

Physical Properties of Rocks

Department of Geotechnology
Faculty of Technology, KKU

Associate Prof. Ladda Wannakao

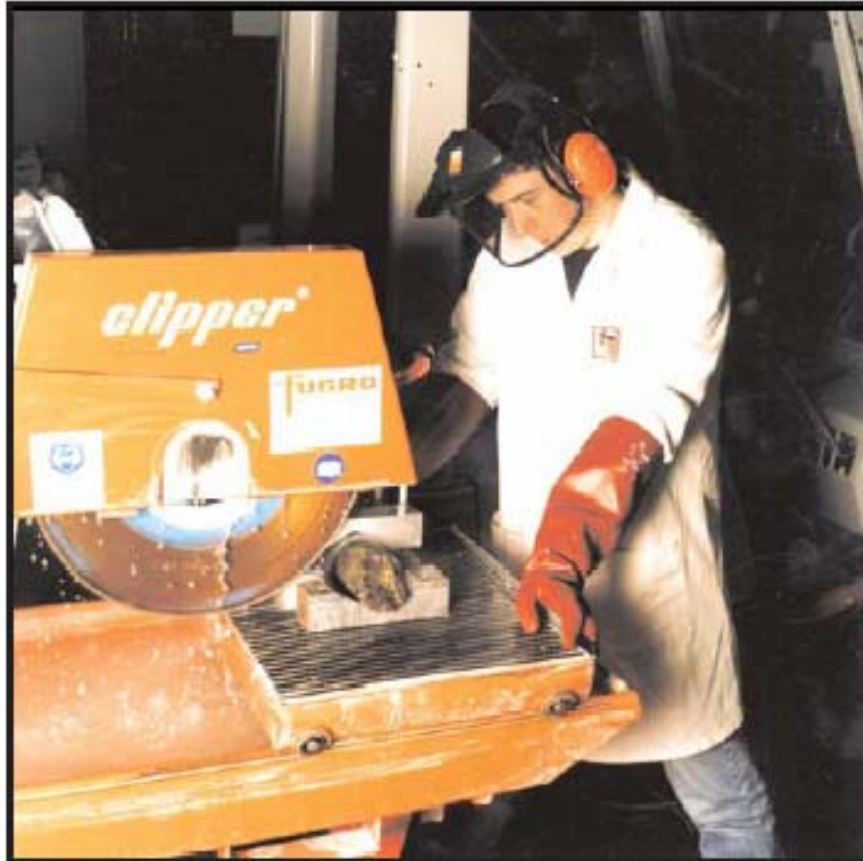


ตารางที่ แสดงสมบัติของกลุ่มหินตามลักษณะเนื้อ

กลุ่มหิน	ชนิดหิน	สมบัติของหิน
1.เนื้อผลึก		
1.1 เนื้อแร่ละลายได้	หินตะกอนจากสารละลายเข้มข้น เช่น หินปูน เปลือกหิน ยิปซัม	ค่อนข้างแข็งและเปราะ จะแสดง พฤติกรรมแบบพลาสติกที่ภาวะ ความดันล้อมขนาดปานกลาง เนื่องจากเกิด Intracrystalline gliding
1.2 เนื้อแร่กลุ่มซิลิเกต	หินอัคนีแทรกซอนเนื้อหยาบ เช่น แกรนิต ไดโอไรต์ หรือพวกหิน ภูเขาไฟเนื้อละเอียด เช่น บะซอลต์	มีความแข็งแรงสูงและเปราะและ แสดงพฤติกรรม แบบอีลาสติก เว้นแต่พวกหินภูเขาไฟที่มีโพรง อากาศจะแข็งแรงน้อยกว่า
1.3 เนื้อแร่เป็นแผ่น เช่น ไมกา ทอลค์ คลอไรต์	หินแปร เช่น หินชีสต์ หินฟิลไลต์ หินเชอร์เพนทีน หินทอลค์	มีกำลังน้อยเนื่องจากเลื่อนไถล ตามเนื้อหินที่เป็นแผ่นได้ง่าย

กลุ่มหิน	ชนิดหิน	สมบัติของหิน
2. เนื้อเม็ดตะกอน		
2.1 แร่ประสานเป็นซิลิกาหรือเหล็กออกไซด์	หินทราย หินกรวดมน	แร่เชื่อมประสานค่อนข้างแข็งทำให้หินมีความแข็ง เปราะ
2.2 แร่ประสานละลายได้	หินกรวด หินทราย ที่มีแคลไซต์ โดโลไมต์ หรือ ยิปซัม เป็นแร่ประสาน	หินค่อนข้างแข็ง แต่จะสูญเสียกำลัง เมื่อแร่ประสานละลายไป
2.3 เชื่อมประสานโดยพันธะ ดินเหนียว	หินทรายร่วน หินทัฟ	หินค่อนข้างร่วนเนื่องจากพันธะดินเหนียวไม่ได้เกาะเกี่ยวกันแน่น
3. เนื้อเม็ดละเอียด	หินดินดาน หินโคลน หินชอล์ค	มีค่าความแข็งแรงแปรตาม ชนิดแร่เชื่อมประสาน แต่มักจะมีความคงทนต่ำเมื่ออยู่ในสภาพอิมเมอร์
4. หินเนื้ออินทรีย์	ถ่านหิน หินน้ำมัน ทรายถ่าน	มีความแข็งแรงแปรตามสภาพของหิน แต่มักมีรอยแตกในหินเป็นจำนวนมาก ส่วนทรายถ่าน จะมีการไหลที่อุณหภูมิหรือความดันสูง

อุปกรณ์การเตรียมตัวอย่าง

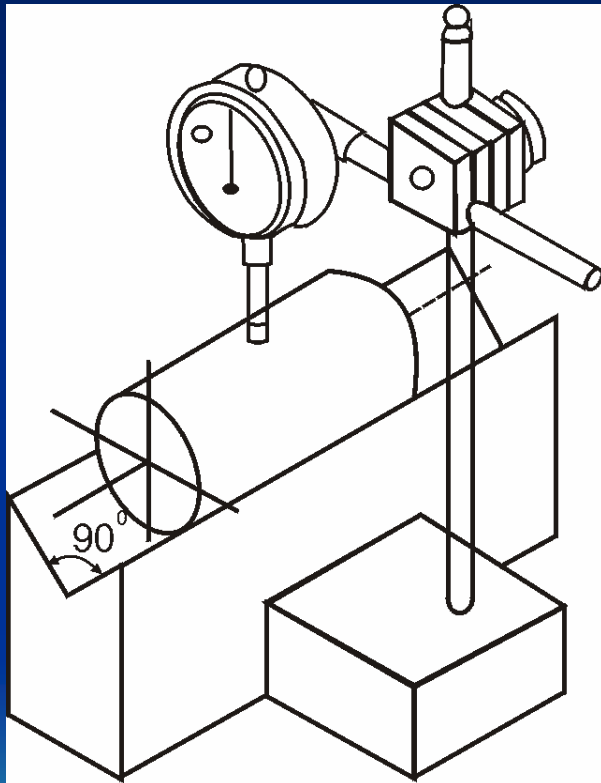


Rock Core Preparation

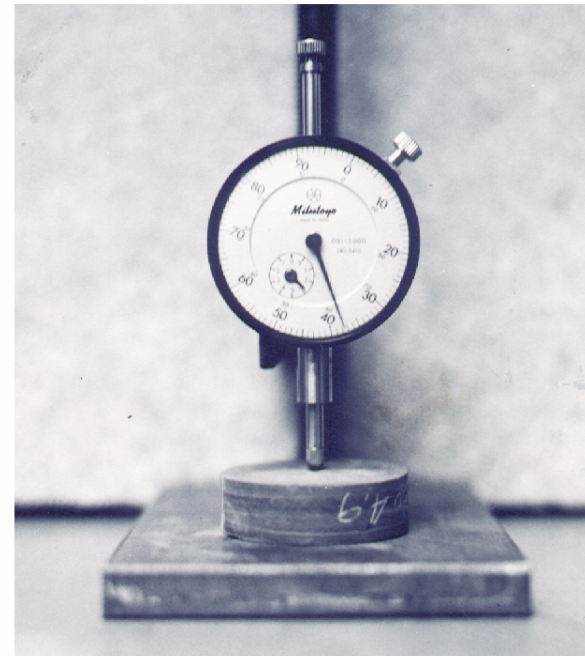


Tolerance Check Of Sample

อุปกรณ์การวัดมาตรฐานตัวอย่าง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4

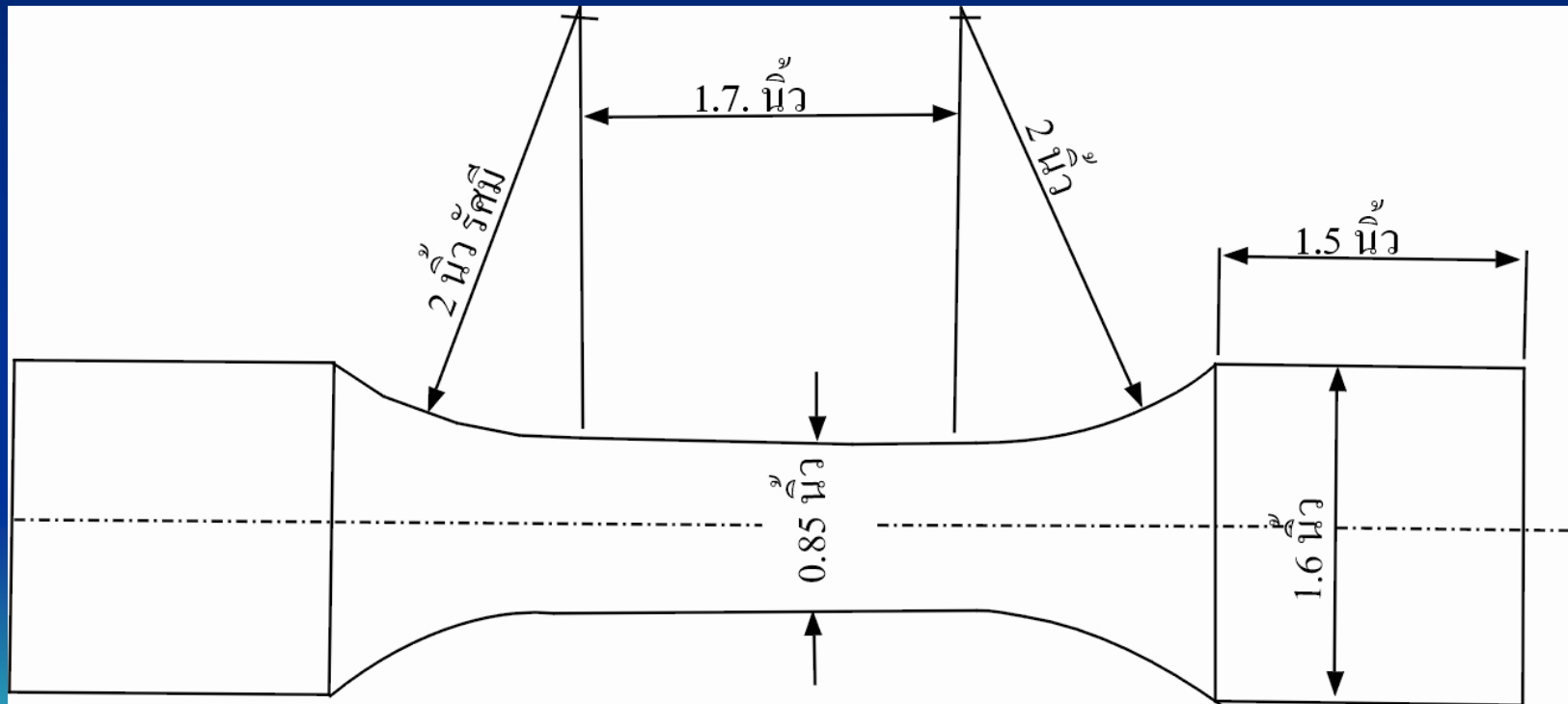
ตัวอย่างทรงกระบอก



ตัวอย่างทรงปริซึมเหลี่ยมพื้นผ้า

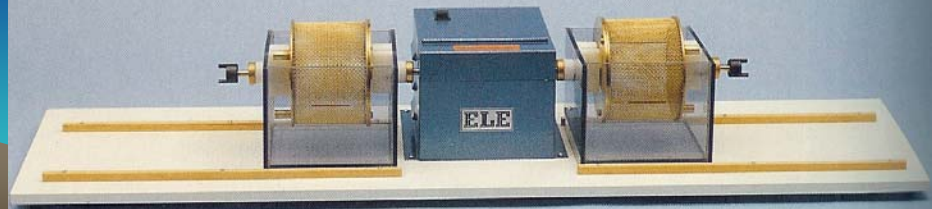
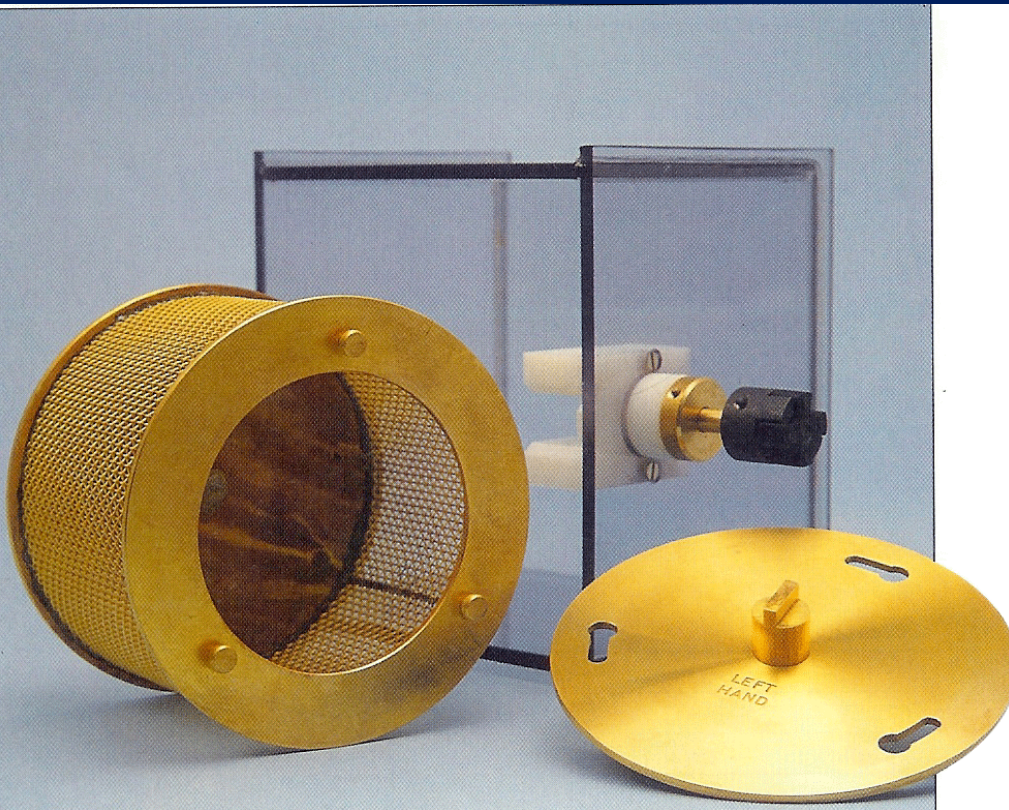


ตัวอย่างรูปกระดูกหมา (Dog Bone Shape)



Slake Durability Test

อุปกรณ์การทดสอบ



การคำนวณดัชนีการกร่อน

$$I_{d1} = \frac{W_r}{W_i} \times 100$$

- เมื่อ I_{d1} = ดัชนีความคงทนการกร่อนที่วงจรที่ 1
- W_r = น้ำหนักคงเหลือของหินตัวอย่าง
- W_i = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง

ตัวอย่างหินดินดานที่ผ่านการทดสอบรอบที่ 1 และ 2

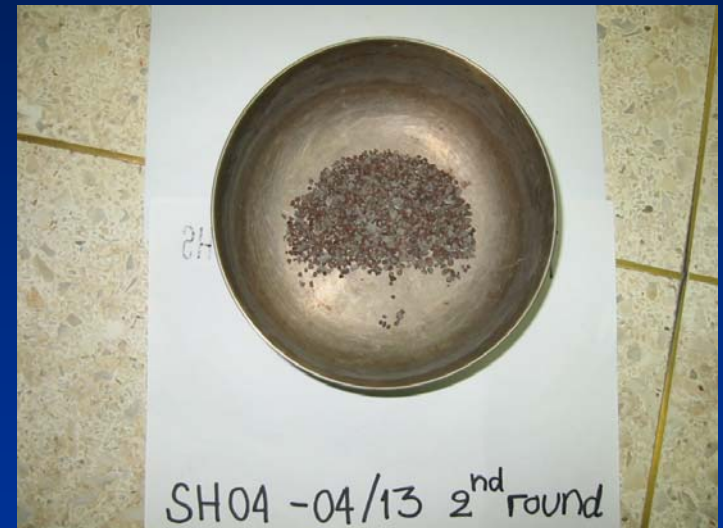
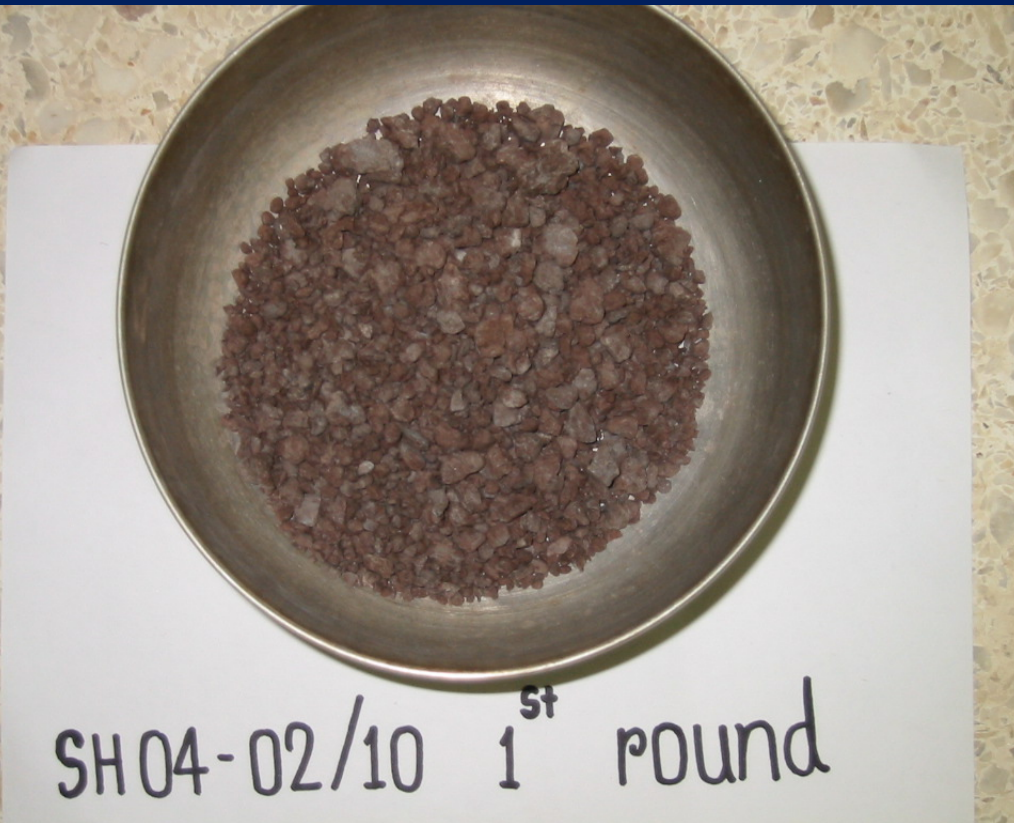


SH04-02/13 1st round



SH 04-02/13 2nd round.

ลักษณะการกร่อนที่ต่างกันในพื้นที่ดินดานจากแหล่งเดียวกัน



การจำแนกความคงทนการกร่อนของแอมเบิล

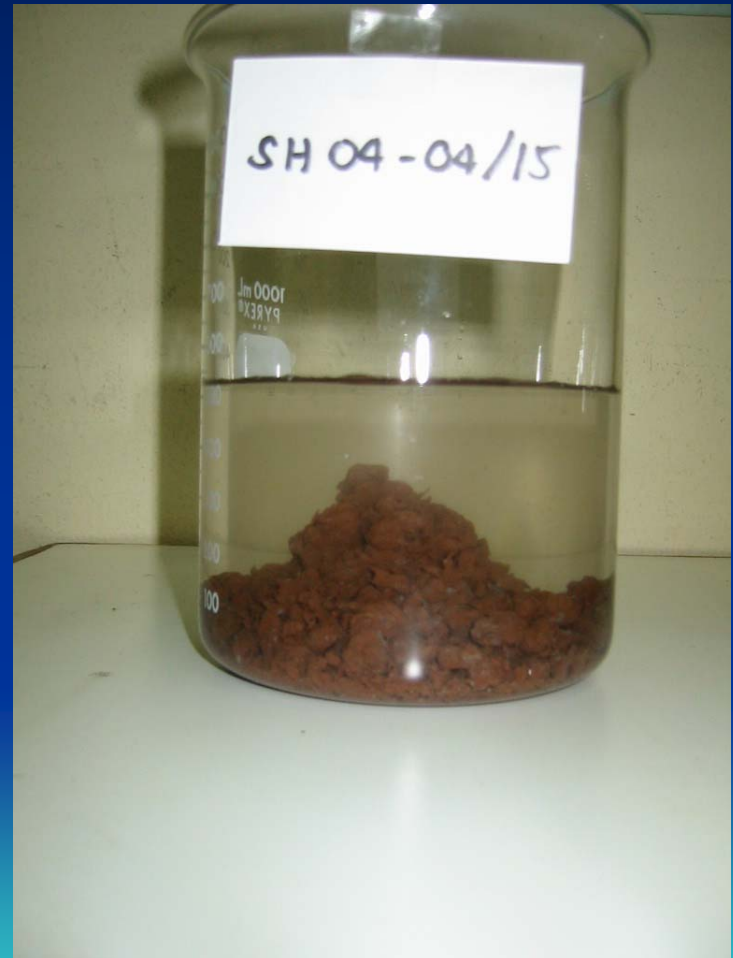
(Gamble' s Slake Durability Classification)

ความคงทนของหิน	I_{d1} %	I_{d2} %
มีความคงทนสูงมาก	> 90	> 98
มีความคงทนสูง	98-99	95-98
มีความคงทนค่อนข้างสูง	95-98	85-95
มีความคงทนปานกลาง	85-95	60-85
มีความคงทนต่ำ	60-85	30-60
มีความคงทนต่ำมาก	> 60	< 30

ตัวอย่างการหาดัชนีการกร่อน

ชนิดหิน และแหล่ง	I_{d1} %	I_{d2} %
หินทรายปนกรวด น้ำสาน จ.เลย	93.7	82.6
หินโคลนสีม่วง น้ำสาน จ.เลย	98.6	97.95
หินทรายแป้ง น้ำหมาน จ. เลย	86.2	65.8
หินโคลนเนื้อปูน ลำตะคอง จ. นครราชสีมา	75.5	44.6
หินโคลน ลำตะคอง จ.นครราชสีมา	91.9	84.17
หินโคลนเนื้อเหล็กออกไซด์ ลำตะคอง จ.นครราชสีมา	65.1	51.4
หินแกรนิตผุระดับII ภูสะนาว จ. เลย	98.6	97.2
หินทรายแป้งเนื้อปูน เขื่อนจุฬาภรณ์ จ.ชัยภูมิ	98.5	97.4

Colorado Jar Slake





Colorado Jar Slake

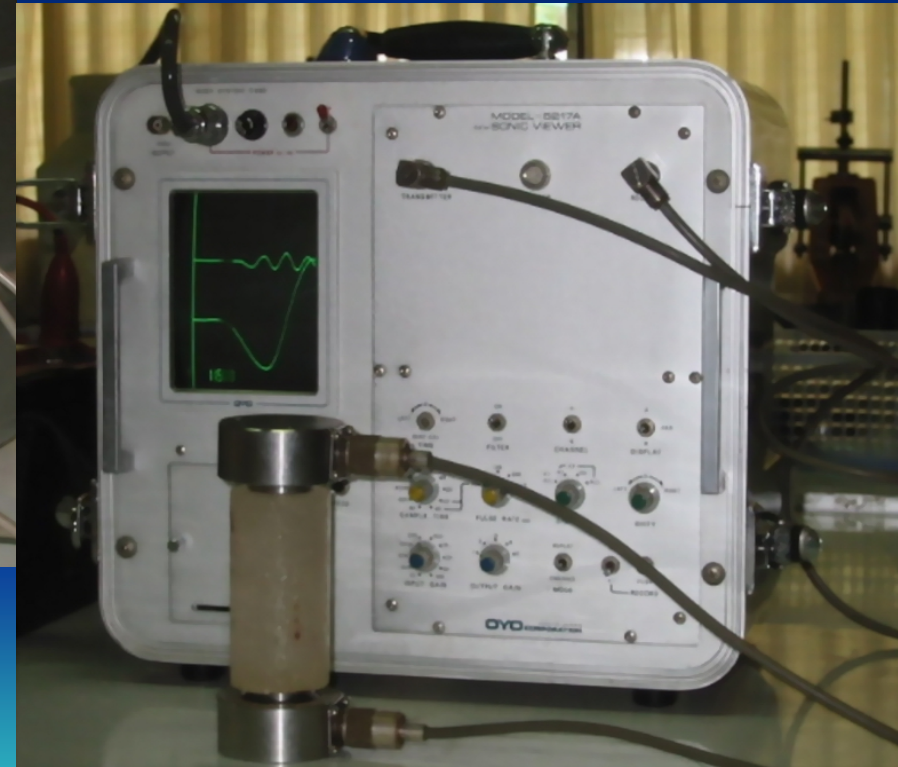
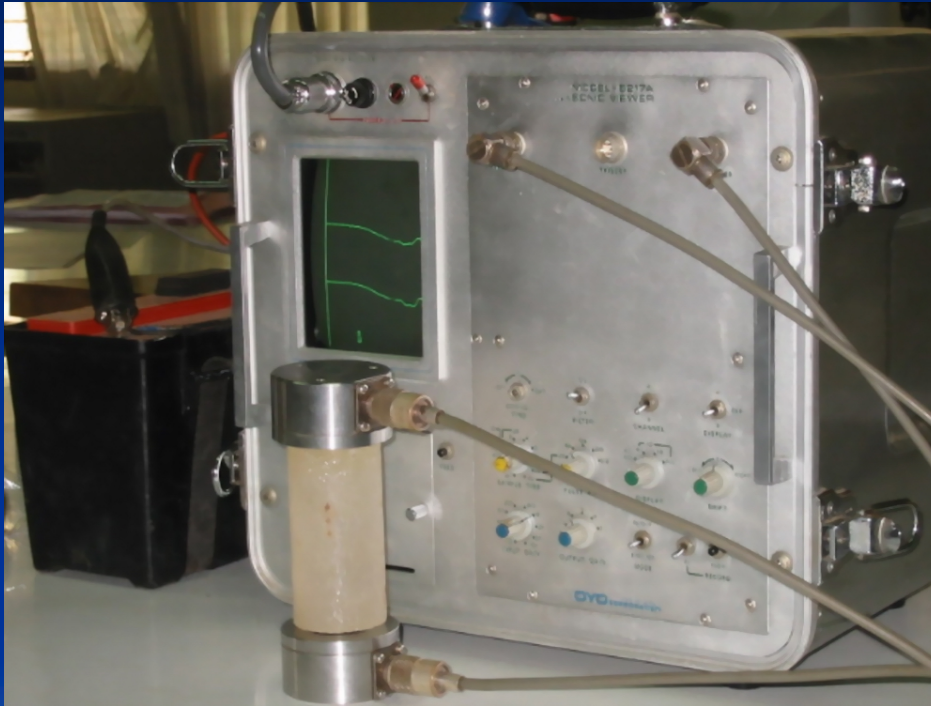
- นอกจากวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISRM หรือ ASTM D 4644-87 แล้วยังอาจจะใช้วิธีทดสอบเพื่อดูปฏิกิริยาของหินในการกร่อนได้จากการทดสอบตามมาตรฐานของ โคโลราโด หมายเลข 26-90 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ คือ
- ใช้ตัวอย่างขนาด 100-200 กรัม ทำการอบแห้ง และปล่อยให้เย็น
- นำตัวอย่างใส่แก้วใส เติมน้ำประปาลงในแก้วให้ท่วมตัวอย่าง
- สังเกตการแตกกร่อนของตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง
- ปกติพบว่าปฏิกิริยาการแตกกร่อนมักเสร็จสิ้นภายใน 10-30 นาที การวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น ดัชนีการกร่อน (I_j) ดังนี้



การแบ่งดัชนีการกร่อน

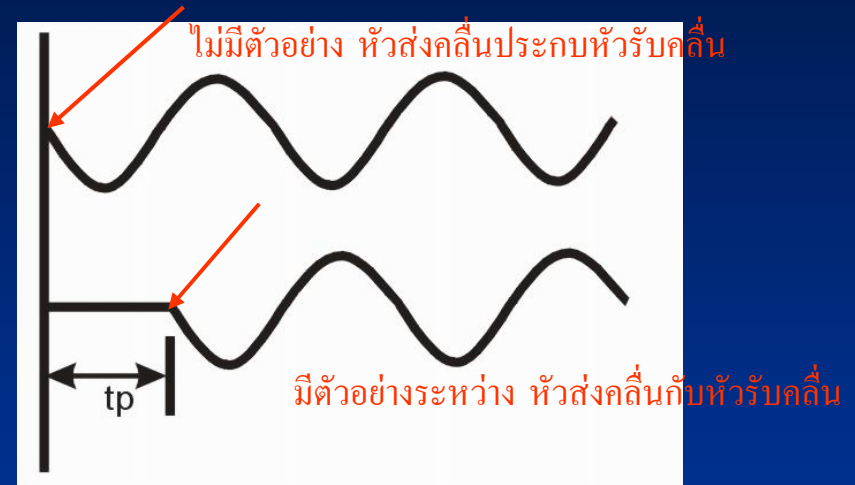
I_j	ลักษณะการกร่อน
1	กร่อนลงเป็นกองดินหรือเป็นแผ่นเล็กๆ
2	แตกออกเป็นชั้นอย่างรวดเร็วเป็นชั้นเล็กๆมากมาย
3	แตกออกเป็นชั้นอย่างรวดเร็วและเป็นแยกชั้นไม่มากนัก
4	แตกออกอย่างช้าๆและเห็นแนวแตกมาก
5	แตกออกอย่างช้าๆและเห็นแนวแตกบ้าง
6	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

อุปกรณ์การทดสอบคุณสมบัติพลวัต (Ultrasonic Test)

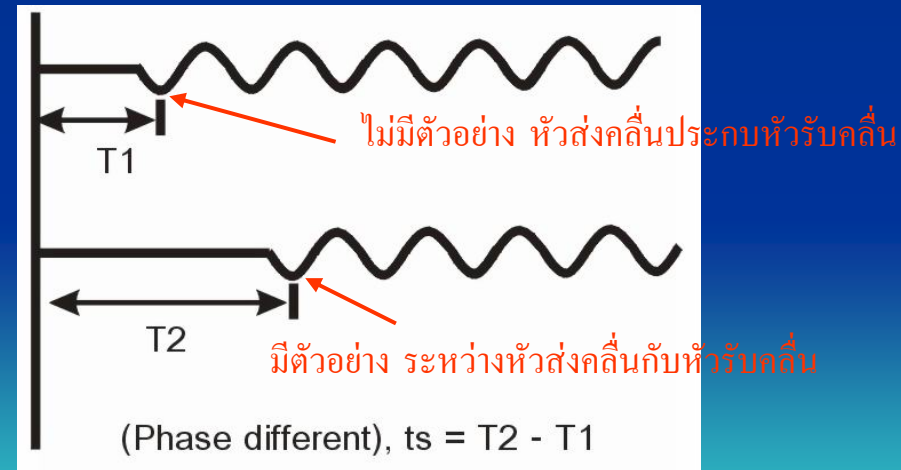


การหาเวลาเดินทางคลื่นที่ผ่านตัวอย่าง

- การหาเวลาเดินทางคลื่นกด
- หาคคลื่นแรกที่มาถึงก่อน



- การหาเวลาเดินทางคลื่นเนื่อน
- หาเวลาที่ต่างกันของลูกคลื่นเดียวกันเมื่อไม่มีตัวอย่างกับเมื่อมีตัวอย่าง



ผลที่ได้จากการทดสอบอัลตราโซนิก

- ความเร็วคลื่นกด หรือคลื่นอัด
- ความเร็วคลื่นเฉือน
- นำความเร็วคลื่นหาอิลาสติก โมดูลัสพลวัต



การประเมินโมดูลัสพลวัตจากการทดสอบอัลตราโซนิก

$$E = \frac{V_s^2 \rho \left[\frac{3(V_p/V_s)^2 - 4}{(V_p/V_s)^2 - 1} \right]}$$

$$\nu = \frac{\frac{1}{2} (V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1}$$

$$G = \rho V_s^2$$

- E = โมดูลัสอีลาสติคพลวัต(ปาสคาล Pa)
- G = โมดูลัสการคงตัว (ปาสคาล Pa)
- ν = สัดส่วนพัวซองซ์
- ρ = ความหนาแน่นมวล (กก/ม3)
- V_p, V_s = ความเร็วคลื่น (ม/วินาที)



การหาดัชนีรอยแตก(IQ) Fourmaintraux (1976)

$$IQ\% = \left(\frac{V_p}{V_p^*} \right) \times 100$$

$$\frac{1}{V_p^*} = \sum_i \frac{C_i}{V_{p,i}}$$

- C_i = ปริมาณของแร่ i ที่มีอยู่ในมวลหิน
- $V_{p,i}$ = ความเร็วคลื่นของแร่ i

ความเร็วคลื่นกคในแร่ - หิน

แร่	Vp เมตร/วินาที
ควออตซ์	6,050
โอลิวีน	8,400
แอมฟิโบว	7,200
มัสโคไวต์	5,800
ออร์โทเคลส	5,800
แพลจิโอเคลส	6,250
แคลไซต์	6,600
โดโลไมต์	7,500
ยิปซัม	5,200
ไพไรต์	8,000

ชื่อหิน	Vp* เมตร/วินาที
บะซอลต์	6,500-7,000
หินปูน	6,000-6,500
หินโดโลไมต์	6,500-7,000
หินทรายและควอร์ตไซต์	6,000
กลุ่มหินแกรนิต	5,500-6,000

การหาสัมประสิทธิ์การยอมให้ซึมผ่าน k

- การหาสัมประสิทธิ์การยอมให้ซึมผ่านได้ (coefficient of permeability) ของหิน จะมีการทดสอบได้หลายวิธี ส่วนใหญ่จะเป็นการปล่อยของไหล (fluid) ผ่านตัวอย่างหินภายใต้ความดันเมื่อตัวอย่างถูกยึดไว้ด้วยวงแหวนโลหะ และปะเก็นยาง ซึ่งจะทำให้วัดความดันที่เข้าสู่ตัวอย่างและที่ปลายทางออกจากตัวอย่าง ระยะทางหรือความยาวของตัวอย่างที่ของไหลผ่าน และปริมาณของไหล ตลอดจนทราบถึงความหนืดของของไหล การหาสัมประสิทธิ์การยอมให้ซึมผ่านจะประเมินจากสมการการไหลดังนี้



$$k = \eta \frac{q}{A} \frac{l}{(p_i - p_o)}$$

- k = สัมประสิทธิ์การยอมให้ซึมผ่าน (ดาร์ซี)
- η = ความหนืด (เซนติพอยต์)
- q = ปริมาณการไหลผ่านตัวอย่างในหนึ่งวินาที (ซม.³/วินาที)
- l = ความยาวตัวอย่าง (ซม.)
- A = พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (ซม.²)
- p_i = ความดันที่ใช้ ณ จุดผ่านเข้าในตัวอย่าง (บรรยากาศ)
- p_o = ความดันที่วัดได้ ณ จุดไหลออก (บรรยากาศ)

การทดสอบสัมประสิทธิ์การยอมให้ซึมผ่าน

- การทดสอบโดยใช้แรงดันน้ำ
- แรงดันอากาศ
- แบ่งการปล่อยของไหลผ่านตัวอย่างได้สองแบบคือ
 - การไหลผ่านแนวแกนตัวอย่าง
 - การไหลแบบรัศมี



การทดสอบแบบแรงดันน้ำไหลผ่านแนวแกนตัวอย่าง

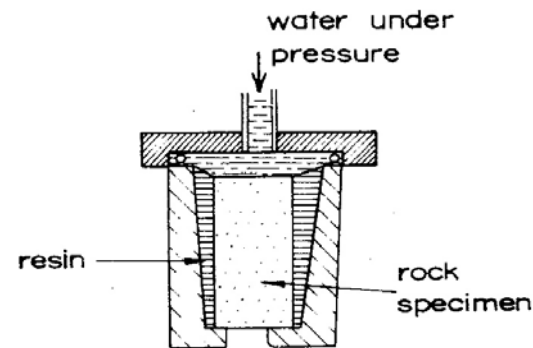
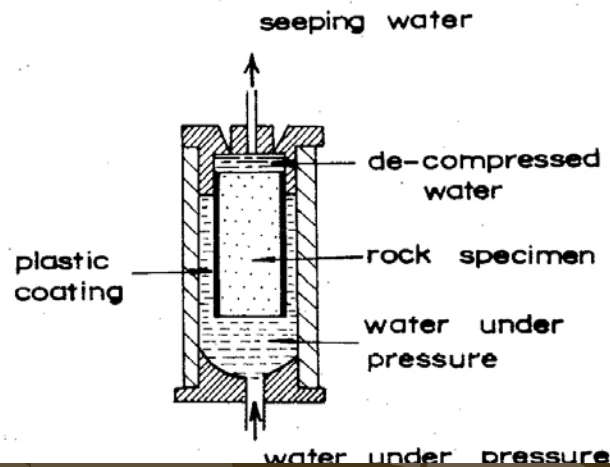
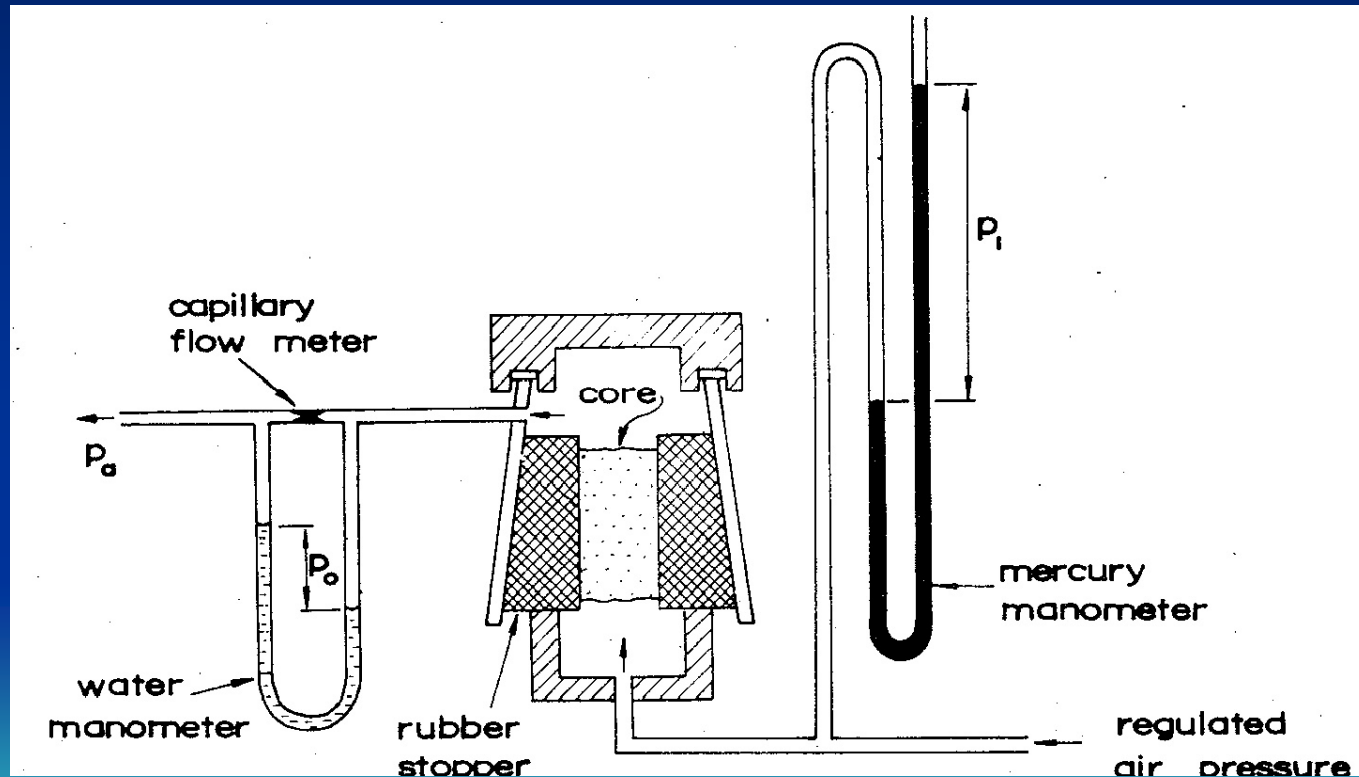


Fig. 12-24. Longitudinal percolation test
(after JAEGER, 1972).

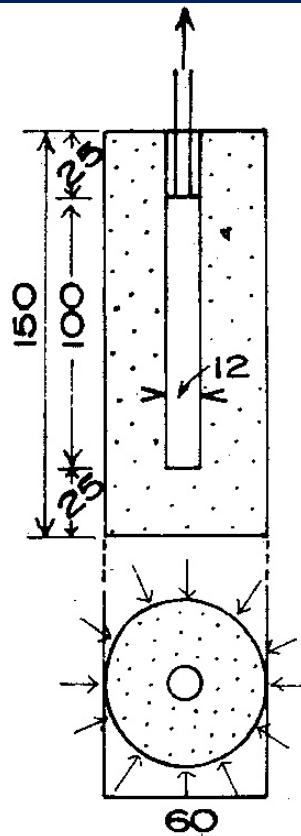


การหาสัมประสิทธิ์การยอมให้ซึมผ่าน k

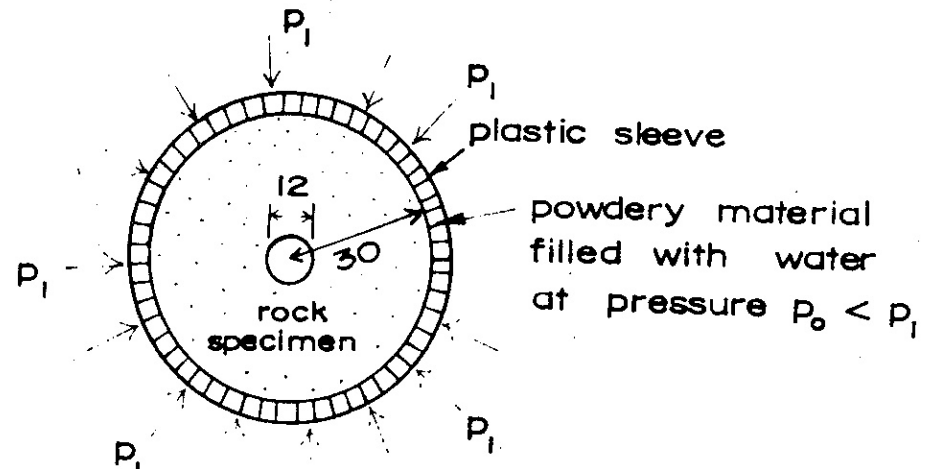
การทดสอบแบบแรงดันอากาศแบบไหลผ่านแนวแกน



การทดสอบแบบแรงดันน้ำไหลแบบรัศมี



if p_1 is maintained.



การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

- การเตรียมตัวอย่างขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบ ในการตัดตัวอย่างควรมีการล้างเอาคราบโคลนต่าง ๆ ที่จะอุดตันทางเข้าออกตัวอย่าง
- สำหรับการเตรียมตัวอย่างที่ให้อากาศไหลผ่านตัวอย่างจะใช้ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. และความยาว 2-3 ซม.
- การใช้ของเหลว เช่น น้ำ ในการทดสอบจะใช้ตัวอย่างขนาด 60 มม. ความยาวนั้นมีหลายขนาด ยาวสูงสุดได้ยาว 150 มม.
- และการทดสอบแบบการไหลแบบรัศมี (**radial percolation test**) จะใช้ตัวอย่างขนาด 60 มม. ยาว 150 มม. และเจาะแกนกลางของตัวอย่างให้เป็นรูขนาด 12 มม. ลึกลงไป 125 มม.



วิธีใช้อากาศในการทดสอบ (air-permeability)

$$k = \frac{2q_o P_o l \eta}{(p_i^2 - p_o^2) A}$$

- k = สัมประสิทธิ์การยอมให้ซึมผ่าน (ดาร์ซี)
- η = ความหนืดของอากาศตามอุณหภูมิ (เซนติพอยต์)
- q = อัตราการไหลของอากาศที่ทางออก (ชม.³/วินาที)
- l = ความยาวตัวอย่าง (ชม.)
- A = พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (ชม.²)
- p_i = ความดันอากาศ ณ จุดทางเข้า (บรรยากาศ)
- p_o = ความดันอากาศ ณ จุดทางออก (บรรยากาศ)

การทดสอบไหลแบบรัศมี

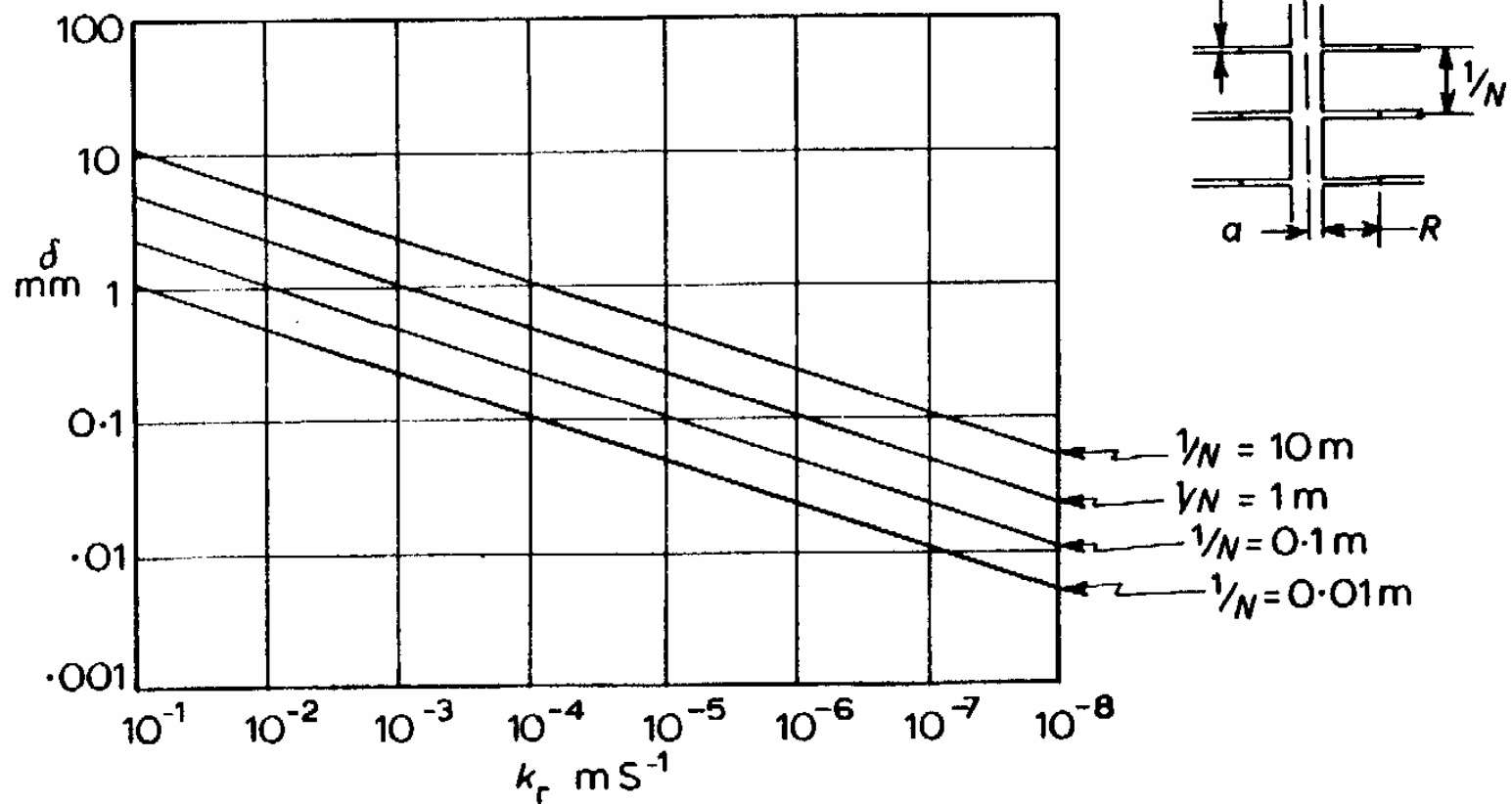
- การไหลของน้ำจะเข้าสู่รู
แกนกลาง เรียกว่า การ
ไหลเข้า
convergent)
- ถ้าให้ความดันน้ำภายในรู
แกนกลางสูงกว่าความดัน
รอบนอกการไหลจะ
กระจายออกสู่ภายนอก
(divergent)

$$k = \frac{\eta q_o \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{\pi l (p_i^2 - p_o^2)}$$

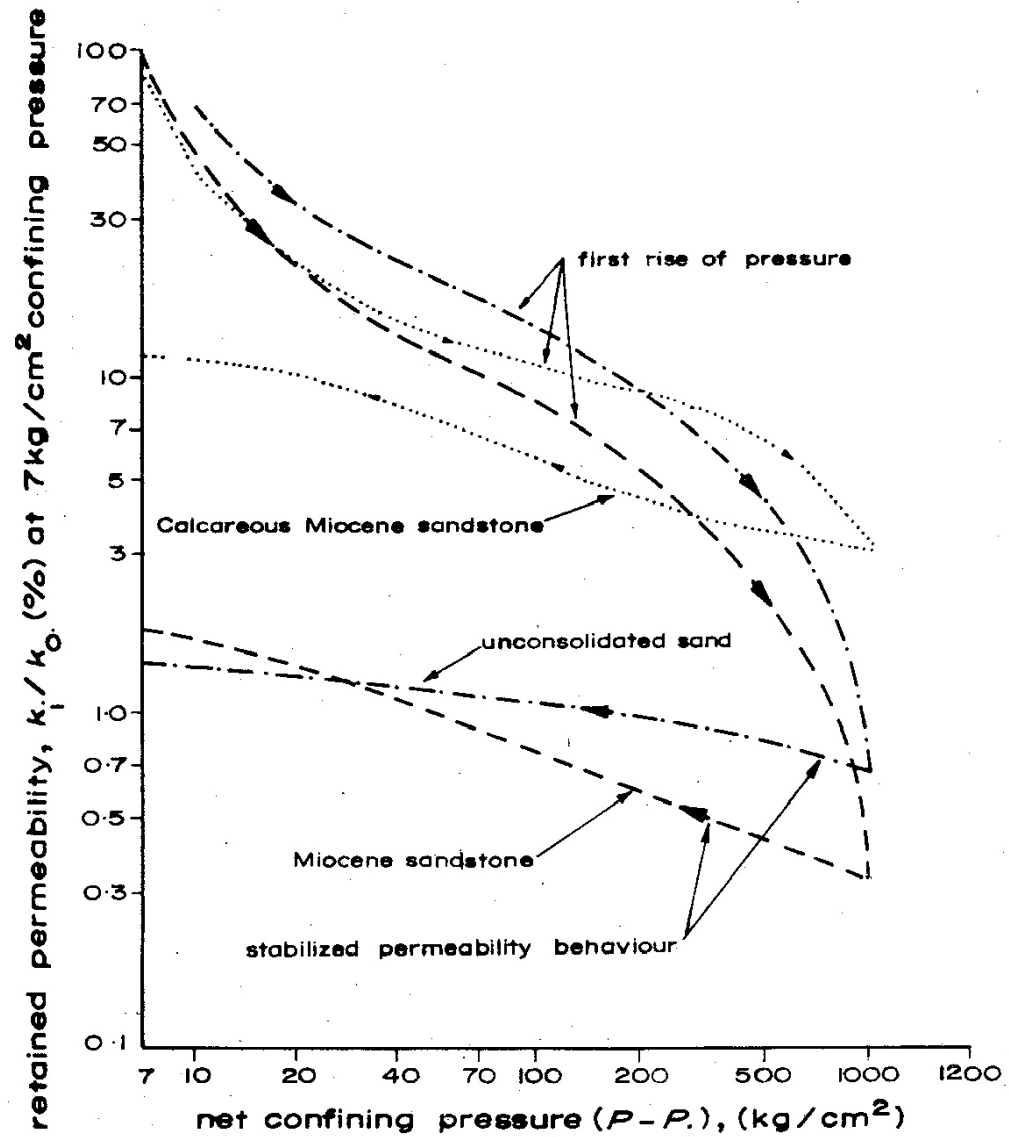
K ในหินมีรอยแตก

- สำหรับหินที่มีรอยแตกหรือรอยแยก Snow (1965) และ (1968) ได้สร้างสมการการไหล ขนานกับแผ่นรอยแตก โดยหาความสัมพันธ์กับความถี่ของรอยแตก(N)และ ความกว้างของรอยแยก (δ) ค่า $N\delta$ เรียกว่า ความพรุนของรอยไม่ต่อเนื่อง (discontinuities porosity) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างรอยแตก (S) เท่ากับ ค่า k หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$k = \frac{N\gamma_w \delta^3}{12\mu}$$



PERMEABILITY



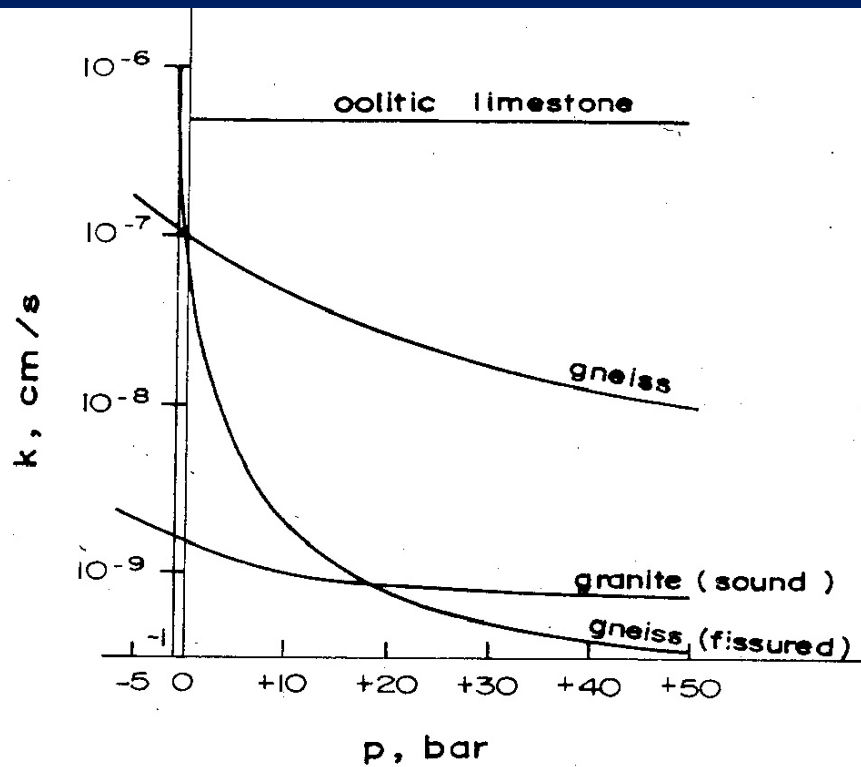
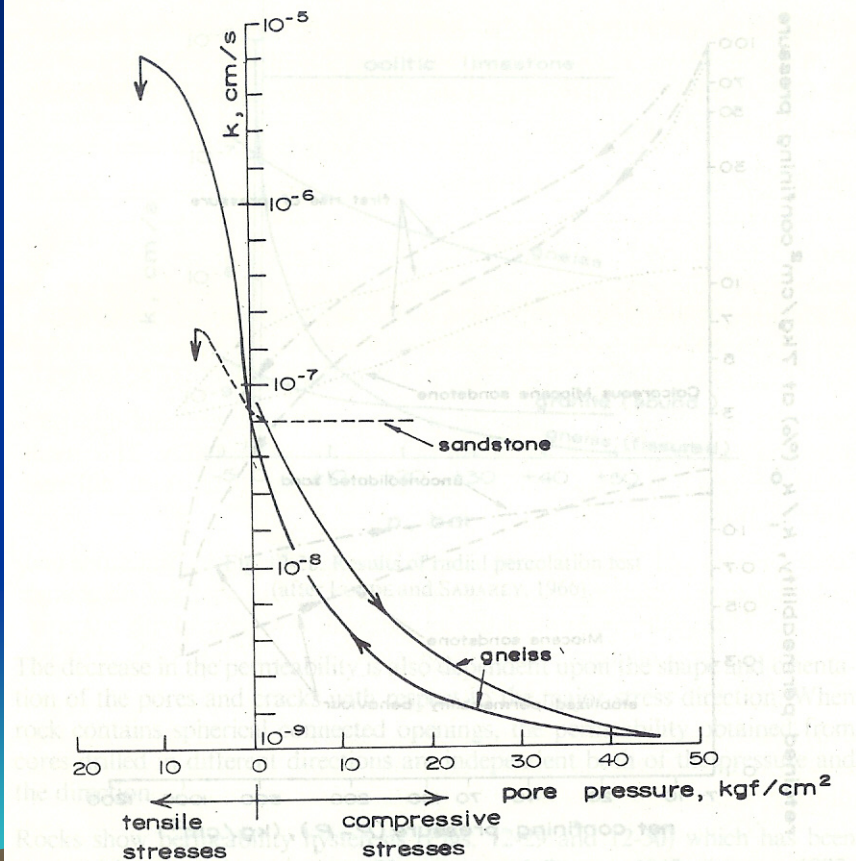


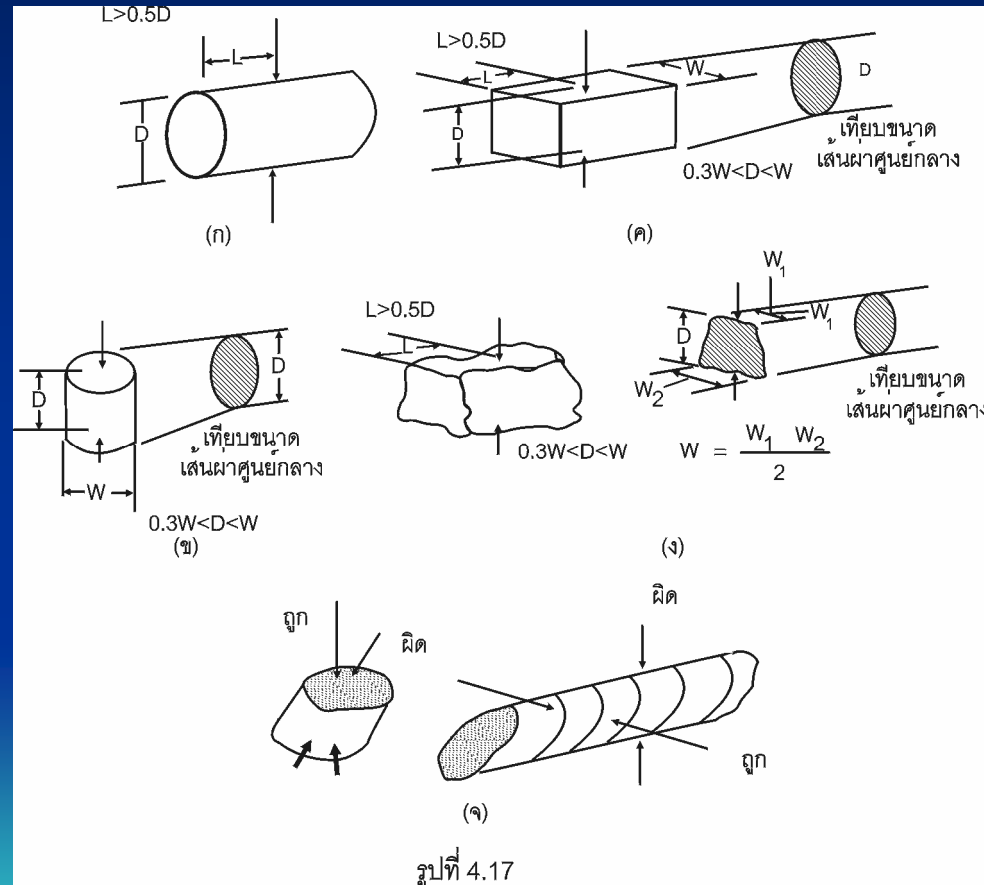
Fig. 12-28. Results of radial percolation test
(after LONDE and SABARLY, 1966).



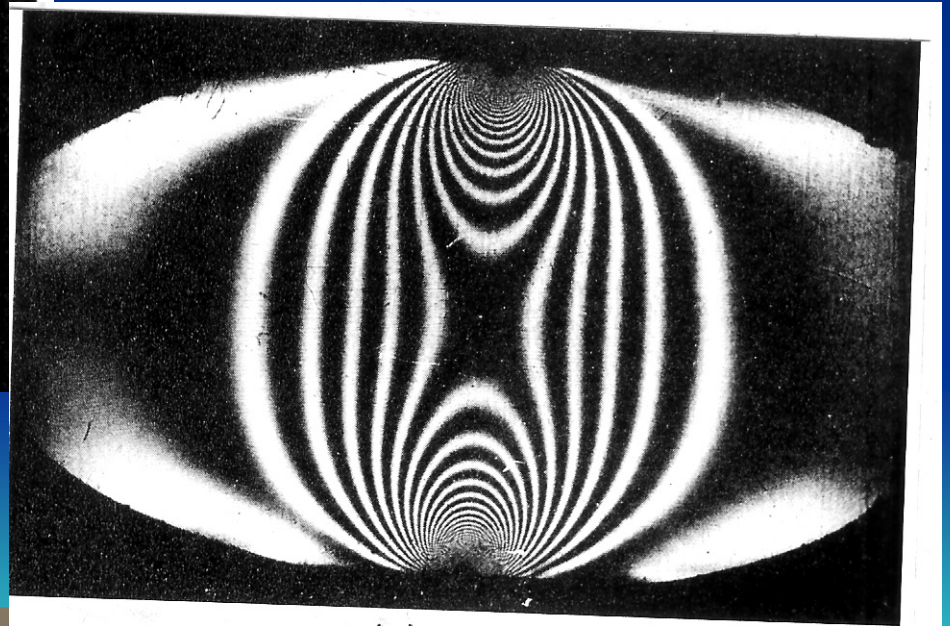
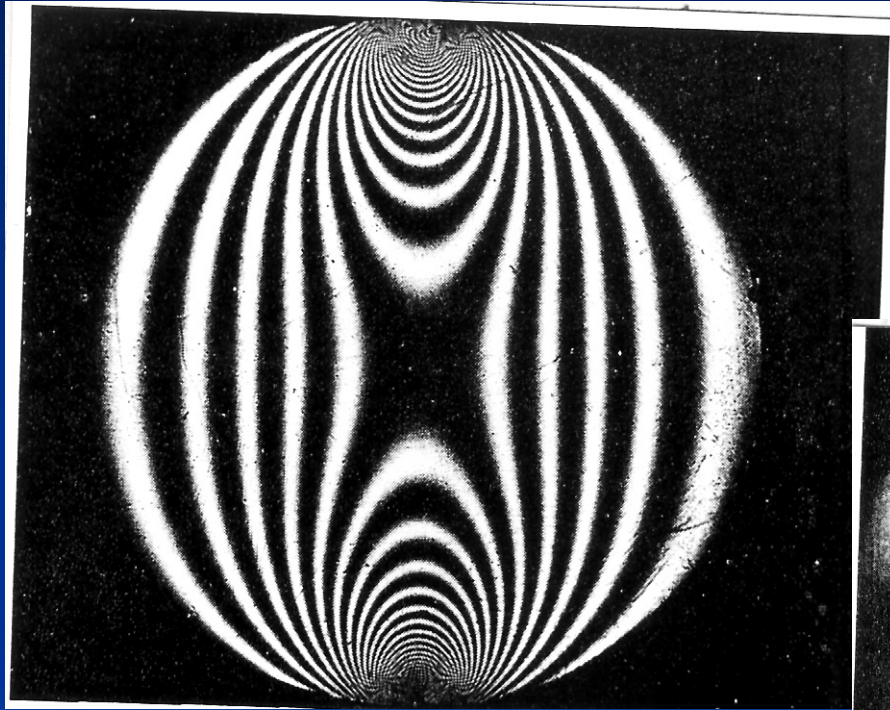
Point Load Strength Index



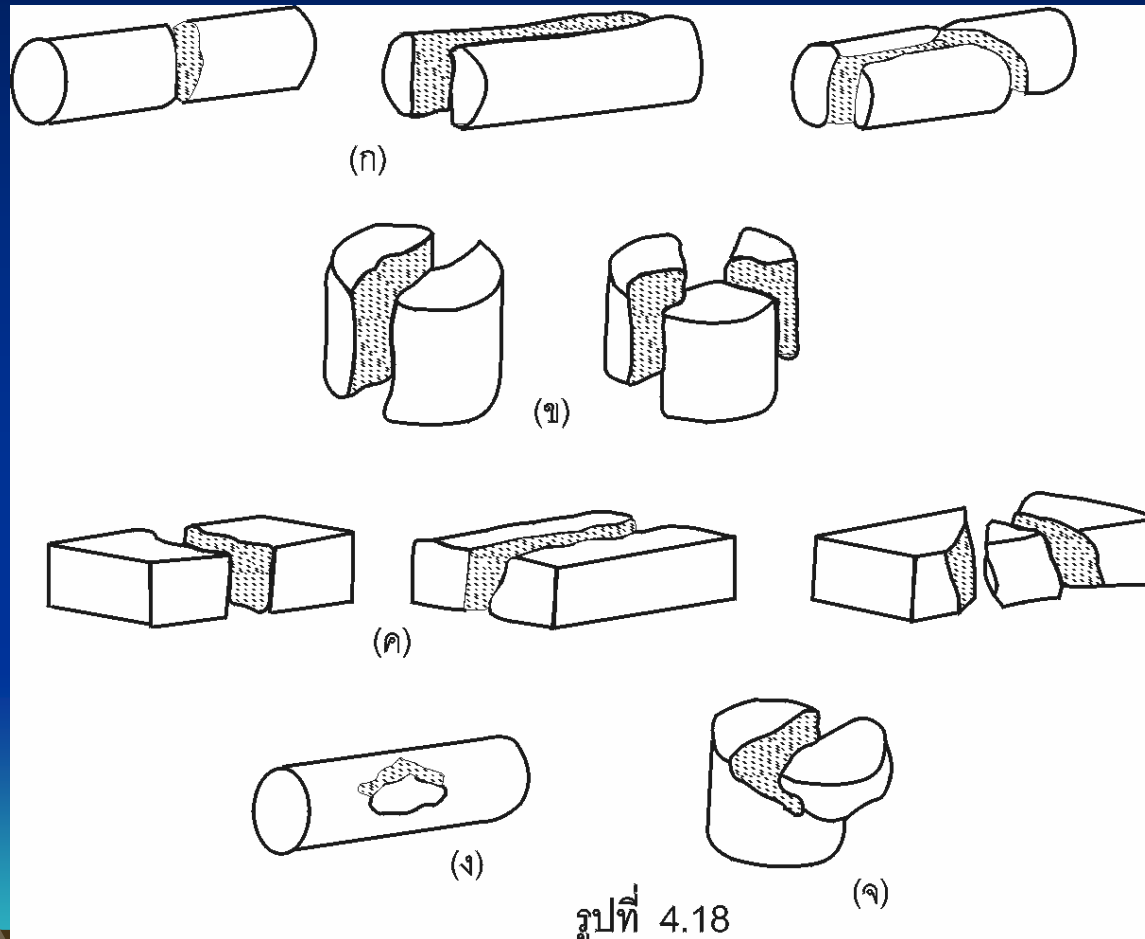
ขนาดตัวอย่างในการทดสอบกำลังกดจุด



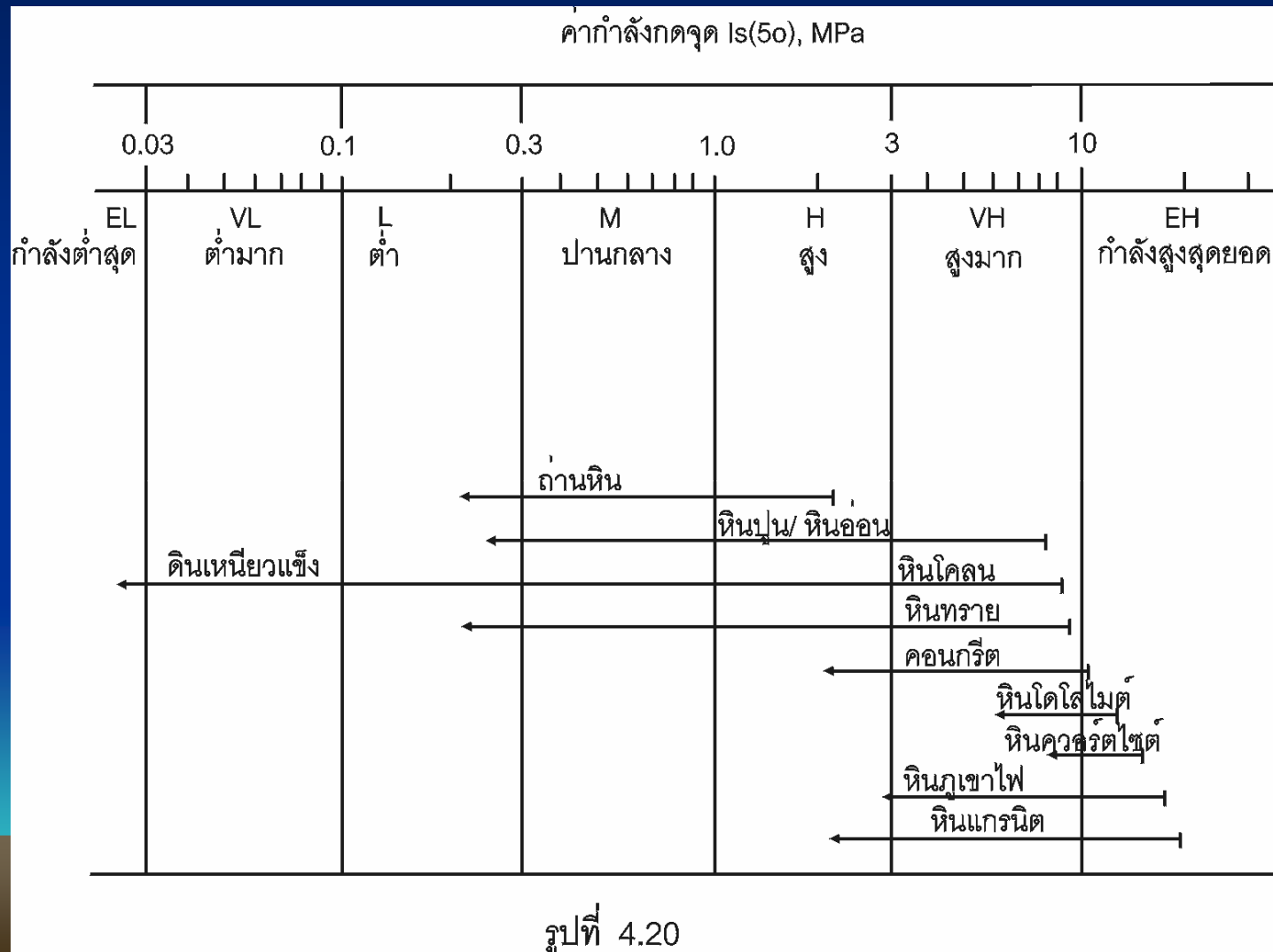
การกระจายความเค้นภายในตัวอย่างทดสอบแบบกำลังกดจุด



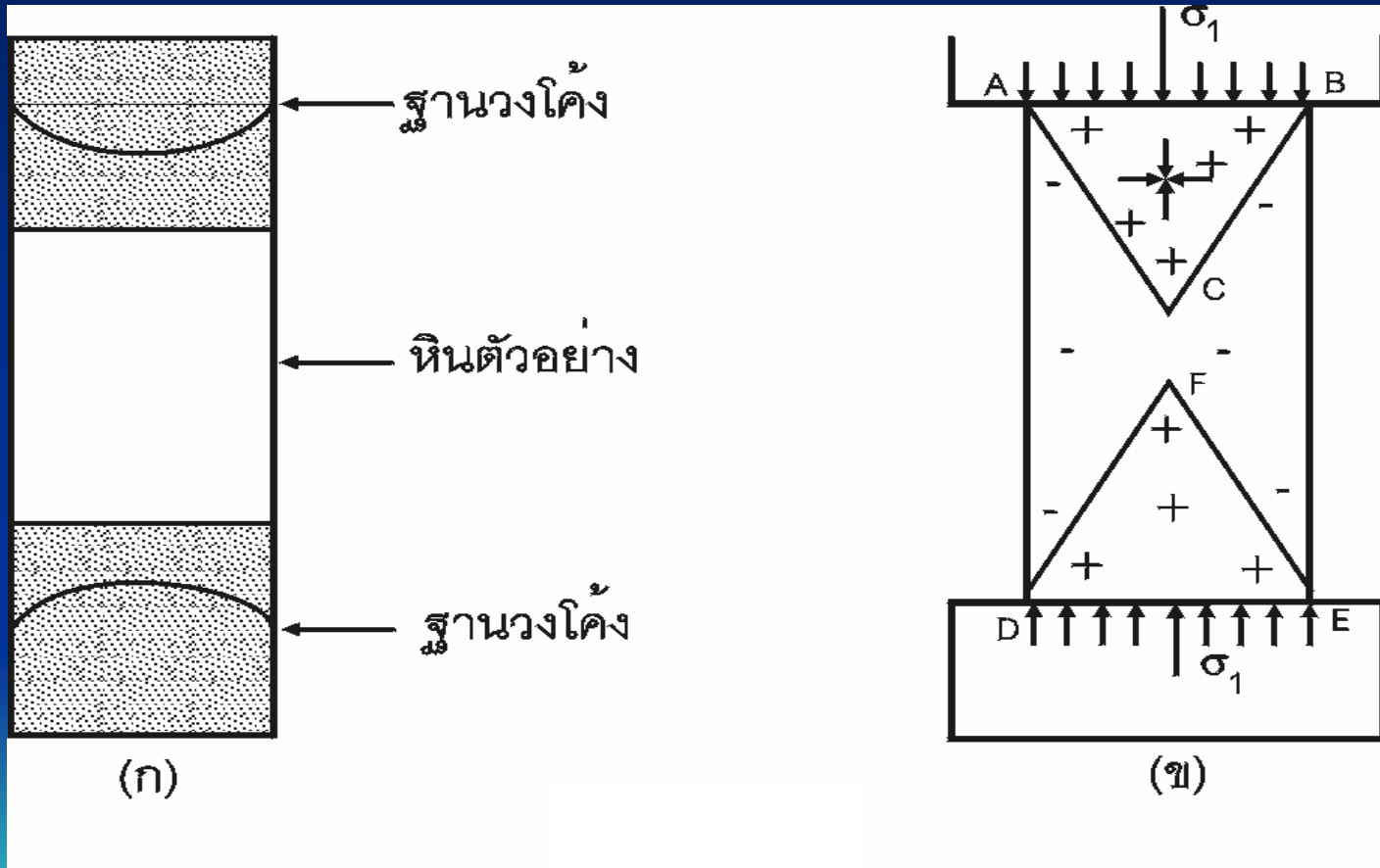
รูปแบบการแตกของการทดสอบกำลังกดจุด

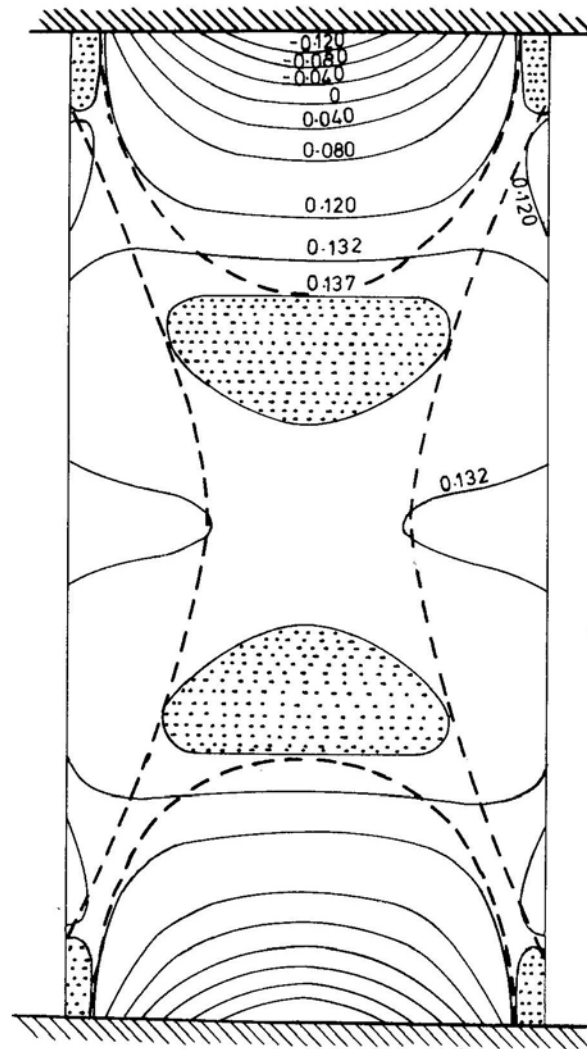


การจัดจำแนกหินตามกำลังกดจุดของแฟรงกลิน



Uniaxial Compressive Test





Uniaxial failure mode



Conical shape



Vertical splitting



การทดสอบอิลาสติก โมดูลัสแบบสถิต

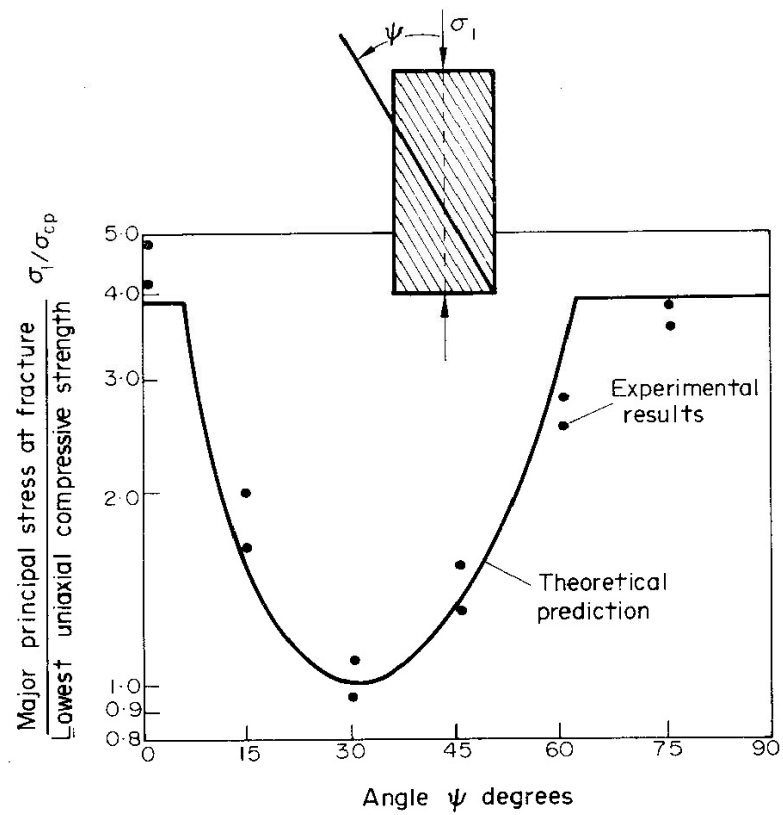


รูปแบบการวิบัติเนื่องจากการกดแกนเดียว



(n)





COMPRESSIVE STRENGTH OF ROCK

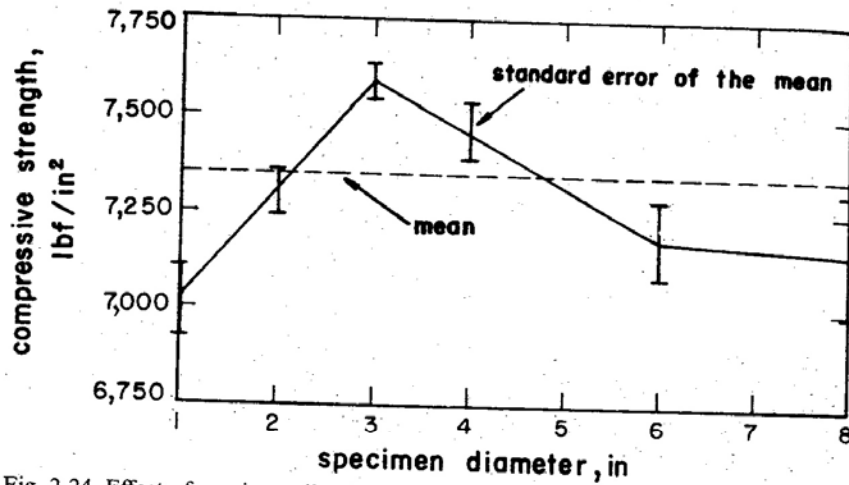


Fig. 2-24. Effect of specimen diameter on compressive strength of Kansas limestone (after HOSKINS and HORINO, 1969).

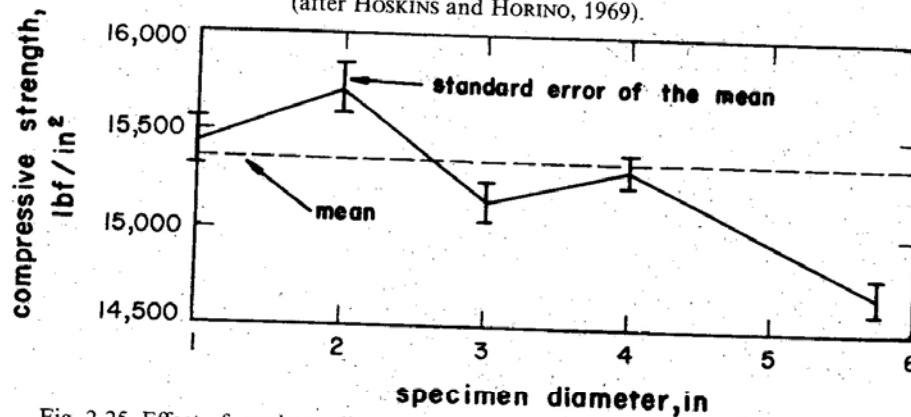


Fig. 2-25. Effect of specimen diameter on compressive strength of Carthage marble (after HOSKINS and HORINO, 1969).

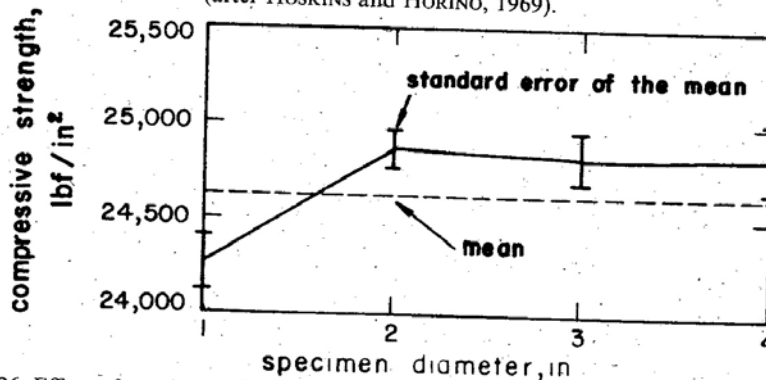
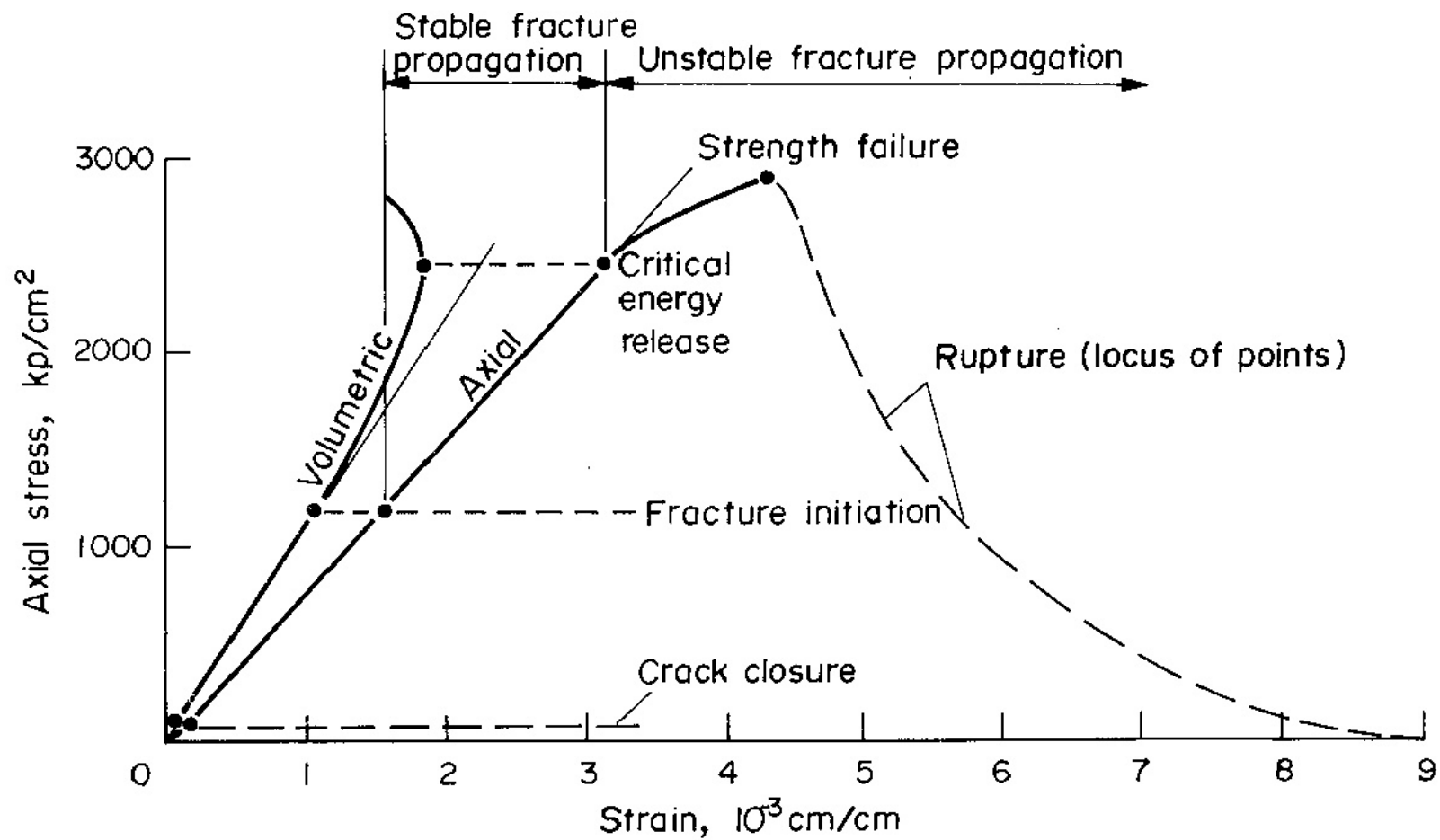
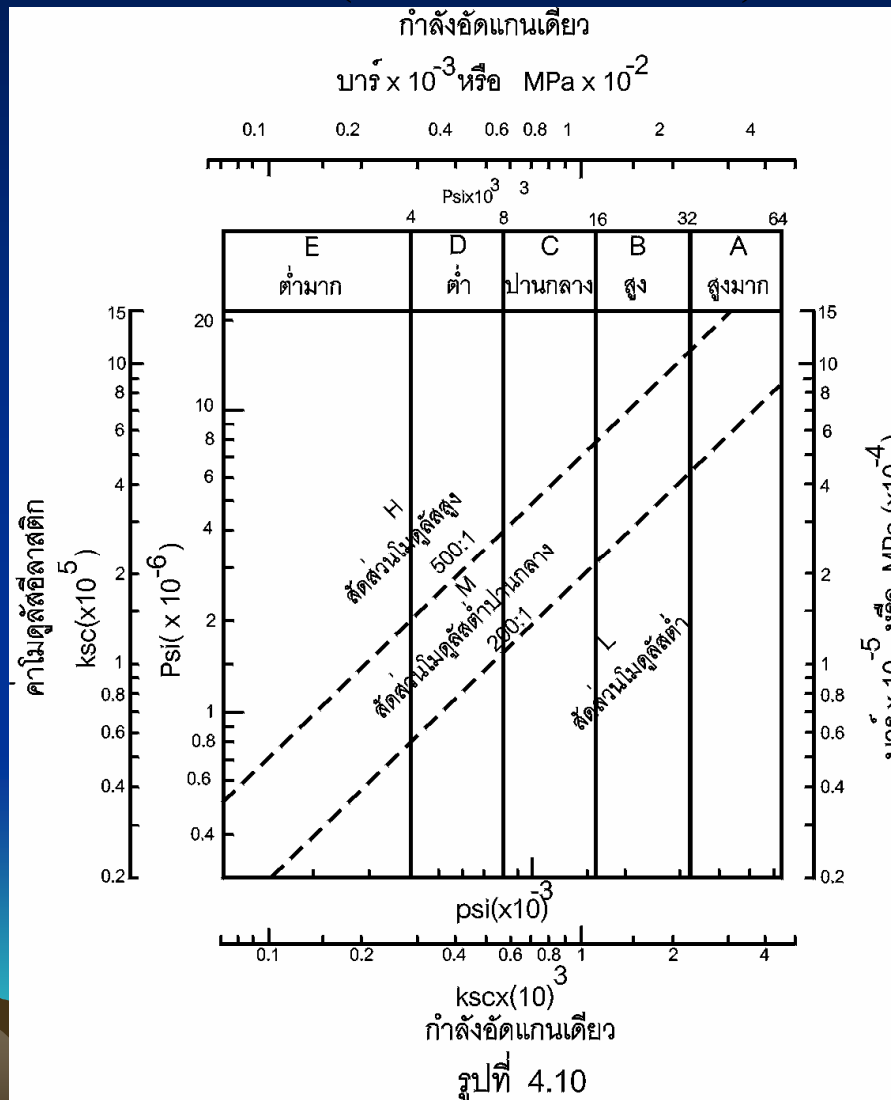


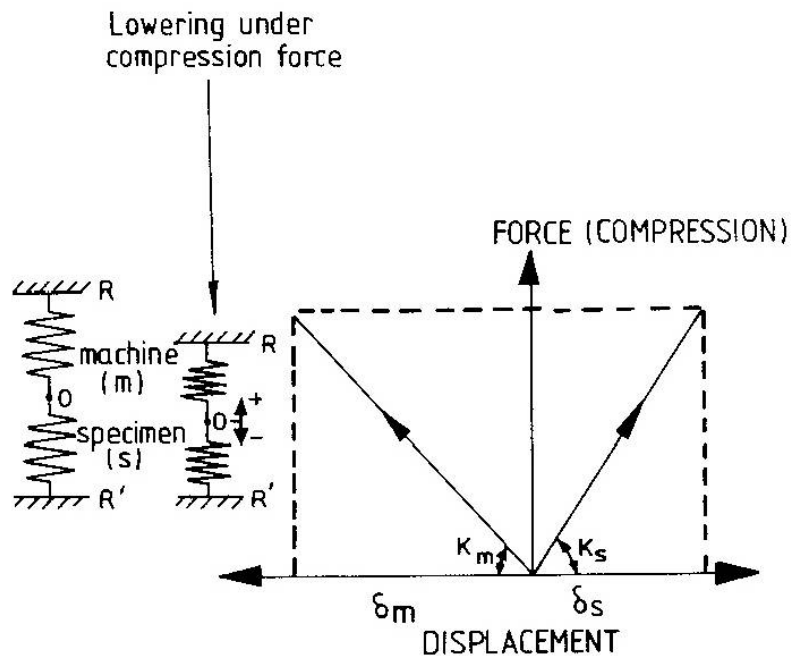
Fig. 2-26. Effect of specimen diameter on compressive strength of Longmont sandstone



การจัดจำแนกตามกำลังอัดและอิลาสติก โมดูลัส (เคียร์ มิลเลอร์)



Machine effect



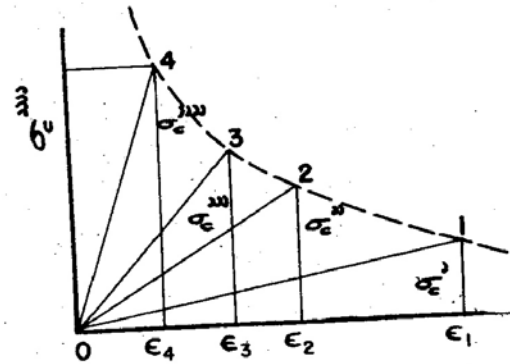


Fig. 2-29. Effect of strain rate on compressive strength of Cannal coal (after SALUSTOWICZ, 1965).

HOUPERT (1970) investigated the effect of the loading rate on compressive strength of granite. His results (Fig. 2-30) also reveal an increase in strength with increase in loading rate.

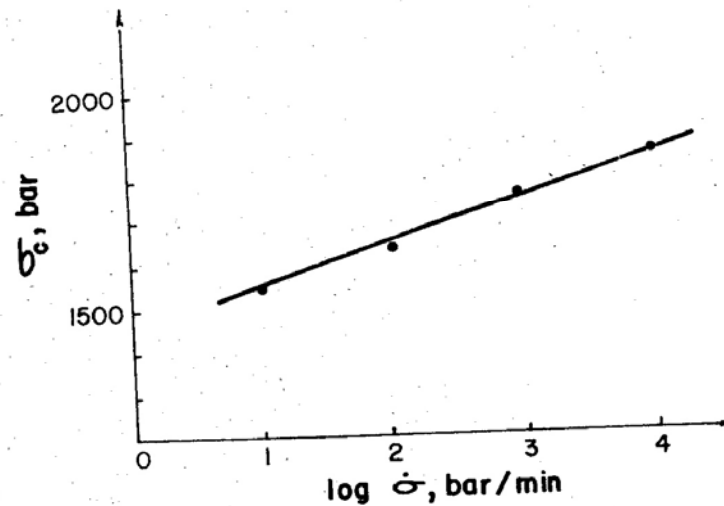


Fig. 2-30. Variation of compressive strength σ_c with loading rate $\dot{\sigma}$. For each $\dot{\sigma}$, σ_c is the mean value of 6 tests; diameter of test specimens = 5 cm (after HOUPERT, 1970).

Triaxial confining at 200 psi



Confining 600 psi



Confining 1200 psi



Brazilian Test



