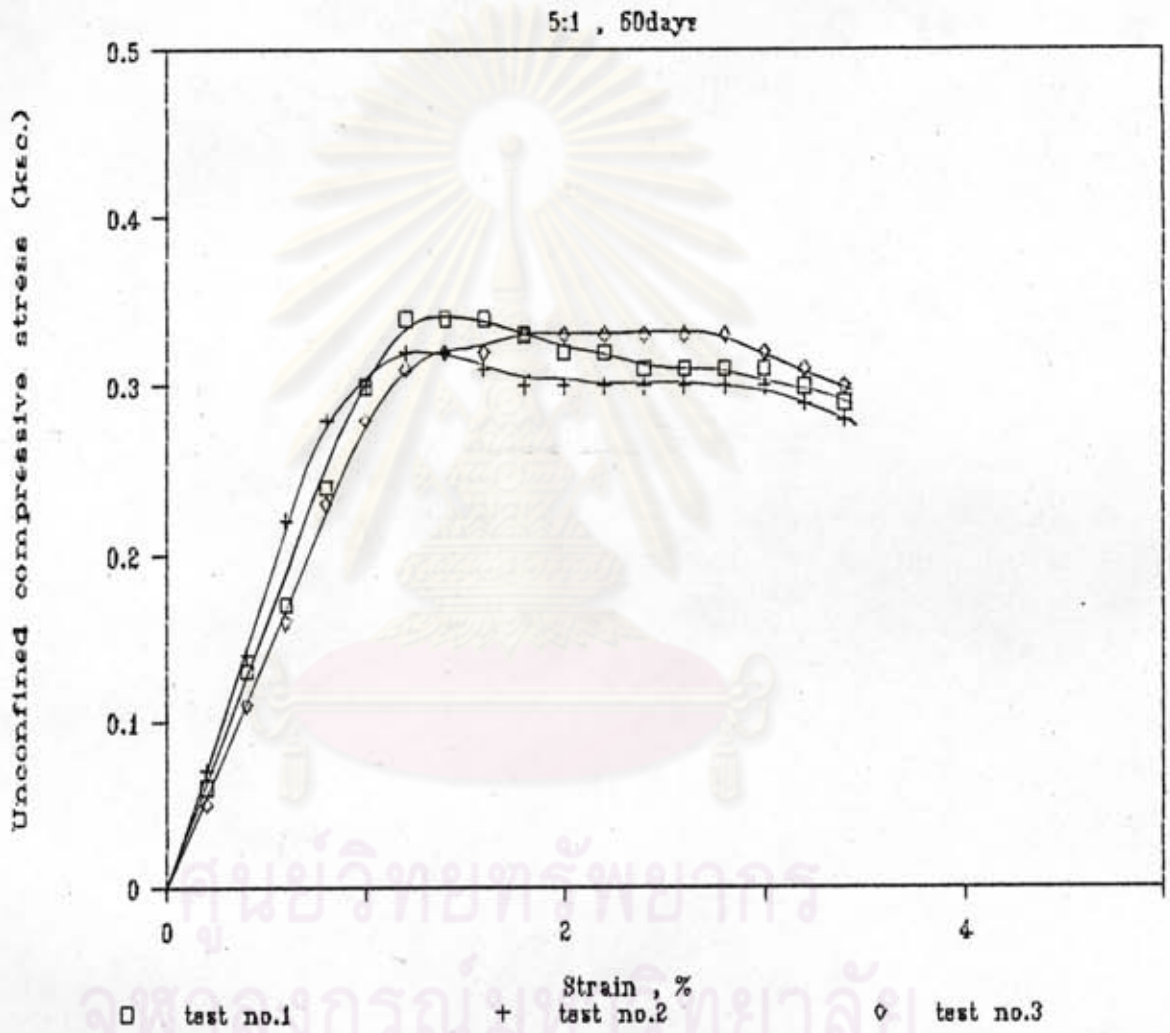
รูปที่ ก.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



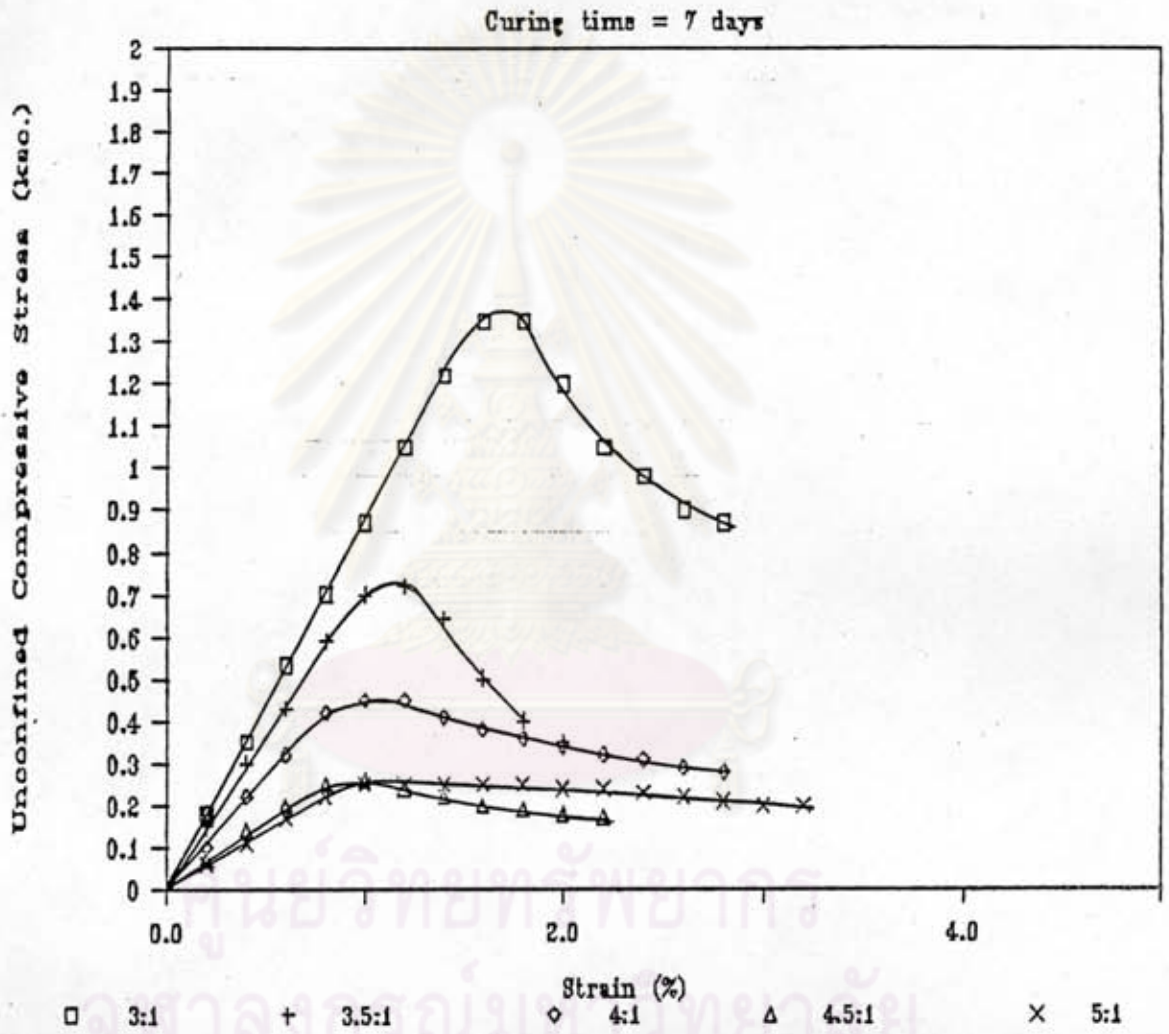
รูปที่ ก.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน



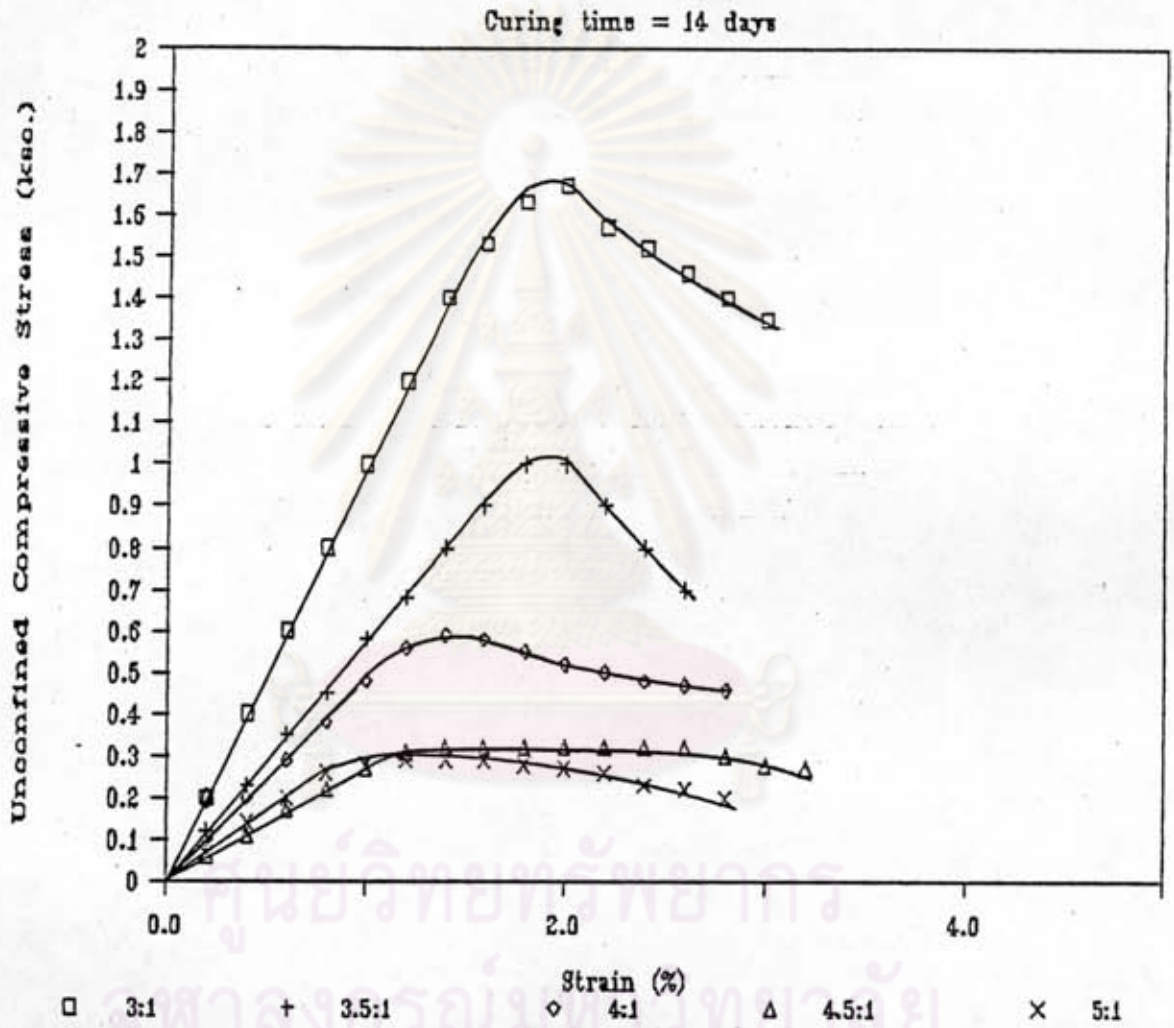
รูปที่ ก.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน



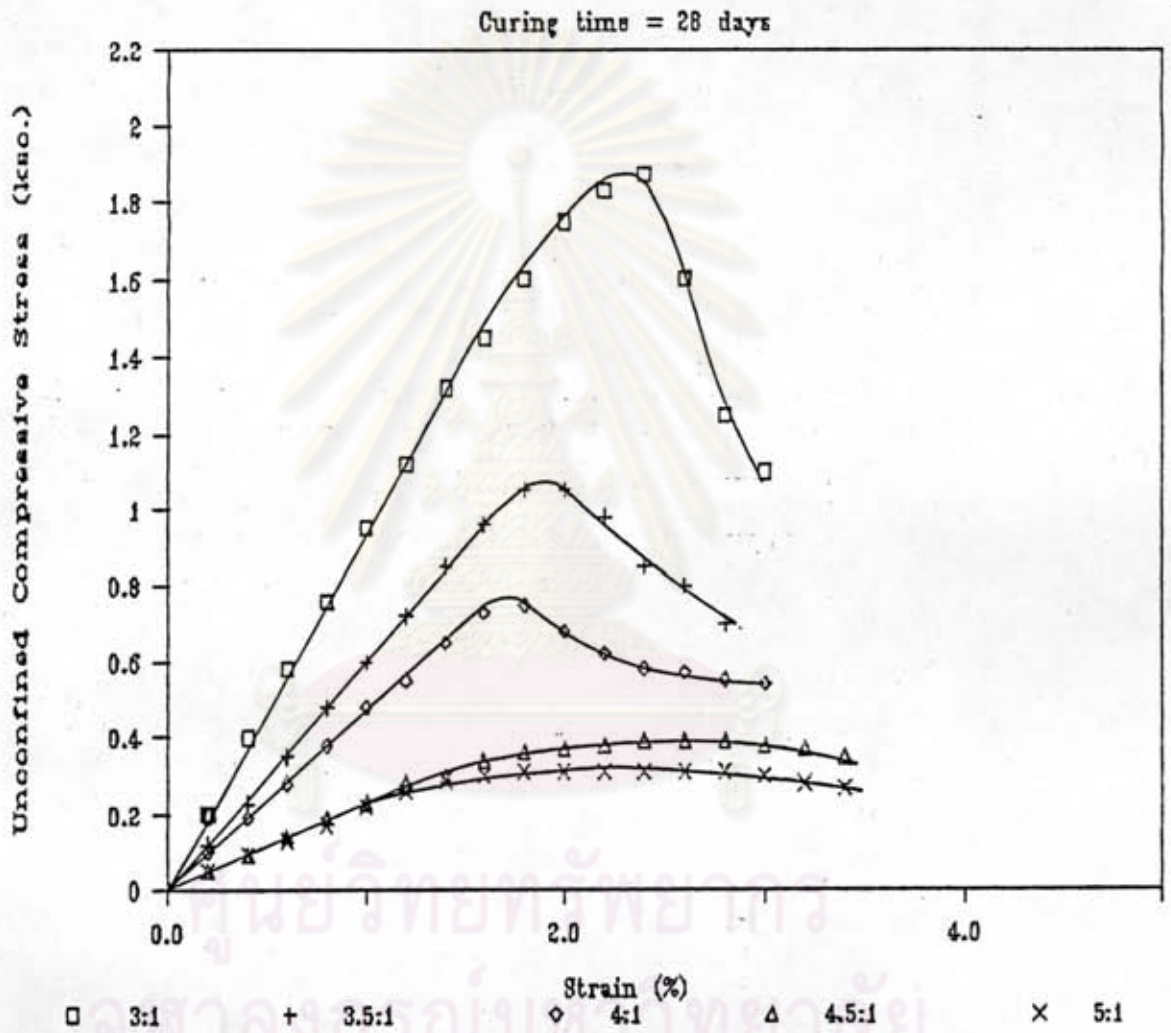
รูปที่ ก.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain จากการทดสอบ unconfine ของอัตราส่วนผสม 5 : 1 เมื่อระยะเวลาในการบ่ม 60 วัน



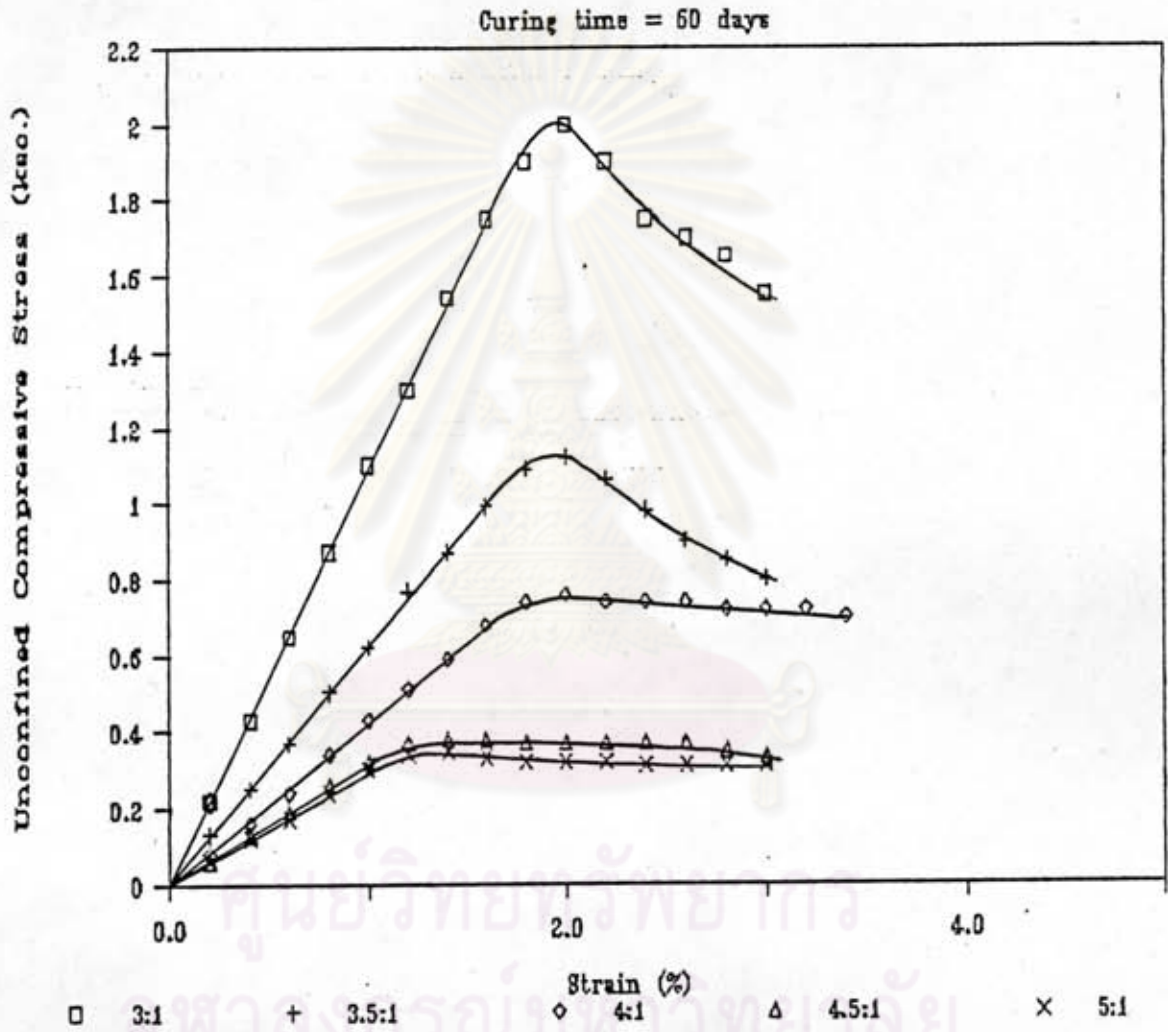
รูปที่ ก.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain (โดยเฉลี่ย) เมื่อระยะเวลาบ่มเท่ากับ 7 วัน



รูปที่ ก.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain (โดยเฉลี่ย) เมื่อระยะเวลาบ่มเท่ากับ 14 วัน



รูปที่ ก.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain (โดยเฉลี่ย) เมื่อระยะเวลาบ่มเท่ากับ 28 วัน



รูปที่ ก.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress-strain (โดยเฉลี่ย) เมื่อระยะเวลาบ่มเท่ากับ 60 วัน

B.S:C	Curing Time (days)														
	7			14			28			50			100		
	k, x10 ⁻⁵ cm./sec.			k, x10 ⁻⁵ cm./sec.			k, x10 ⁻⁵ cm./sec.			k, x10 ⁻⁵ cm./sec.			k, x10 ⁻⁵ cm./sec.		
	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.
3:1	6.1	5.9	6.0	4.4	4.8	4.6	3.4	3.6	3.5	2.1	2.2	2.2	1.7	1.6	1.7
3.5:1	8.5	8.6	8.6	8.1	7.9	8.0	7.0	6.5	6.8	5.9	5.4	5.7	4.8	5.0	4.9
4:1	11.4	10.6	11.0	10.5	9.7	10.1	9.4	9.1	9.3	8.5	7.9	8.2	7.0	7.4	7.2
4.5:1	13.9	14.5	14.2	12.4	13.3	12.9	13.5	13.0	13.3	10.1	11.5	10.8	8.7	8.1	8.4
5:1	12.8	13.4	13.1	14.0	13.6	13.8	12.7	12.1	12.4	11.7	12.0	11.9	10.8	11.8	11.3

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ของวัสดุผสมซีเมนต์-เบร็กแทนท์
 (ความดันของน้ำก่อนผ่านก๊อตัวต่าง (back pressure) = 0.3 ksc.,
 ความดันของน้ำรอบตัวต่าง (cell pressure) = 0.35 ksc., i=70)

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์

(ความดันของน้ำก่อนผ่านก้อนตัวอย่าง (back pressure) = 0.2 ksc.,

ความดันของน้ำรอบตัวอย่าง (cell pressure) = 0.25 ksc., $i=50$)

B.S:C	Curing Time (days)								
	7			14			28		
	k, $\times 10^{-5}$ cm./sec.			k, $\times 10^{-5}$ cm./sec.			k, $\times 10^{-5}$ cm./sec.		
	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.
3:1	4.1	4.0	4.1	3.0	3.4	3.2	2.9	3.0	3.0
3.5:1	5.8	5.7	5.8	5.1	5.5	5.3	4.0	4.6	4.3
4:1	9.2	8.9	9.0	9.0	8.6	8.8	7.9	8.0	8.0
4.5:1	9.7	10.1	9.9	8.8	9.2	9.0	8.7	8.8	8.8
5:1	10.0	10.2	10.1	9.2	9.8	9.5	9.0	8.4	8.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนท์
 (ความดันของน้ำก่อนผ่านกั้นตัวอย่าง (back pressure) = 0.1 ksc.,
 ความดันของน้ำรอบตัวอย่าง (cell pressure) = 0.2 ksc., $i=25$)

B.S:C	Curing Time (days)								
	7			14			28		
	k, $\times 10^{-5}$ cm./sec.			k, $\times 10^{-5}$ cm./sec.			k, $\times 10^{-5}$ cm./sec.		
	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.	no.1	no.2	Ave.
3:1	2.9	3.0	3.0	2.4	2.1	2.3	1.9	2.0	2.0
3.5:1	3.8	3.4	3.6	3.1	2.8	2.9	2.4	2.7	2.6
4:1	6.0	6.6	6.3	5.9	5.8	5.9	5.4	5.3	5.4
4.5:1	6.7	6.9	6.8	6.0	6.1	6.1	5.8	5.7	5.8
5:1	8.3	8.5	8.4	6.6	6.6	6.6	6.7	6.1	6.4

ภาคผนวก ข.

ข.1 การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางด้านแร่วิทยา X-ray diffraction

X-ray diffraction เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์ส่วนประกอบของแร่ที่เป็นผลึก โดยใช้รังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.01 ถึง 100 อังสตรอม ค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์จะมีความยาวประมาณ 0.5 ถึง 2.5 อังสตรอม

ข.1.1 การเกิดของรังสีเอกซ์

สารพวกกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ โดยทั่วไปจะให้รังสีเอกซ์ต่ำมากจึงไม่นิยมนำมาใช้ รังสีเอกซ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากการเร่งอิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูงวิ่งเข้าชนแผ่นโลหะที่ใช้ทำเป็นเป้า ซึ่งจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์การปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะมีความยาวคลื่นแปรเปลี่ยนไปตามพลังงานของอิเล็กตรอนที่ลดลง และคุณลักษณะของอะตอมของสารที่ใช้ทำเป้า ในทางปฏิบัติรังสีเอกซ์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้ curved crystal monochromator เพื่อทำให้มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว ความยาวคลื่นของ monochromatic radiation จะขึ้นกับสารที่ใช้ทำเป้า โดยความยาวคลื่นจะเป็น 0.71 อังสตรอม เมื่อใช้โมลิบดีนัม จนถึง 2.29 อังสตรอม เมื่อใช้โครเมียม แต่โดยทั่วไปในการวิเคราะห์พวกแร่ดินเหนียว นิยมใช้ทองแดง (Cu K α) ซึ่งจะมี ความยาวคลื่นเท่ากับ 1.54 อังสตรอม

ข.1.2 การสะท้อนของรังสีเอกซ์

เนื่องจากความยาวคลื่นประมาณ 1 อังสตรอม เป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับระยะห่างของ atomic plane ในสารที่มีโครงสร้างเป็นแบบผลึกทำให้รังสีเอกซ์มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก atomic plane กับรังสีเอกซ์จะมีพฤติกรรมต่อกันคล้ายกับการสะท้อนของแสงกล่าวคือเมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบกับโครงสร้างผลึก รังสีเอกซ์จะทะลุเข้าไปใน

โครงสร้างผลึกหลายล้านชั้น ก่อนที่จะถูกดูดซึม ที่แต่ละ atomic plane ลำของรังสีเอ็กซ์จะถูกดูดซึมโดยแต่ละอะตอมและจะเกิดการแกว่งและแผ่รังสีออกในทุกทิศทาง การแผ่รังสีในทิศทางที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการซ้อนและเสริมกันของคลื่น รังสีเอ็กซ์ที่เสริมกันนี้จะถูกดักจับด้วยฟิล์มหรือเครื่องมือวัดรังสี

รูปที่ ๒.1 แสดงการสะท้อนของลำรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่น เมื่อตกกระทบกับโครงสร้างของผลึก ทำมุม θ กับ atomic plane ที่ขนานและห่างกันเป็นระยะ d ถ้าการสะท้อนของคลื่นจากจุด C ไปเสริมกับคลื่นที่สะท้อนมาจาก A แล้ว ผลต่างของระยะทางของคลื่นทั้งสองจะเท่ากับผลรวมของความยาวคลื่น

ผลต่างของระยะทางคือ ระยะ $BC + CD$ ดังนั้น

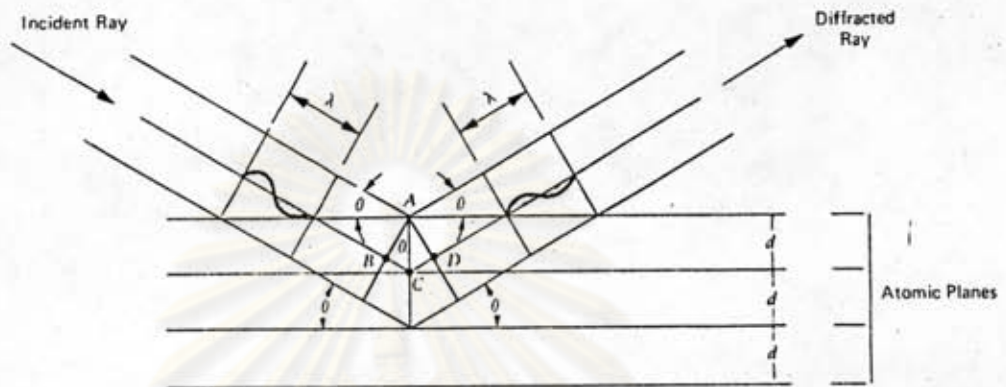
$$BC + CD = n\lambda$$

แต่ $BC = CD = d \sin \theta$

ดังนั้น $n\lambda = 2d \sin \theta$

ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า กฎของ Bragg ซึ่งเป็นกฎพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของผลึกเมื่อใช้ X-ray diffraction เนื่องจากระยะห่างระหว่าง atomic plane (d) ของแร่แต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากันดังนั้นมุมของรังสีสะท้อน θ จึงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของแร่ได้โดยเฉพาะแร่ดินเหนียว ตารางที่ ๒.1 แสดงการแปลงมุม θ ไปเป็นระยะห่างของ internal layer ตามกฎของ Bragg เมื่อสารที่ใช้เป็นทองแดง (Cu K α)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๒.1 Geometrical condition for X-ray diffraction according to Bragg's law

๒.1.3 การตรวจจับรังสีเอกซ์ที่สะท้อนออกมา

วิธีที่นิยมใช้ในการตรวจจับปริมาณรังสีเอกซ์ที่สะท้อนออกมา คือวิธี Geiger-Muller Counting Tube เพราะสะดวกและรวดเร็ว กล่าวคือความเข้มของรังสีเอกซ์ที่สะท้อนออกมาจะถูกจับโดยตรง และส่งสัญญาณไปยังเครื่องบันทึกผล แสดงออกเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์กับมุม θ ดังแสดงตามรูปที่ ๒.2 นอกจากนี้ลักษณะของ peak ที่ได้ยังบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของผลึกด้วย กล่าวคือถ้าผลึกไม่สมบูรณ์ชัดเจนจะทำให้ peak ที่ได้มีลักษณะไม่แหลมคม การตรวจจับรังสีเอกซ์ที่สะท้อนออกมาจะแสดงถึงค่า θ ของความเข้มที่สูงสุด ซึ่งจะต้องแปลงกลับเป็นระยะห่างระหว่าง atomic plane (d) โดยใช้กฎของ Bragg

๒.1.4 การเตรียมตัวอย่างคิน

การเตรียมตัวอย่างคินสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธี X-ray diffraction มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. Random powder technique เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างคินที่บดละเอียด แต่ไม่ให้อนุภาคคินแตกตัว โดยทั่วไปใช้ตัวอย่างคินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีนี้นิยมใช้วิเคราะห์แร่ที่มีลักษณะเด่นตามธรรมชาติ เช่น แร่ควอตซ์ เฟลสปาร์ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะคินขนาดเล็กทำให้การสะท้อนของรังสีเอ็กซ์เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ชัดเจน การยัดตัวอย่างที่เตรียมแบบ random powder นี้ สามารถทำให้ 2 วิธี คือ

1.1 Rod method ทำโดยนำตัวอย่างคินที่เตรียมมาปั้นให้เป็นแท่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.3 ถึง 0.5 มม. โดยใช้ตัวประสานพวก Gum tragacanth ซึ่งตัวประสานนี้จะมีผลเล็กน้อยต่อรังสีเอ็กซ์

1.2 Wedge method ทำโดยนำตัวอย่างคินที่เป็นผงละเอียดอัดใส่เข้าในกรอบโดยใช้แผ่นแก้วกดทับให้ผิวหน้าเรียบ วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้มากกว่าวิธีแรก เนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว

2. Oriented aggregate technique เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างคินที่มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคคินเห็นยาวลงไป (0.002 มม.) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยละลายตัวอย่างคินที่เป็นผงละเอียดในน้ำ โดยใช้ deflocculating agent ช่วยในการแยกตัวเป็นอิสระของอนุภาคคิน จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการตกตะกอนและขนาดของอนุภาคคิน สามารถแยกเอาอนุภาคคินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มม. ออกและหยดลงบนแผ่นแก้ว อนุภาคคินจะตกตะกอนในขณะที่น่าเริ่มระเหยออกไป และจะมีการจัดเรียงตัวแบบขนานกัน ทำให้รังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนออกจากระนาบ (001) มีความเข้มมากขึ้น ส่วนระนาบอื่น ๆ จะสะท้อนรังสีเอ็กซ์ได้น้อยลง การเตรียมตัวอย่างโดยวิธีนี้นิยมใช้ในการวิเคราะห์แร่คินเห็นยาวอย่างละเอียด

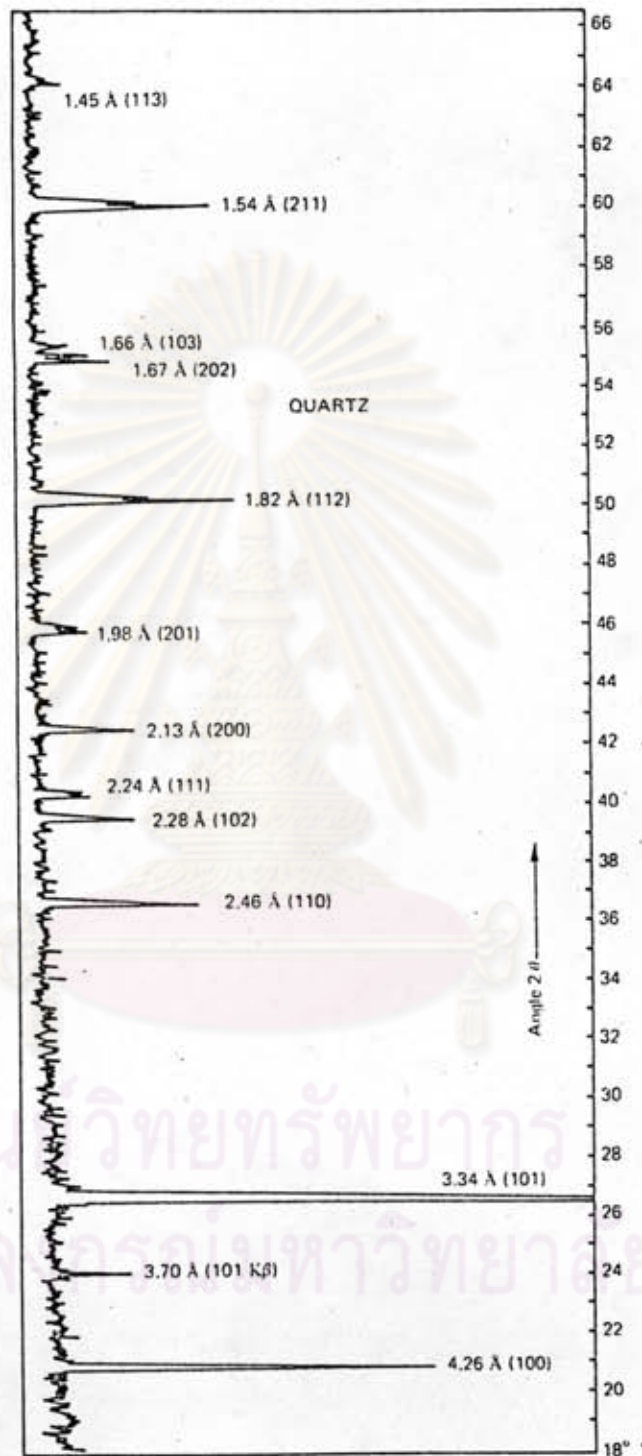
ข.1.5 การวิเคราะห์หาชนิดของแร่

การวิเคราะห์หาชนิดของแร่สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกับแร่มาตรฐาน (standard mineral) โดยพิจารณาเปรียบเทียบค่า d ของ peak ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกับค่า d มาตรฐานของแร่บริสุทธิ์ซึ่งได้มีการศึกษาและรวบรวมไว้แล้ว ตารางที่ ข.2, ข.3, ข.4 และ ข.5 เป็นตารางที่สรุปค่า d มาตรฐานสำหรับแร่ดินเหนียว แร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวที่พบในส่วนประกอบดินทั่วไป และแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ ตามลำดับ

ข.1.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของแร่แต่ละชนิด

นอกเหนือจากการวิเคราะห์หาชนิดของแร่ที่เป็นส่วนประกอบในตัวอย่างดินแล้ว วิธี x-ray diffraction ยังสามารถใช้ในการประเมินปริมาณของแร่ นั้น ๆ ได้อีกด้วย โดยใช้หลักการที่ว่าความเข้ม (ความสูง) หรือพื้นที่ใต้ diffraction peak จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของแร่ในตัวอย่างดิน เมื่อเปรียบเทียบกับ pattern มาตรฐาน ก็จะสามารถหาปริมาณได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๓.๒ X-ray diffraction pattern

ตารางที่ ๒.1 Determination of interplanar spacing d from Bragg's law

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

$$\text{CuK}\alpha, \lambda = 1.5405, \text{ \AA}$$

θ	0' (0)	6' (0.1)	12' (0.2)	18' (0.3)	24' (0.4)	30' (0.5)	36' (0.6)	42' (0.7)	48' (0.8)	54' (0.9)
0		441.32	220.66	147.11	110.33	88.265	73.555	63.048	55.167	49.038
1	44.134	40.123	36.779	33.950	31.526	29.425	27.586	25.964	24.521	23.230
2	22.069	21.020	20.065	19.193	18.393	17.658	16.980	16.351	15.767	15.224
3	14.717	14.243	13.798	13.380	12.987	12.617	12.268	11.937	11.623	11.325
4	11.042	10.773	10.517	10.273	10.040	9.8172	9.6043	9.4004	9.2050	9.0176
5	8.8377	8.6648	8.4936	8.3387	8.1847	8.0363	7.8933	7.7553	7.6220	7.4932
6	7.3688	7.2485	7.1320	7.0192	6.9100	6.8042	6.7016	6.6021	6.5054	6.4115
7	6.3203	6.2317	6.1456	6.0619	5.9804	5.9011	5.8239	5.7487	5.6755	5.6041
8	5.5345	5.4666	5.4004	5.3358	5.2727	5.2111	5.1510	5.0922	5.0347	4.9785
9	4.9236	4.8700	4.8176	4.7663	4.7161	4.6669	4.6187	4.5715	4.5253	4.4800
10	4.4357	4.3923	4.3497	4.3079	4.2669	4.2267	4.1873	4.1486	4.1106	4.0733
11	4.0367	4.0008	3.9656	3.9310	3.8970	3.8635	3.8306	3.7983	3.7666	3.7354
12	3.7947	3.6745	3.6448	3.6156	3.5869	3.5587	3.5309	3.5036	3.4767	3.4502
13	3.4241	3.3984	3.3731	3.3482	3.3237	3.2995	3.2757	3.2522	3.2291	3.2063
14	3.1839	3.1618	3.1400	3.1185	3.0973	3.0764	3.0558	3.0354	3.0153	2.9955
15	2.9760	2.9567	2.9377	2.9190	2.9005	2.8822	2.8642	2.8464	2.8289	2.8116
16	2.7945	2.7776	2.7609	2.7444	2.7281	2.7120	2.6961	2.6804	2.6649	2.6496
17	2.6345	2.6196	2.6048	2.5902	2.5758	2.5615	2.5474	2.5334	2.5196	2.5060
18	2.4926	2.4793	2.4661	2.4531	2.4402	2.4274	2.4148	2.4024	2.3901	2.3779
19	2.3659	2.3540	2.3422	2.3305	2.3189	2.3075	2.2962	2.2850	2.2739	2.2629
20	2.2520	2.2412	2.2306	2.2201	2.2097	2.1994	2.1892	2.1790	2.1690	2.1591
21	2.1493	2.1396	2.1299	2.1204	2.1110	2.1017	2.0924	2.0832	2.0741	2.0651
22	2.0562	2.0473	2.0385	2.0298	2.0213	2.0128	2.0044	1.9960	1.9877	1.9795
23	1.9713	1.9632	1.9552	1.9473	1.9394	1.9316	1.9239	1.9163	1.9087	1.9012
24	1.8938	1.8864	1.8790	1.8717	1.8645	1.8574	1.8503	1.8433	1.8363	1.8294
25	1.8226	1.8158	1.8091	1.8024	1.7958	1.7892	1.7826	1.7761	1.7697	1.7634
26	1.7571	1.7508	1.7446	1.7384	1.7323	1.7262	1.7202	1.7143	1.7084	1.7025
27	1.6967	1.6909	1.6851	1.6794	1.6737	1.6681	1.6625	1.6570	1.6515	1.6461
28	1.6407	1.6353	1.6300	1.6247	1.6195	1.6143	1.6091	1.6040	1.5989	1.5938
29	1.5887	1.5837	1.5788	1.5739	1.5690	1.5642	1.5594	1.5546	1.5499	1.5452
30	1.5405	1.5358	1.5312	1.5266	1.5221	1.5176	1.5131	1.5087	1.5043	1.4999

ตารางที่ ๓.๒ X-ray diffraction data for clay minerals

Mineral	Basal d Spacings (001)	Glycolation Effect (1 hr, 60°C)	Heating Effect (1 hr)
Kaolinite	7.15 Å (001); 3.75 Å (002)	No change	Becomes amorphous 550–600°C
Kaolinite, disordered	7.15 Å (001) broad; 3.75 Å broad	No change	Becomes amorphous at lower temperatures than kaolinite
Halloysite, 4H ₂ O (hydrated)	10 Å (001) broad	No change	Dehydrates to 2H ₂ O at 110°C
Halloysite, 2H ₂ O (dehydrated)	7.2 Å (001) broad	No change	Dehydrates at 125–150°C; becomes amorphous 560–590°C
Mica	10 Å (002); 5 Å (004) generally referred to as (001) and (002)	No change	(001) becomes more intense on heating but structure is maintained to 700°C
Illite	10 Å (002), broad, other basal spacings present but small	No change	(001) noticeably more intense on heating as water layers are removed; at higher temperatures like mica
Montmorillonite group	15 Å (001) and integral series of basal spacings	(001) expands to 17 Å with rational sequence of higher orders	At 300°C (001) becomes 9 Å
Vermiculite	14 Å (001) and integral series of basal spacings	No change	Dehydrates in steps
Chlorite, Mg-form	14 Å (001) and integral series of basal spacings	No change	(001) increases in intensity; <800°C shows weight loss but no structural change
Chlorite, Fe-form	14 Å (001) less intense than in Mg-form; integral series of basal spacings	No change	(001) scarcely increases; structure collapses below 800°C
Mixed-layer minerals	<i>Regular</i> , one (001) and integral series of basal spacings <i>Random</i> , (001) is addition of individual minerals and depends on amount of those present	No change unless an expandable component is present Expands if montmorillonite is a constituent	Various, see descriptions of individual minerals Depends on minerals present in interlayered mineral
Attapulgite (palygorskite)	High intensity d reflections at 10.5 Å, 4.5 Å, 3.23 Å, 2.62 Å	No change	Dehydrates stepwise (see description)
Sepiolite	High intensity reflections at 12.6 Å, 4.31 Å, 2.61 Å	No change	Do
Amorphous clay, allophane	No d reflections	No change	Dehydrates and loses weight

ตารางที่ ๓.๓ x-ray diffraction spacing obtained from (001) plane of layer-silicate species as related to sample treatment

Diffraction spacing (°A)	Mineral (or minerals) indicated
	<u>Ma-saturated, air-dried</u>
14 - 15	Montmorillonite, vermiculite, chlorite
9.9 - 10.1	Mica (Illite), halloysite
7.2 - 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, Chlorite (2nd - order max)
	<u>Ma-saturated, glycerol-solvated</u>
17.7 - 18.0	Montmorillonite
14 - 15	Vermiculite, chlorite
10.8	Halloysite
9.9 - 10.1	Mica (Illite)
7.2 - 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd - order max)
	<u>K-saturated, air-dried</u>
14 - 15	Chlorite, vermiculite
12.4 - 12.8	Montmorillonite
9.9 - 10.1	Mica (Illite), halloysite, vermiculite
7.2 - 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd - order max)
	<u>K-saturated, heated (500 C)</u>
14	Chlorite
9.9 - 10.1	Mica, Vermiculite, montmorillonite
7.15	Chlorite (2nd - order max)

ตารางที่ ๓.๔ X-ray diffraction data for clay minerals and common
nonclay minerals

$d(\text{Å})$	Mineral ^b	$d(\text{Å})$	Mineral ^b
14	<i>Mont. (VS) Chl. Verm. (VS)</i>	2.93-3.00	Felds.
12	<i>Sepiolite, heated corrensitite</i>	2.89-2.90	Carb.
10	<i>Illite, Mica(S)</i>	2.86	Felds.
9.23	Heated Verm.	2.84	Carb. <i>Chl.</i>
7	<i>Kaol.(S). Chl.</i>	2.84-2.87	<i>Chl.</i>
6.90	<i>Chl.</i>	2.73	Carb.
6.44	Attapulgitite	2.61	Attapulgitite
6.39	<i>Felds.</i>	2.60	Verm., Sepiol.
4.90-5.00	<i>10Å (2nd)</i>	2.56	Illite (VS), Kaol.
4.70-4.79	<i>Chlor. (S)</i>	2.53-2.56	Chlor., Felds., Mont.
4.60	Sepiol., Verm. (S)	2.49	Kaol. (VS)
4.45-4.50	Illite (VS)	2.46	Quartz, heated Verm.
4.46	Kaol.	2.43-2.46	Chlorite
4.36	Kaol.	2.39	<i>Verm., Illite</i>
4.26	Quartz (S)	2.38	<i>Kaol.</i>
4.18	Kaol.	2.34	Kaol. (VS)
4.02-4.04	Felds.(S)	2.29	Kaol. (VS)
3.85-3.90	Felds.	2.28	Quartz, Sepiol.
3.82	Sepiol.	2.23	Illite, Chl.
3.78	Felds.	2.13	Quartz, Mica
3.67	Felds.	2.05-2.06	Kaol. (WK)
3.58	Carbonate, Chl.	1.99-2.00	<i>Mica, Illite(S), Kaol. Chl.</i>
3.57	<i>Kaol. (VS), Chl.</i>	1.90	Kaol.
3.54-3.56	Verm.	1.83	Carb.
3.50	Felds., Chlor.	1.82	Quartz
3.40	Carb.	1.79	Kaol.
3.34	Quartz (VS)	1.68	Quartz
3.32-3.35	<i>Illite (VS)</i>	1.66	Kaolin
3.30	Carb.	1.62	Kaolin
3.23	Attapulgitite	1.54B	Verm. (S), Quartz
3.21	Felds.	1.55	Quartz
3.20	Mica	1.58	Chl.
3.19	<i>Felds. (VS)</i>	1.53	Verm., Illite (Trioctahed)
3.05	Mont.	1.50	Ill. (S), Kaol.
3.04	Carb. (VS)	1.48-1.50	Kaol. (VS), Mont.
3.02	Felds.	1.45B	Kaol.
3.00	Heated Verm.	1.38	Quartz, Chl.
2.98	Mica (S)	1.31, 1.34, 1.36	Kaol. (B)

* *Italics: (001) spacing.*

^b (B) = broad; (S) = strong; (VS) = very strong; (WK) = weak; Mont. = Montmorillonite; Chl. = Chlorite; Verm. = Vermiculite; Kaol. = Kaolinite; Carb. = Carbonate; Felds. = Feldspar; Sepiol. = Sepiolite.

ตารางที่ 1.5 X-ray diffraction data for cement

The values of I represent relative intensity.

The d values for the spacings are given in Å, Angstrom units, the intensities are on an arbitrary numerical scale, 10 being the strongest and 1 the weakest. Where it is known that doublets would be shown by using a camera of very high resolving power (such as the Guinier camera), the lines are marked with an asterisk. The three strongest lines are underlined. This symbol B indicates a broad line

Calcium silicate hydrate. (I) [9]		Calcium silicate hydrate (II) [9]		Ca(OH) ₂ [1]		3CaO, SiO ₂ [2]		Alite [2]		B 2CaO, SiO ₂ [5]	
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I
<u>2.14</u>	10	<u>2.20</u>	9	<u>4.300</u>	7	5.301	4	<u>3.361</u>	3	4.920	1
<u>3.06</u>	10	4.90	2	3.112	2	3.362	3	3.517	1	4.645	1
<u>2.31</u>	8	<u>3.07</u>	10	<u>2.528</u>	10	3.510	2	3.334	2	3.790	3
1.83	8	2.85	5	2.447	1	3.346	2	3.144	2	3.380	1
1.67	4	<u>2.30</u>	9	1.927	4	3.227	1	3.022	8	3.335	1
1.53	2	2.40	4	<u>1.796</u>	4	3.022	8	2.959	6	3.090	1
1.40	4	2.20	1	1.687	2	2.957	6	2.980	2	3.040	2
1.17	1	2.10	1	1.634	1	2.891	3	2.804	1	2.974	2*
1.11	2	2.00	6	1.557	1	2.818	1	<u>2.764</u>	10	<u>2.778</u>	10*
1.07	1	1.83	9	1.434	2	<u>2.776</u>	10	2.739	9	<u>2.740</u>	10*
This is the data for the poorly crystalline material. The long spacing can vary considerably and may also be undetected.		1.72	1	1.449	2	2.730	8	2.682	3	2.714	1
		1.62	1	1.314	1	2.670	1	<u>2.592</u>	9	<u>2.607</u>	10
		1.56	5	1.229	1	<u>2.602</u>	10	2.436	3	2.544	3
		1.40	4	1.211	1	2.549	1	2.313	6	2.448	4*
		1.225	3	1.762	1	2.449	3	2.178	9	2.403	4
		1.165	3	1.1432	2	2.326	6	2.172	6	2.279	3
		1.100	1	1.1275	1	2.304	5	2.089	1	2.189	6*
		1.045	2	1.0599	2	2.277	2	2.060	1	1.163	4
		1.025	1	1.0366	1	2.234	1	2.028	1	2.128	1
		1.000	1	1.0143	2	<u>2.185</u>	10	1.973	5	2.088	1*
						2.159	1	1.928	6	2.044	2
						2.125	3	1.831	5	2.019	1
						2.083	4	1.819	5	1.982	7
						2.045	2	1.799	2	1.911	1
						2.011	1	1.761	9	1.892	4
						1.979	6/B	1.689	2	1.844	1
						<u>1.940</u>	7	<u>1.640</u>	2	1.806	2
						1.926	6	1.623	8	1.787	2
						1.900	2/B	1.537	6	1.763	1
						1.363	1	1.522	2	1.706	3
						1.325	6/B	1.485	9	1.632	7
						1.797	3			1.606	4
						1.771	9(1)			1.587	2
						1.752	8(1)			1.573	2
						1.642	2			1.550	1 B
						1.632	8			1.523	4
						1.623	6			1.483	3
						1.543	6			1.448	1
						1.526	2			1.427	1
						1.513	2			1.416	1
						1.497	6			1.406	1
						1.481	6			1.393	1

Pure 3CaO, SiO₂ can be distinguished from Alite since at (1) it gives doublets instead of single lines.

ภาคผนวก ค.

ค.1 ตัวอย่างการคำนวณหาความลึกของการขุดดินที่กำลังของวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนด์ที่จะสามารถรับได้

สมมติใช้วัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนด์ อัตราส่วนผสม 3 : 1 ($q_u = 20 \text{ t/m}^2$)
ดินเหนียวมีค่า K_0 เท่ากับ 0.6 unit weight (γ_s) มีค่าเท่ากับ 1.6 t/m^3
surcharge (q) มีค่าเท่ากับ 5 ton/m^2 ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับผิวดิน adhesion
factor ระหว่างวัสดุผสมซีเมนต์-เบนโทไนด์กับ diaphragm wall มีค่าเท่ากับ 0.6

จากรูปที่ 1.1.ข ความกว้างของรอยต่อเท่ากับ 0.3 ม. ความหนาของวัสดุรอยต่อ
ซีเมนต์-เบนโทไนด์ ทั้งหมดเท่ากับ 0.60 ม. โดยมีความหนาส่วนที่สัมผัสกับผนัง diaphragm
wall เท่ากับ 0.40 ม.

1.) หน่วยแรงดันด้านข้างของดินที่กระทำกับรอยต่อ

$$\begin{aligned} \Delta_h &= K_0 \Delta_v + (1 - K_0) U \\ &= K_0 (\gamma_s H + q) + (1 - K_0) \gamma_s H \end{aligned}$$

แทนค่า K_0, γ_s, q จะได้

$$\Delta_h = 1.36 H + 3 \quad \text{t/m}^2$$

2.) ผลรวมของแรงในแนวราบมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} &(0.6)(10/F.S)(H-Z)(0.4)(2) + (1/2)(0.6)(10/F.S)(Z)(0.4)(2) \\ &+ (10/F.S)(H-Z)(0.2)(2) + (1/2)(10/F.S)(Z)(0.2)(2) + \\ &(10/F.S)(0.6)(0.3) = (1/2)(1.36 H+6)(H)(0.3) \dots (1) \end{aligned}$$

3.) ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดยอดของรอยต่อมีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้

$$\begin{aligned}
 & (0.6)(10/F.S)(H-Z)(0.4)(2)[Z + (H-Z)/2] + \\
 & (1/2)(0.6)(10/F.S)(Z)(0.4)(2)(2Z/3) + \\
 & (10/F.S)(H-Z)(0.2)(2)[Z + (H-Z)] + \\
 & (1/2)(10/F.S)(Z)(0.2)(2)(2Z/3) + (10/F.S)(0.6)(0.3)(H) \\
 & = (1/2)(1.36H)(H)(0.3)(2Z/3) + 3(H)(0.3)(H/2) \dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

แก้สมการที่ (1) และ (2) โดยวิธี trial and error โดยค่า F.S เท่ากับ 1.0 จะได้

$$H = 24.95 \text{ ม.} \quad Z = 16.34 \text{ ม.}$$

ผลการคำนวณหาค่า H และ Z สำหรับวัสดุรอยต่อซีเมนต์-เบรโทไนท์ที่มีอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กัน โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) แสดงไว้ในตารางที่ ค.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ค่า H และ Z ของวัสดุรอยต่อซีเมนต์-เบนโทไนท์ อัตราส่วนต่าง ๆ
หน่วยเป็นเมตร

อัตราส่วนผสม	α	$q = 2t/m^2$					
		F.S = 1.0		F.S = 1.25		F.S = 1.50	
		H	Z	H	Z	H	Z
3 : 1	0.6	25.30	19.26	20.40	15.00	17.10	12.17
3.5 : 1	0.8	15.10	10.57	12.15	8.06	10.15	6.41
4 : 1	0.9	9.75	6.19	7.75	4.63	6.45	3.57
4.5 : 1	1.0	6.95	3.90	5.50	2.81	4.50	2.11
5 : 1	1.0	5.10	2.56	4.00	1.77	3.25	1.26

อัตราส่วนผสม	α	$q = 5t/m^2$					
		F.S = 1.0		F.S = 1.25		F.S = 1.50	
		H	Z	H	Z	H	Z
3 : 1	0.6	24.95	16.34	19.85	12.20	16.40	9.47
3.5 : 1	0.8	14.30	7.95	11.15	5.63	9.00	4.14
4 : 1	0.9	8.60	3.93	6.50	2.56	5.05	1.72
4.5 : 1	1.0	5.55	2.00	4.00	1.15	3.05	0.60
5 : 1	1.0	3.70	0.90	2.50	0.40	1.70	0.17



ประวัติผู้เขียน

นายชนะ พงษ์ไพฑูกร เกิดเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2509 จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2530 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหา- บัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2531 ปัจจุบันทำงานอยู่ที่การประปานครหลวง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย