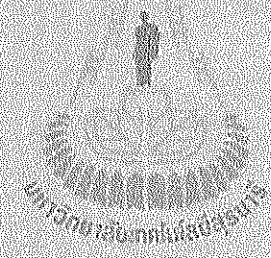


เอกสารประกอบการสอน
รายวิชา 538303 ธรณีเทคนิค
(Geotechnique)

โดย

อาจารย์ ดร. เดโช เผือกภูมิ

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประมวลการสอนรายวิชา

1. **รายวิชา** 538 303 ธรณีเทคนิค (Geotechniques) 5 (4-3-11)

2. **ผู้รับผิดชอบรายวิชา** อ.ดร.เดโช เผือกภูมิ

3. **เนื้อหาวิชาโดยสังเขป**

วิชาบังคับก่อน : 538 201 ธรณีวิทยา (Physical Geology)

530 211 กลศาสตร์วัสดุ (Mechanics of Materials I)

คุณสมบัติและการจำแนกวัสดุทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยากับงานด้านวิศวกรรมธรณี วิศวกรรมหินเบื้องต้น วิศวกรรมการขุดเจาะบนพื้นดินและใต้ดิน เก็บข้อมูลในภาคสนามเพื่อการออกแบบ

4. **วัตถุประสงค์ทั่วไป**

ภายหลังจากการเรียน/การสอน นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจและเจตคติที่ดี ดังต่อไปนี้

4.1 พัฒนาตัวเองในเชิงภูมิรู้และภูมิปัญญา บุคลิกภาพ คุณธรรมและจริยธรรม รวมถึงเจตคติความรับผิดชอบทางวิชาชีพวิศวกรรมธรณีต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน

4.2 องค์ความรู้ด้านปฐพีกลศาสตร์เบื้องต้น: การกำเนิดดิน คุณสมบัติของดินทางกายภาพและกลศาสตร์ วิธีการทดสอบและจำแนกคุณสมบัติของดินตามวิธีมาตรฐานสากล

4.3 องค์ความรู้ด้านอุทกธรณีวิทยาในงานวิศวกรรมธรณี: วัฏจักรน้ำ การไหลของน้ำใต้ดิน ผลกระทบจากน้ำ โครงสร้างทางวิศวกรรมธรณี ความดันชลศาสตร์และกฎของดาร์ซี่ การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ โครงข่ายการไหล และผลกระทบของน้ำใต้ดินต่องานด้านวิศวกรรมธรณี

4.4 องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมหินเบื้องต้น: ความแตกต่างระหว่างหินกับวัสดุทางวิศวกรรม (เช่น พลาสติก เหล็ก คอนกรีต เป็นต้น) ความแตกต่างระหว่างหินเนื้อแน่นและมวลหิน การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของหินในห้องปฏิบัติการ ความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ในมวลหินและการจำแนกคุณภาพมวลหินเพื่องานด้านวิศวกรรมธรณี

4.5 องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมการขุดเจาะบนพื้นดิน: งานที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมการขุดเจาะบนพื้นดิน (เช่น เหมืองแร่บนผิวดิน ความลาดชันของถนน การสร้างอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น) การวิบัติหรือการพังทลายของความลาดชันในรูปแบบต่างๆ และวิเคราะห์ค่าปัจจัยความปลอดภัยในรูปแบบการวิบัติอย่างง่ายได้ (การวิบัติตามแนวระนาบ และการวิบัติแบบรูปโค้ง)

4.6 องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมการขุดเจาะใต้ดิน: งานที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะใต้ดิน (เช่น อุโมงค์ เหมืองใต้ดิน เหมืองเกลือแบบละลาย เป็นต้น) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเสถียรภาพของการขุดเจาะใต้ดิน (เช่น ความเค้น ความแข็งของมวลหิน น้ำใต้ดิน เป็นต้น) การออกแบบเหมืองใต้ดินแบบห้องและเสาค้ำยัน

4.7 เทคนิคการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลในภาคสนาม ได้แก่ การเก็บข้อมูลจากหินโผล่ (Out crop) และการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลมวลหินที่ระดับลึก

5. แผนการสอนรายสัปดาห์

สัปดาห์ที่	จำนวนชั่วโมง	หัวข้อการสอน	ตำราบทที่	การวัดผล	การประเมินผล
1	3	**บทที่ 1: บทนำ** – แนะนำรายวิชา ชี้แจง/ข้อตกลงต่างๆของวิชานี้ เช่น การประเมินผล การมอบหมายงาน/การบ้าน การเข้าห้องเรียน ฯลฯ – ความสำคัญของรายวิชาวิศวกรรมธรณีวิทยา – ทบทวนความรู้พื้นฐานของ “วิชาบังคับก่อน” – แนะนำให้ไปทบทวนบางส่วนของ “วิชาบังคับก่อน” และเนื้อหาในหัวข้อถัดไปที่ควรศึกษาด้วยตัวเอง	1	สอบย่อยครั้งที่ 1 (ประเมินความรู้พื้นฐานก่อนเรียน)	ตรวจให้คะแนน
2	3	**บทที่ 2: วิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์** – การกำเนิดดิน – คุณสมบัติดินเชิงกายภาพ: ความสัมพันธ์เชิงปริมาตรและน้ำหนัก – การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดินและการคละขนาดของเม็ดดิน	2	สอบย่อยครั้งที่ 2	ตรวจให้คะแนน
3	3	**บทที่ 2: วิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์ (ต่อ)** – สถานภาพของดินเม็ดละเอียด: พิกัดเหลว (Liquid limit) พิกัดอ่อนตัว (Plastic limit) – การจำแนกดินเชิงในวิศวกรรม: USCS และ AASHTO	2	สอบย่อยครั้งที่ 3 การบ้านชุดที่ 1	ตรวจให้คะแนน
4	3	**บทที่ 3: อุทกธรณีวิทยา** – วัฏจักรน้ำ – ผลกระทบของน้ำบาดาลต่องานด้านวิศวกรรมธรณี – การไหลของน้ำใต้ดิน – ความดันชลศาสตร์และกฎของดาร์ซี่	3	สอบย่อยครั้งที่ 4	ตรวจให้คะแนน

5. แผนการสอนรายสัปดาห์ (ต่อ)

สัปดาห์ที่	จำนวนชั่วโมง	หัวข้อการสอน	ตำราบทที่	การวัดผล	การประเมินผล
5	3	**บทที่ 3: อุทกธรณีวิทยา (ต่อ)** – การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม – โครงข่ายการไหล (Flow net) – แนะนำให้ไปศึกษาด้วยตัวเองก่อนสู่บทเรียนถัดไป	3	สอบย่อยครั้งที่ 5 การบ้านชุดที่ 2	ตรวจให้คะแนน
6	3	**บทที่ 4: วิศวกรรมหินเบื้องต้น** – ความแตกต่างระหว่างหินกับวัสดุทางวิศวกรรม – หินเนื้อแน่นและมวลหิน – การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ **สรุปเนื้อหาเตรียมสอบกลางภาค**	4	สอบย่อยครั้งที่ 6	ตรวจให้คะแนน
7	**สัปดาห์การสอบกลางภาค**				
8	3	**บทที่ 4: วิศวกรรมหินเบื้องต้น (ต่อ)** – ความไม่ต่อเนื่องมวลหิน – ระบบการจำแนกมวลหิน **บทที่ 5: วิศวกรรมการขุดเจาะบนพื้นดิน** – งานทางวิศวกรรมธรณีที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะบนพื้นดิน	4	สอบย่อยครั้งที่ 7 การบ้านชุดที่ 3	ตรวจให้คะแนน
9	3	**บทที่ 5: วิศวกรรมการขุดเจาะบนพื้นดิน (ต่อ)** – การวิบัติของความลาดชัน – การวิเคราะห์การวิบัติของความลาดชัน **บทที่ 6: วิศวกรรมการขุดเจาะใต้ดิน** – งานทางวิศวกรรมธรณีที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะใต้ดิน	5 6	สอบย่อยครั้งที่ 8 การบ้านชุดที่ 4	ตรวจให้คะแนน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. แผนการสอนรายสัปดาห์ (ต่อ)

สัปดาห์ที่	จำนวนชั่วโมง	หัวข้อการสอน	ตำราบทที่	การวัดผล	การประเมินผล
10	3	**บทที่ 6: วิศวกรรมการขุดเจาะใต้ดิน (ต่อ)** – ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเสถียรภาพของการขุดเจาะใต้พื้นดิน – การออกแบบเหมืองใต้ดินแบบห้องและเสาค้ำยัน	6	สอบย่อยครั้งที่ 9	ตรวจให้คะแนน
11	3	**บทที่ 7: เทคนิคการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลในภาคสนาม** – การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลจากหินโผล่ – การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลใต้พื้นดิน **สรุปเนื้อหาเตรียมสอบปลายภาค**	7	สอบย่อยครั้งที่ 10 การบ้านชุดที่ 5	ตรวจให้คะแนน
12	**สัปดาห์การสอบปลายภาค**				

6. สื่อการศึกษา

6.1 โสตทัศนูปกรณ์ ประกอบด้วย PowerPoint โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ LCD และ Visualizer

6.2 ตำรา

1) De Vallejo L.G. and Ferrer, M. (2011) "**Geological Engineering**" CRC Press, Balkema: Netherlands

6.2 เอกสารประกอบการเรียน เรียบเรียงจากหนังสืออ้างอิงต่อไปนี้

1) Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996) "**Soil Mechanics in Engineering Practice**" 3rd (edition). John Wiley&Sons: NewYork.
2) Delleur, J. (1999) "**The Handbook of Groundwater Engineering**" CRC Press: USA
3) Singh, B. and Goel, R.K. (1999) "**Rock Mass Classification: A Practice Approach in Civil Engineering**" Elsevier: New York.
4) Brady H.B.C. and Brown, E.T. (2004) "**Rock Mechanics for Underground Mining**" 3rd (edition). Springer: Netherlands.

5) ทวิศักดิ์ ระมิงค์วงศ์ (2546) **"น้ำบาดาล (Groundwater)"** ภาควิชาธรณีวิทยา: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 373 หน้า (ISBN 974-658-043-4).

6) กิตติเทพ เฟื่องขจร (2546) **"กลศาสตร์หินพื้นฐาน"** บริษัทอีซี่นเพ้นโปรดักส์ กรุงเทพ, 210 หน้า (ISBN 974-90898-8-X).

7. วิธีการวัดผลและน้ำหนักคะแนน

สอบย่อย	20%
การบ้านและกิจกรรมในห้องเรียน	20%
สอบกลางภาค	25%
สอบปลายภาค	25%
รวม	**100%**

8. วิธีการประเมินผล (การตัดเกรด)

ระดับคะแนน	แต้ม	ระดับคะแนน
คะแนนรวม		
A	4.0	80 ขึ้นไป
B+	3.5	75-79.9
B	3.0	70-74.9
C+	2.5	65-69.9
C	2.0	60-64.9
D+	1.5	55-59.9
D	1.0	50-54.9
F	0.0	ต่ำกว่า 50

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1 (บทนำ)
ประวัติและความสำคัญของวิศวกรรมธรณี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิศวกรรมธรณีคืออะไร ?????

- Geology – Geologists
- Engineering – Engineers
- Geological Engineering – Geological Engineers

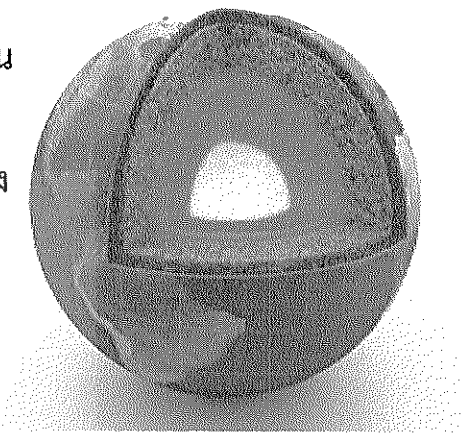
Geology – Geologists

☑ นักธรณี (geologists) เป็นผู้ที่ศึกษาด้านวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโลก

☑ สสารต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของโลก เช่น แร่ หิน ดิน และน้ำ

☑ กระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในโลก ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติตั้งแต่กำเนิดโลกจนถึงปัจจุบัน

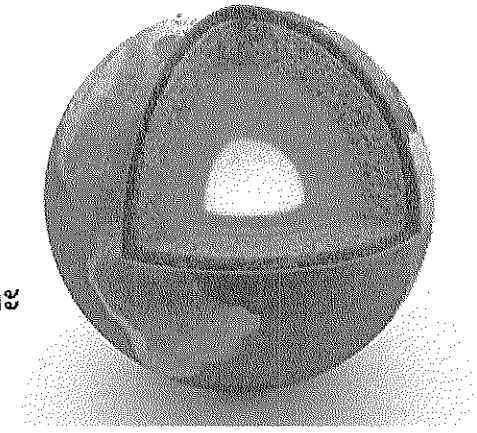
☑ ศึกษาทั้งในระดับโครงสร้าง ส่วนประกอบทางกายภาพ เคมี และ ชีววิทยา) ทำให้รู้ถึงประวัติความเป็นมา และสภาวะแวดล้อมในอดีตจนถึงปัจจุบัน



Geology – Geologists

☑ ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ทั้งภายใน และภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิว วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ตลอดจนรูปแบบ และวิธีการนำเอาทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนอีกด้วย

☑ นอกจากนี้นักธรณีวิทยายังทำหน้าที่ระบุตำแหน่งและจัดการกับทรัพยากรธรรมชาติ เช่น แหล่งหิน แหล่งแร่ แหล่งปิโตรเลียม เช่น น้ำมัน และถ่านหิน รวมทั้งโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดงและยูเรเนียม



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Geology – Geologists

- ☑ ธรณีวิทยากายภาพ (Physical Geology)
- ☑ ธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural Geology)
- ☑ ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Geotectonics, Tectonics)
- ☑ ตะกอนวิทยา (Sedimentology)
- ☑ ธรณีสัณฐานวิทยา (Geomorphology)
- ☑ ธรณีเคมี (Geochemistry)
- ☑ ธรณีฟิสิกส์ (Geophysics)
- ☑ ธรณีอุทกวิทยา (Geohydrology)
- ☑ บรรพชีวินวิทยา (Paleontology)

Engineering - Engineers

- ☑ "วิศวกรรม" แปลมาจากคำว่า "Engineering"
- ☑ หนังสือ Encyclopedia Americana ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า "Engineering" เป็นอาชีพที่เกี่ยวข้องโดยชัดเจนกับวิทยาศาสตร์ของการวางแผนการออกแบบการสร้าง และการใช้งานอย่างถูกหลักเศรษฐศาสตร์ของสิ่งก่อสร้างหรือเครื่องจักร
- ☑ คำว่า Engineering นี้แปลมาจากภาษาลาตินว่า "engenium" ซึ่งแผลงว่าความสามารถตามธรรมชาติ (หรือความเป็นอัจฉริยะที่ติดตัวมาโดยกำเนิด)
- ☑ หรือการคิดประดิษฐ์สิ่งใหม่ๆ คำว่า ingenium นี้แผลงมาจากศัพท์เดิมว่า "eignere" หรือ "genere" ซึ่งแปลว่า ผลิต ประดิษฐ์ สร้าง หรือทำให้เกิดขึ้น

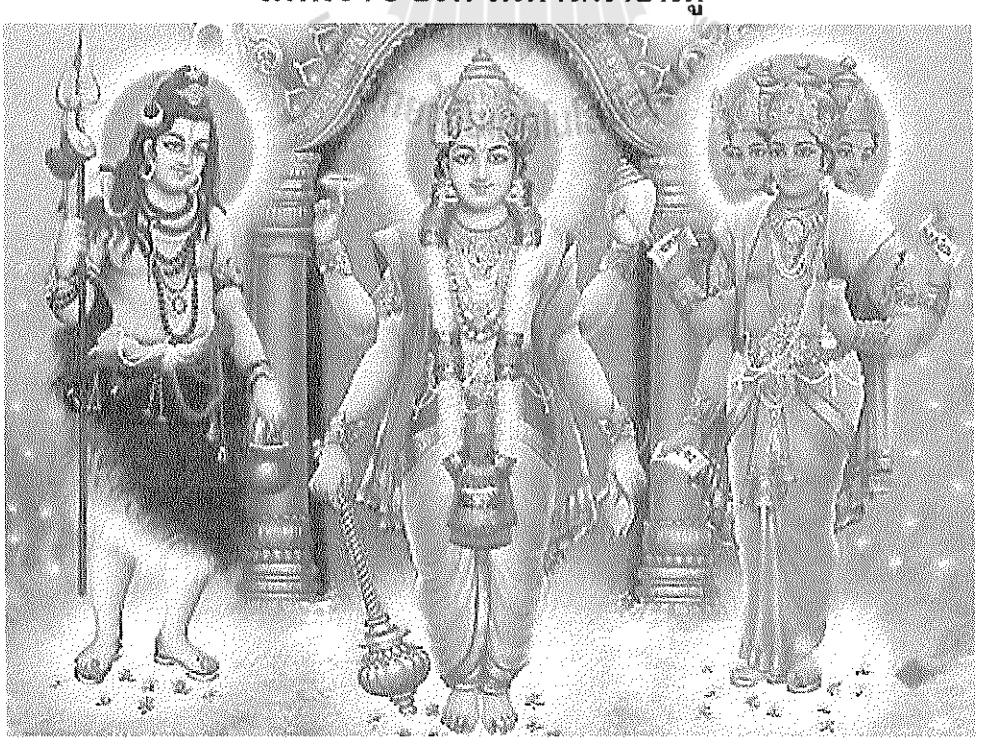
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Engineering - Engineers

☑ *วิศวกร (Engineers)* ผู้ที่ประกอบอาชีพทางด้านวิศวกรรม มีหน้าที่ศึกษาวิเคราะห์ คำนวณ ออกแบบ ตรวจสอบแก้ไขปัญหาและควบคุมการผลิต อาทิ การก่อสร้างสิ่งก่อสร้าง การออกแบบและผลิตรถยนต์ การควบคุมเครื่องจักรกลโรงงานต่าง ๆ

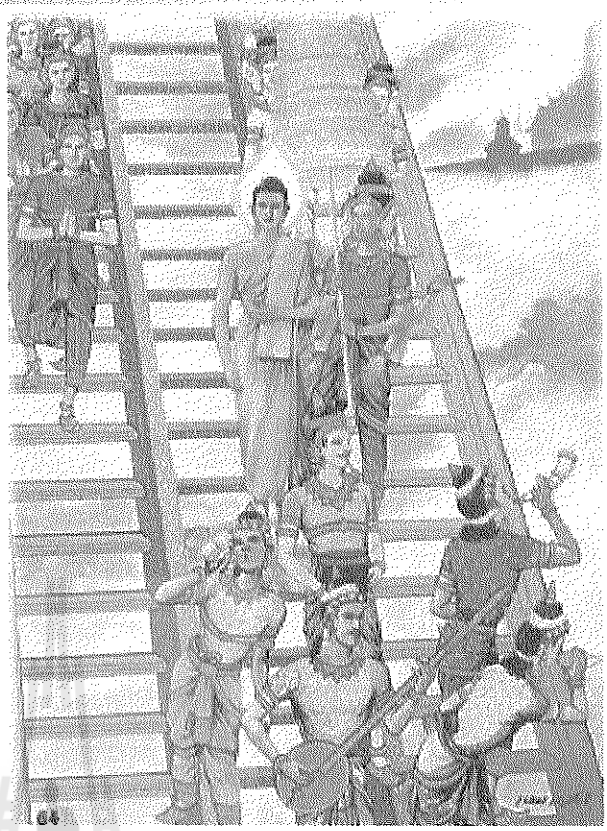
☑ โดยวิศวกรยังแบ่งออกได้เป็นหลายสาขา เช่น วิศวกรเครื่องกล วิศวกรโยธา วิศวกรไฟฟ้า วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเกษตร วิศวกรรมอากาศยาน วิศวกรรมโลหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมเซรามิก วิศวกรรมเหมืองแร่ วิศวกรรมยานยนต์ **วิศวกรรมธรณี** ฯลฯ

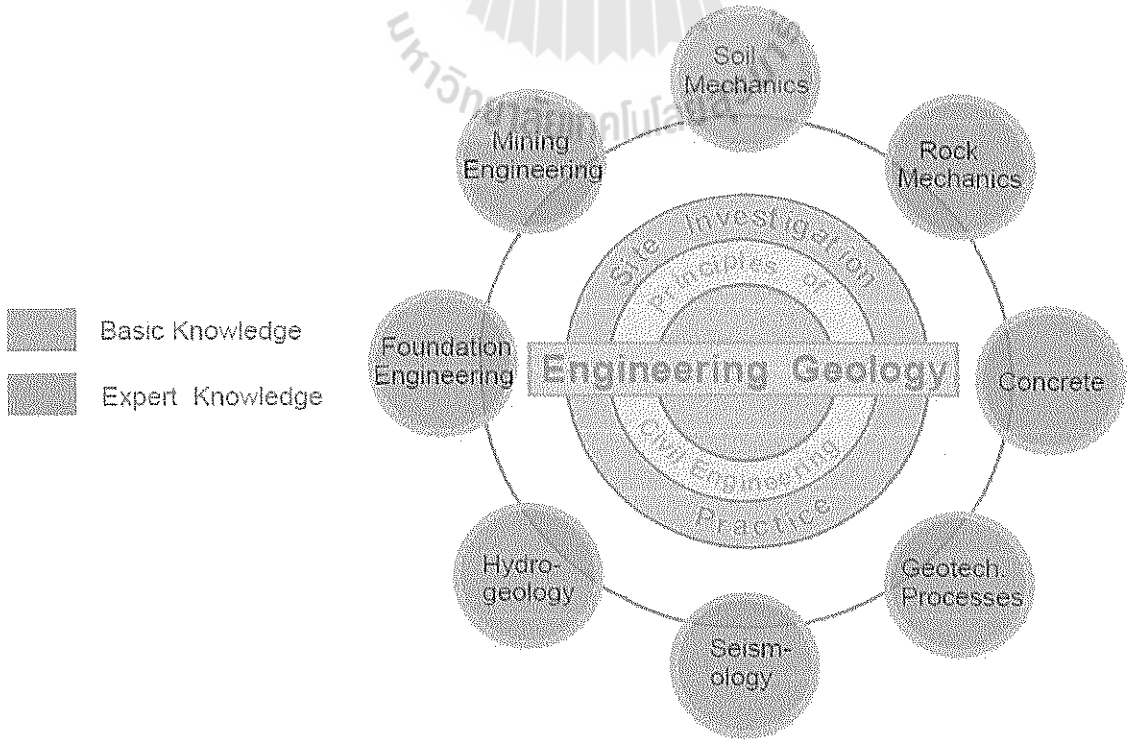
เทพเจ้า 3 องค์ ในศาสนาฮินดู

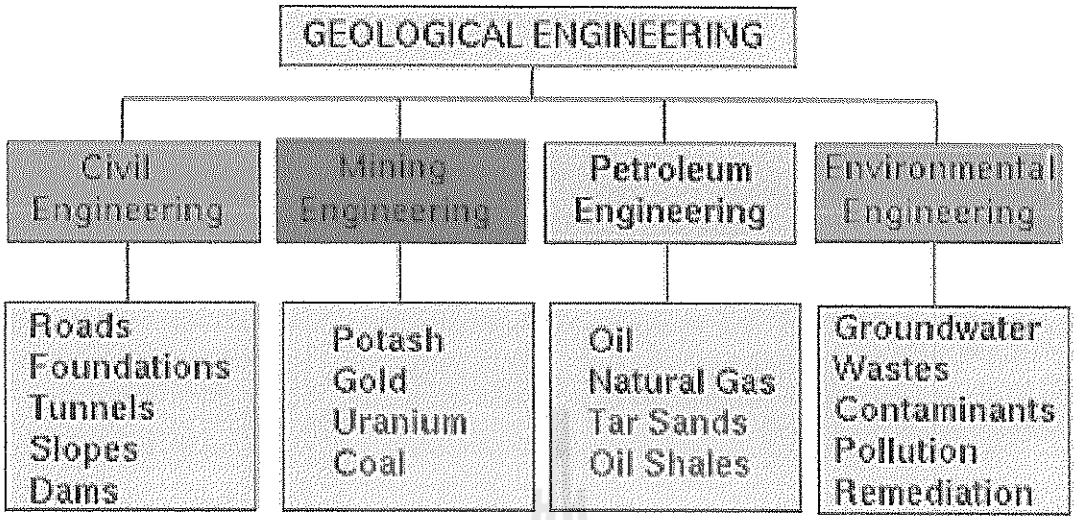


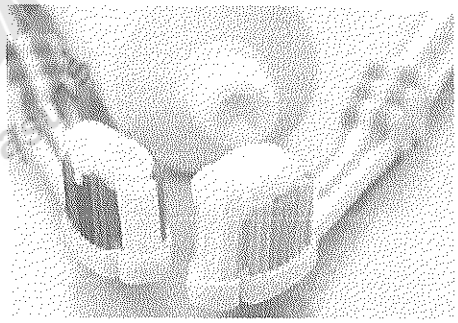
พระศิวะ หรือ พระอิศวร　　พระวิษณุ หรือ พระนารายณ์　　พระพรหม

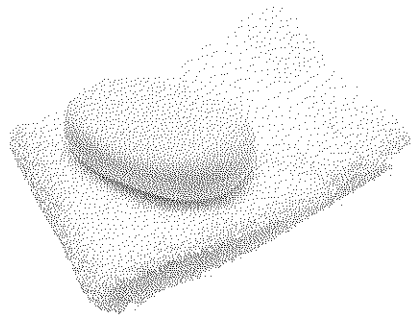
พระอิศวรทรงโค

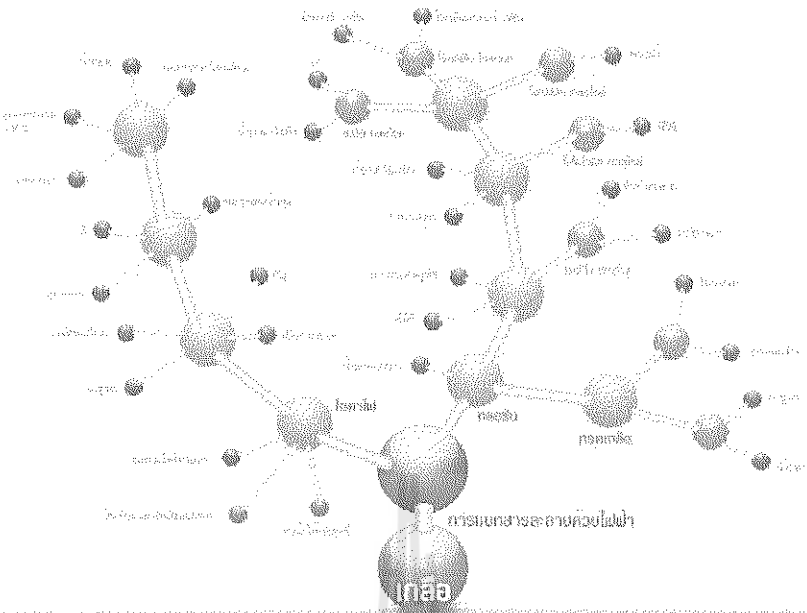



Basic Knowledge
Expert Knowledge
Soil Mechanics
Rock Mechanics
Concrete
Geotech. Processes
Seism-ology
Hydro-geology
Foundation Engineering
Mining Engineering
Site Investigation
Principles of
Engineering Geology
Civil Engineering
Practice

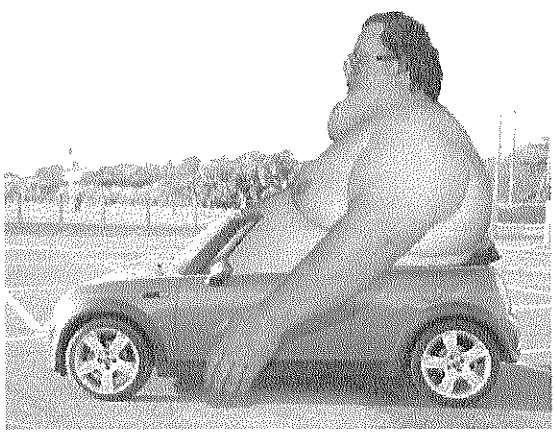

GEOLOGICAL ENGINEERING
Civil Engineering
Mining Engineering
Petroleum Engineering
Environmental Engineering
Roads
Foundations
Tunnels
Slopes
Dams
Potash
Gold
Uranium
Coal
Oil
Natural Gas
Tar Sands
Oil Shales
Groundwater
Wastes
Contaminants
Pollution
Remediation

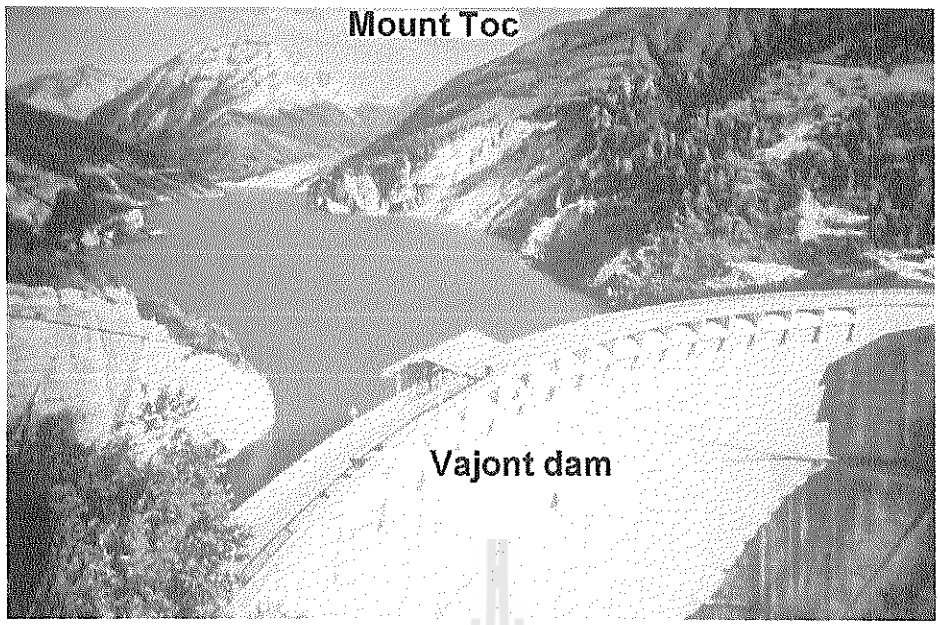




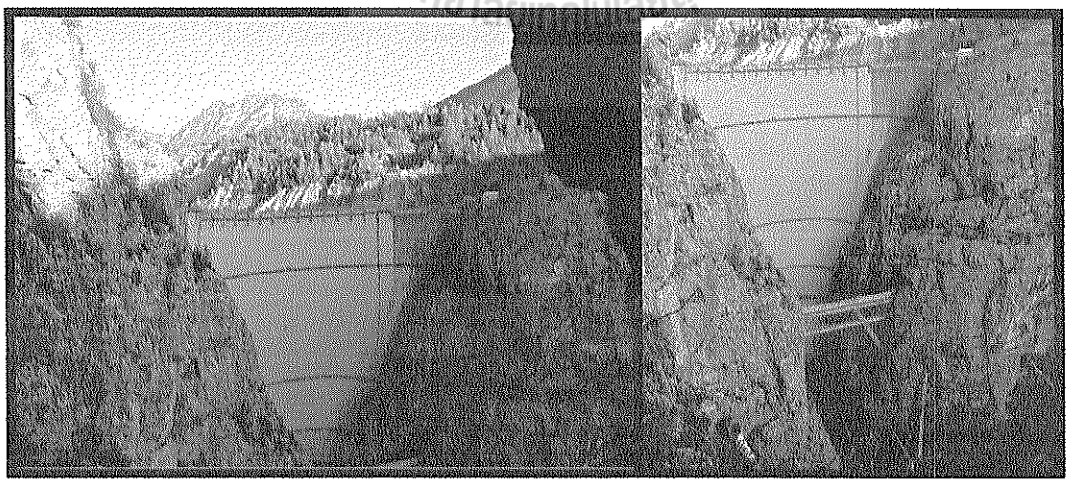


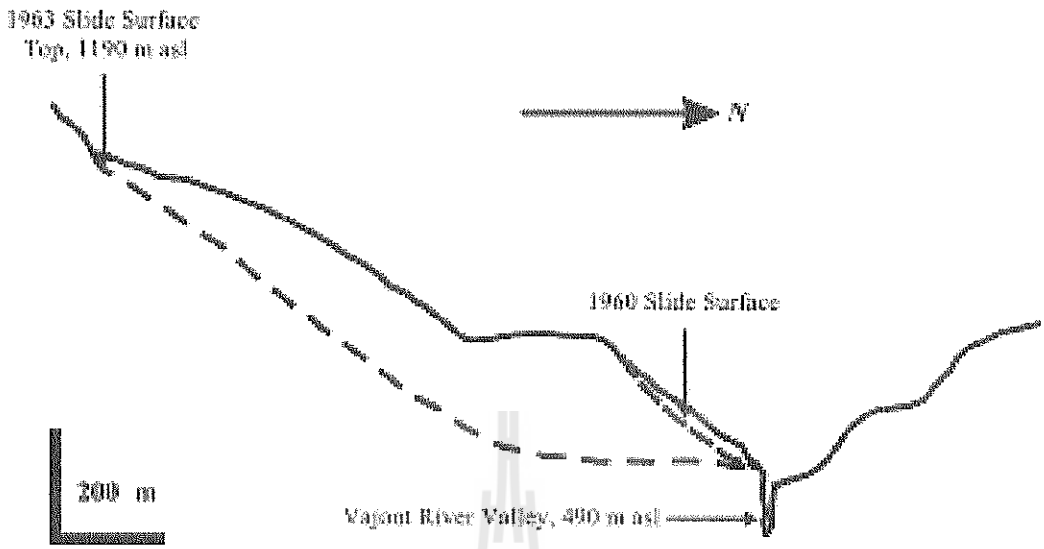
ประโยชน์จากเกลือ



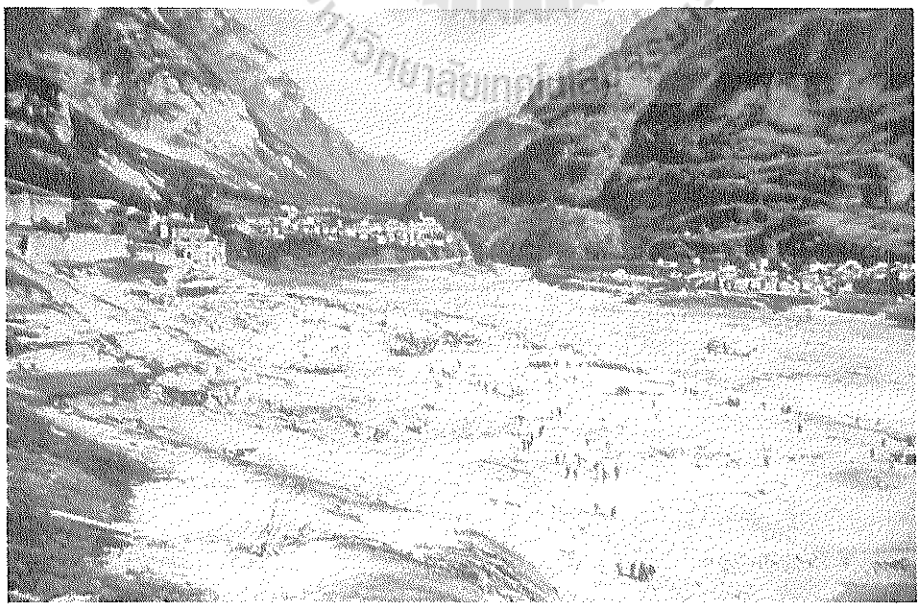


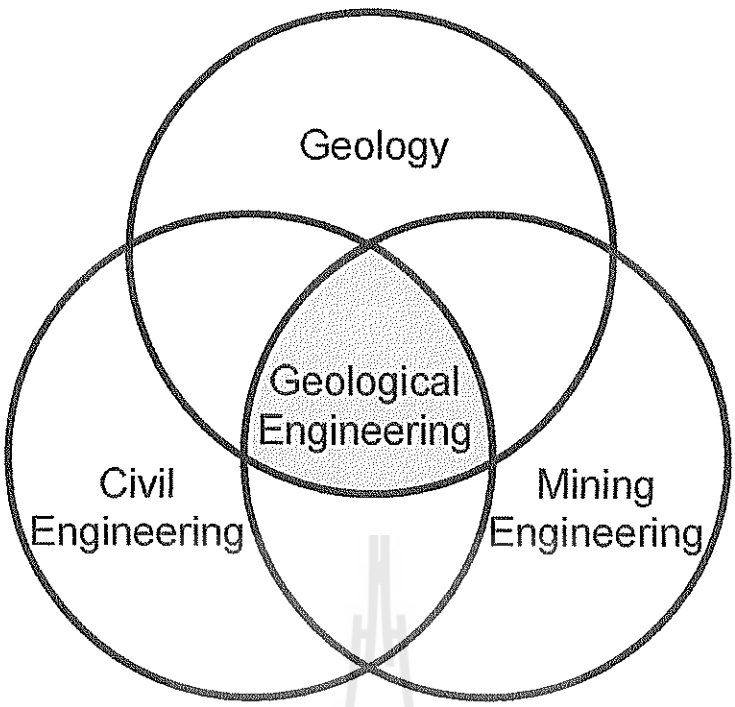
The **Vajont dam** during impounding of the reservoir. In the middle distance, in the center of the picture, is **Mount Toc** with the unstable slope visible as white scar on the mountain side above the waterline.




1903 Slide Surface
Top, 1190 m asl
N
1960 Slide Surface
200 m
Vajont River Valley, 490 m asl

The town of **Longarone**, located downstream of the **Vajont dam**, before the **Mount Toc** failure in October 1963.





วิศวกรรมธรณี คืออะไร?

วิศวกรรมธรณี คือ การนำองค์ความรู้ทางด้านกลศาสตร์ปฐพี กลศาสตร์ธรณี และอุทกวิทยา ธรณีวิทยา มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ ออกแบบและก่อสร้าง เขื่อน อุโมงค์ อ่างเก็บน้ำ เหมืองใต้ดินและบนดิน ฐานราก อาคารและการตัดถนน ครอบคลุมการสำรวจและคำนวณปริมาณสำรองของทรัพยากรน้ำบาดาล น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ แร่เศรษฐกิจ และหินที่ใช้เป็นวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Topics on Geotechniques

- Introduction to Geotechniques
- Soil Engineering
- Geohydrology
- Rock Engineering
- Rock Slope Engineering
- Tunneling and Underground Mines
- Foundation on Rock
- Site Investigation
- In-situ Measurements and Monitoring

วิศวกรรมดินเบื้องต้น
(8 ชั่วโมง)

- การกำเนิดดิน
- ความสัมพันธ์เชิงปริมาตรและน้ำหนัก
- การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน
- สถานภาพของดินเม็ดละเอียด
- ระบบการจำแนกดินเชิงวิศวกรรมศาสตร์: ระบบ USCS และ AASHTO

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อุทกธรณีวิทยา
(8 ชั่วโมง)

- วัฏจักรน้ำ
- การไหลของน้ำใต้ดิน
- ความดันชลศาสตร์และกฎของดาร์ซี่
- การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้
- โครงข่ายการไหล
- ผลกระทบของน้ำใต้ดินต่องานด้านวิศวกรรมธรณี

วิศวกรรมหินเบื้องต้น
(8 ชั่วโมง)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ความแตกต่างระหว่างหินกับวัสดุทางวิศวกรรม
- หินเนื้อแน่นและมวลหิน
- การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
- ความไม่ต่อเนื่องในมวลหิน
- ระบบการจำแนกมวลหิน

วิศวกรรมการขุดเจาะบนพื้นดิน
(8 ชั่วโมง)

- งานทางวิศวกรรมธรณีเกี่ยวกับการขุดเจาะบนพื้นดิน
- การวิบัติของความลาดชัน
- การวิเคราะห์การวิบัติของความลาดชัน

วิศวกรรมการขุดเจาะใต้ดิน
(8 ชั่วโมง)

- งานที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะใต้พื้นดิน: อุโมงค์ เหมืองใต้ดิน เหมืองเกลือแบบละลาย
- ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเสถียรภาพของการขุดเจาะใต้พื้นดิน
- การออกแบบเหมืองใต้ดินแบบห้องและเสาค้ำยัน

เทคนิคการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลในภาคสนาม (4 ชั่วโมง)

- การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลจากหินโผล่
- การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลใต้พื้นดิน

เค้าโครงรายวิชา (ปฏิบัติการ)

1	การสำรวจชั้นดินเบื้องต้นและการจำแนกดินทางวิศวกรรม	(3 ชั่วโมง)
2	การทดสอบหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตรและหาปริมาณความชื้น	(3 ชั่วโมง)
3	การทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก	(3 ชั่วโมง)
4	การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน	(3 ชั่วโมง)
5	การทดสอบหาขนาดการกระจายตัวของเม็ดดิน	(3 ชั่วโมง)
6	การบดอัดดินและแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช	(3 ชั่วโมง)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เค้าโครงรายวิชา (ปฏิบัติการ)

7	การหาความหนาแน่นของดินในภาคสนาม	(3 ชั่วโมง)
8	การทดสอบหาค่าความซึมผ่านของดิน	(3 ชั่วโมง)
9	การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรง	(3 ชั่วโมง)
10	การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด	(3 ชั่วโมง)
11	การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบถูกจำกัด	(3 ชั่วโมง)
12	การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ	(3 ชั่วโมง)

ปฏิบัติการธรณีเทคนิค

http://www.gerd.eng.ku.ac.th/cai/Introduce/Soil%20Laboratory%20Testing.htm

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Grading Policy

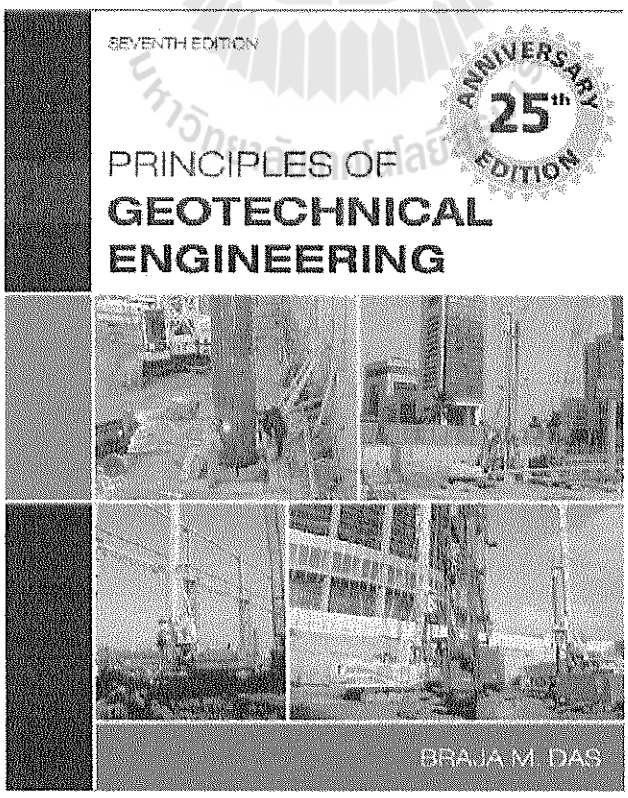
Class Attendance	5%
Quiz (s):	10%
Homework (s):	15%
Lab Testing (Report)	20%
Mid-Term Exam:	25%
Final Exam:	25%
Total	100%

Grading Policy

≥ 80	A
75 – 79	B+
70 – 74	B
65 – 69	C+
60 – 64	C
56 – 59	D+
50 – 55	D
> 50	F

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
วิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์



หัวข้อนำเสนอ

1) ธรรมชาติของดิน (Natural of soil)
2) ความสัมพันธ์เชิงปริมาตรและน้ำหนัก (Phase Relationship)
3) การวิเคราะห์ขนาดคละของเม็ดดิน (ดินเม็ดหยาบ+ดินเม็ดละเอียด)
4) สถานะของดินเม็ดละเอียด (Consistency)
5) การจำแนกชนิดของดิน
   - USCS (Unified Soil Classification System)
   - AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official)
6) คุณสมบัติของดิน
   - คุณสมบัติของดินขั้นพื้นฐาน
   - คุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรม
7) การบดอัดดิน
8) การหาความหนาแน่นของดินในภาคสนาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(1)

ธรรมชาติของดิน
(Natural of soil)

ความหมายของดิน

วัสดุที่ตกตะกอนทับถมกันเป็นผิวเปลือกโลกแบ่งออกเป็น ดิน และ หิน

ดิน คือ ส่วนที่ตกตะกอนทับถมกันไม่แน่น แยกจากกันได้ง่าย เช่น นำไปละลายน้ำ

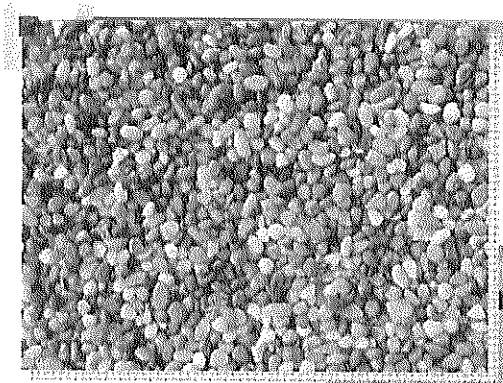
หิน คือ ส่วนที่แข็งแรงและยึดจับกันแน่นมาก (โดยตัวประสานและไม่สามารถแยกจากกันได้ง่าย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความหมายของดินในทางวิศวกรรม

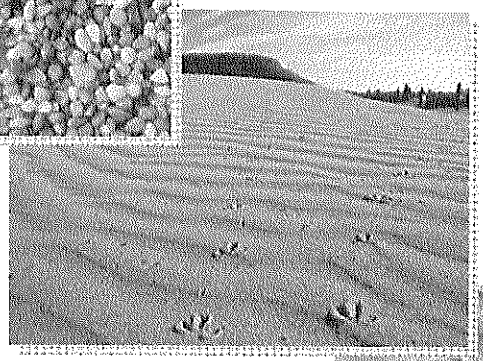
วัสดุที่ตกตะกอนแล้วทับถมกันไม่แน่น เช่น กรวด (gravel) ทราย (sand) ตะกอนทราย (silt) และดินเหนียว (clay) อาจเป็นพวกที่มีความเชื่อมแน่น หรือไม่มีความเชื่อมแน่น

ดิน เกิดจากการกัดกร่อน ผุพังและแตกสลายของหินต่างๆ โดยธรรมชาติ จากอิทธิพลดินฟ้าอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความกดดัน แรงดึงดูดของโลก และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี



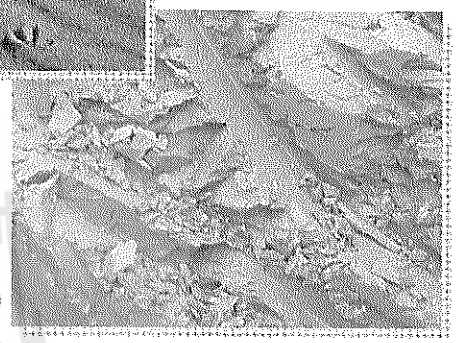
กรวด (gravel)

(4.75 – 75 mm)



ทราย (sand)

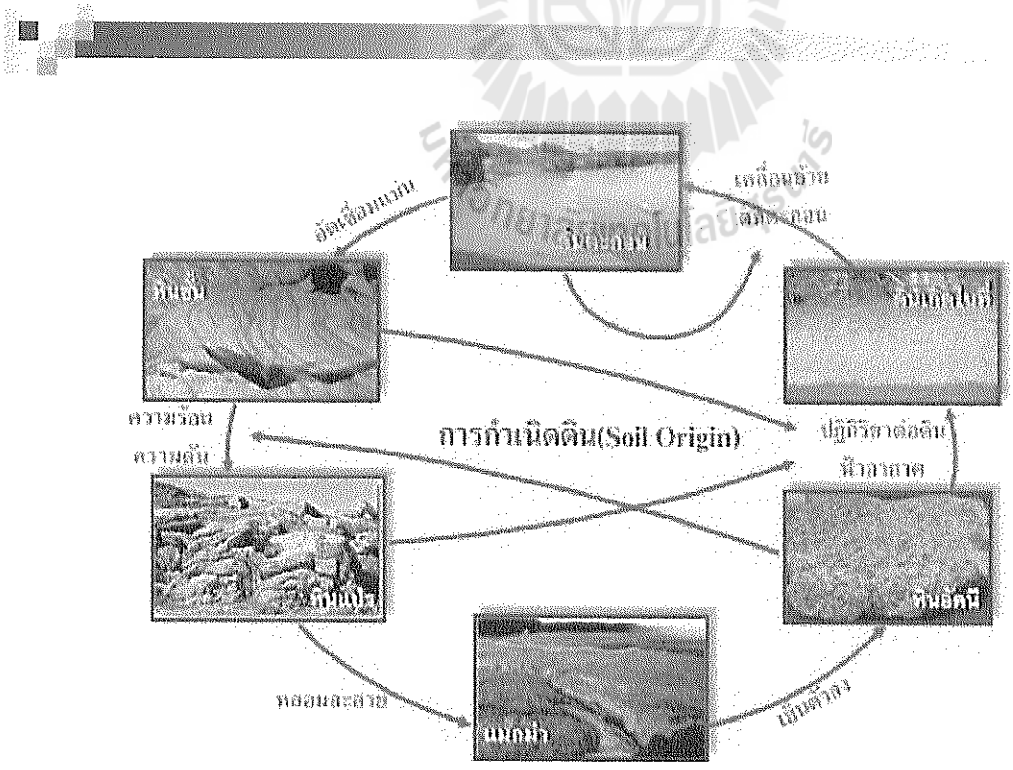
(0.075 - 4.75 mm)

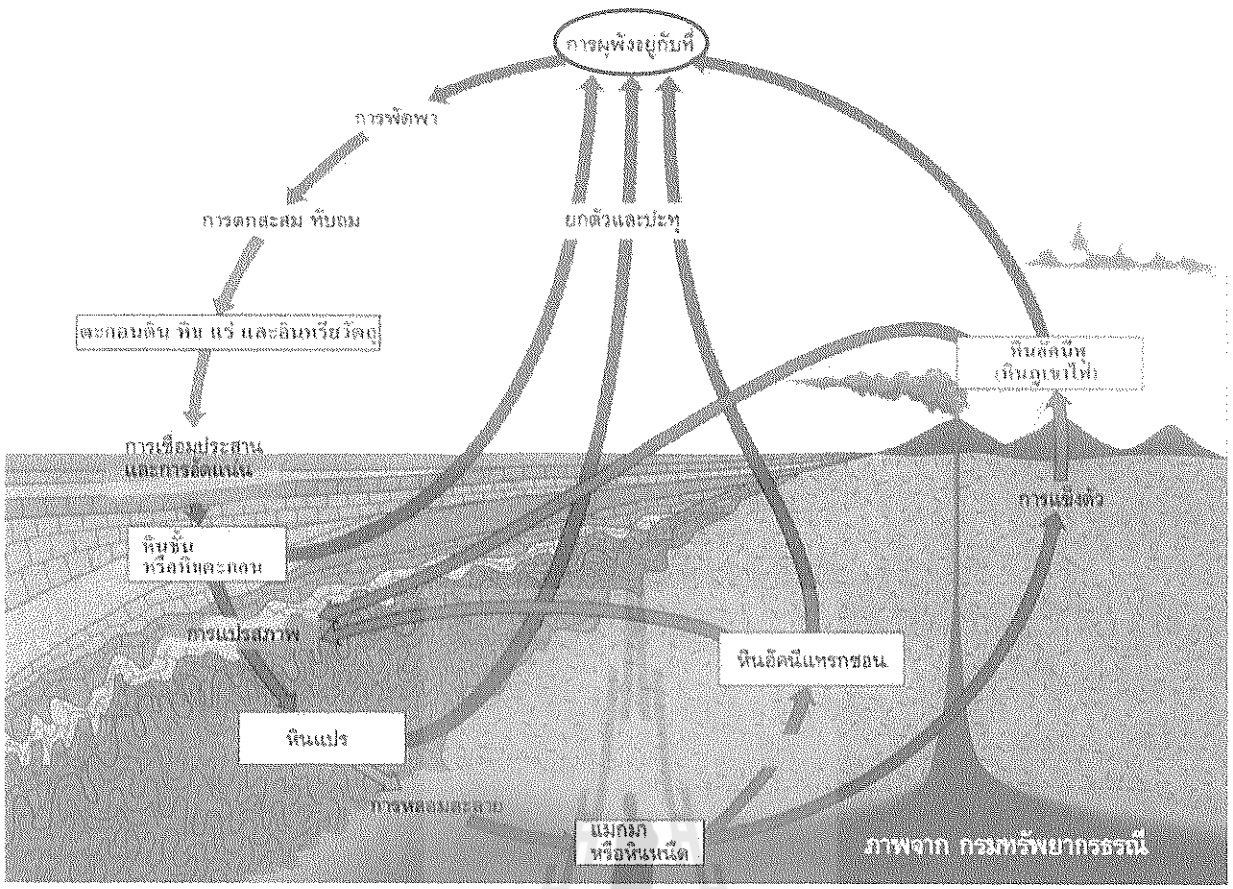


ตะกอนทราย (Silt)

และดินเหนียว (Clay)

(0.001 – 0.075 mm)





ขบวนการผุกร่อนของหินเป็นดิน

เป็นขบวนการทำลายที่เกิดขึ้นกับหินและดิน อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

- การผุกร่อนทางกายภาพ – ผุกร่อนขนาดลดลง แร่ธาตุเดิมคงอยู่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี มักเกิดจากสภาวะอากาศร้อนสลับหนาว <u>ได้เม็ดดินขนาดใหญ่</u> ได้แก่ กรวด ทราย
- การผุกร่อนทางเคมี – ทำให้เกิดสารเคมีเชื่อมแน่น ออกไซด์ของเหล็ก และ คาร์บอเนต ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นได้แก่ ไฮเดรชัน คาร์บอเนชัน ไฮดรอลิซิส ออกซิเดชัน <u>ได้เม็ดดินขนาดเล็ก</u> ได้แก่ ดินเหนียว ดินตะกอน

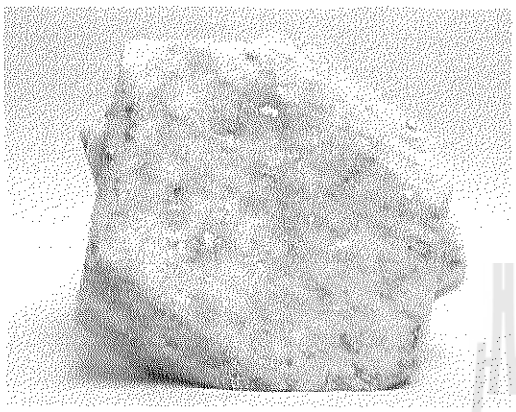
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

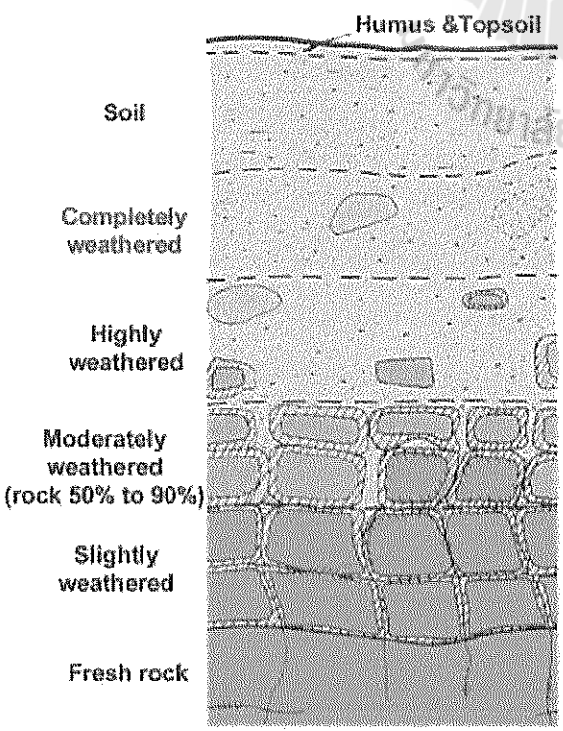
$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + (HCO_3)^-$$

Carbonic acid

$$2K(AlSi_3O_8) + 2H^+ + H_2O \rightarrow 2K^+ + 4SiO_2 + Al_2Si_2O_5(OH)_4$$

Orthoclase — Silica — Kaolinite (clay mineral)





ลักษณะของชั้นดินแบบเกิดในที่ (Residual Soil)

A Horizon

- ดินผิวบน: มีสีเข้มเนื่องจากอินทรียวัตถุตกตะกอนทับถมอยู่
- มีการยุบตัวได้สูงเมื่อรับน้ำหนักกระทำ

B Horizon

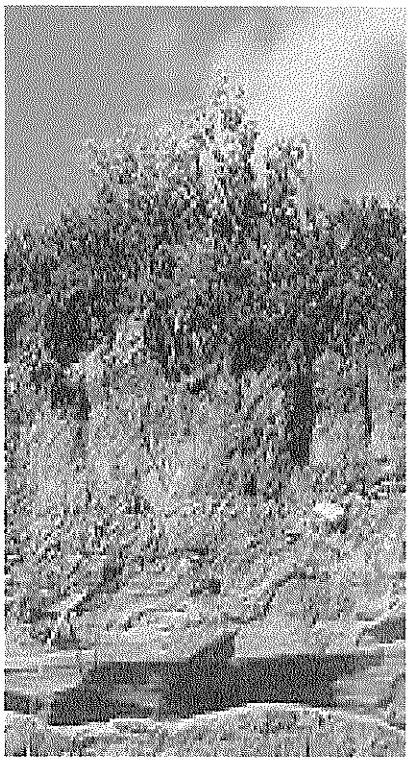
- ขนาดเม็ดดินใหญ่กว่าชั้น A Horizon

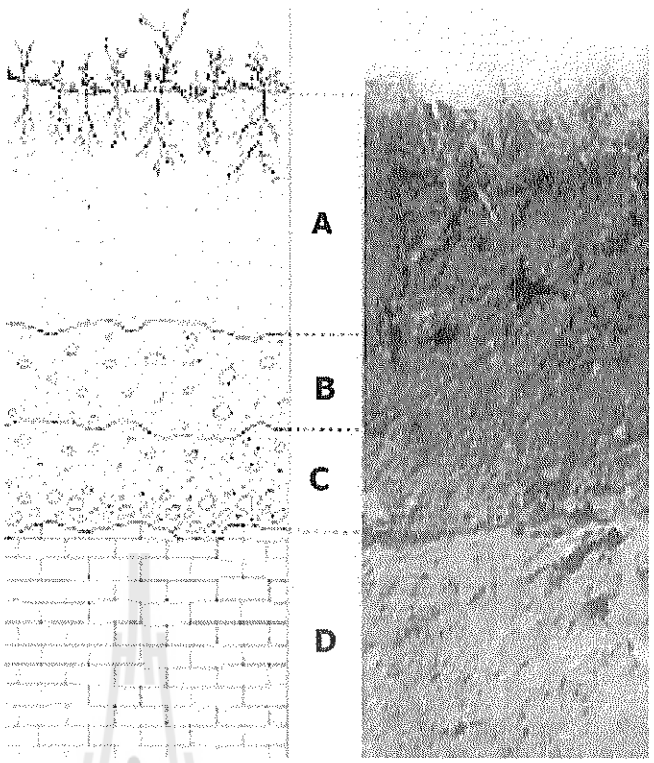
C Horizon

- มีการผุกร่อนเพียงบางส่วน เม็ดหินที่ปนอยู่มีขนาดใหญ่ และมีดินปนอยู่บางส่วน

D Horizon

- เป็นชั้นหินแม่หรือหินต้นกำเนิดดิน (Parent rock)





ชนิดของดิน ดินที่เกิดจากการพัดพาของตัวกลาง (Transported Soil)

ตัวกลาง ได้แก่ น้ำ ธารน้ำแข็ง ลม และแรงโน้มถ่วงของโลก ประเภทของดิน ได้แก่

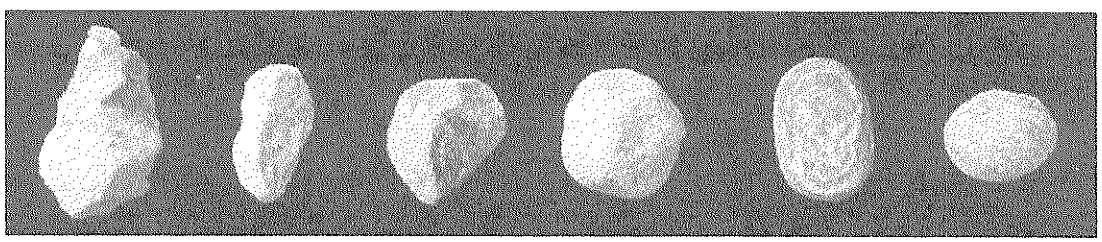
- ดินที่เกิดจากการพัดพาของน้ำ
  - ดินตะกอนแม่น้ำ (Alluvial Deposit) เป็นดินเหนียว มีการทรุดตัวสูง
  - ดินทะเลสาบ (Lacustrine Deposit) เป็นดินเหนียว และทรายแป้งบริเวณขอบ
  - ดินสมุทร (Marine Deposit) ทรายเม็ดหยาบอัดแน่น ดินเหนียวมีสารอินทรีย์ปน
  - ดินที่เกิดจากการพัดพาของธารน้ำแข็ง (Glacial Deposit) หนาแน่นสูง ทรุดตัวน้อย แต่บวมมากเมื่อโดนน้ำ
- ✔ ดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok Clay) เป็นดินตะกอนแม่น้ำ และดินสมุทร
- ดินที่เกิดจากการพัดพาของลม (Aeolian Deposit)
- ดินที่เกิดจากการพัดพาของแรงโน้มถ่วง (Colluvial Deposit)

อนุภาคดิน ขนาดอนุภาคเม็ดดิน

ชนิดของดิน	ช่วงของขนาดเม็ดดิน, มม.
หิน	ใหญ่กว่า 75 (3")
กรวดหยาบ	75 – 19 (3/4")
กรวดละเอียด	19 – 4.75 (#4)
ทรายหยาบ	4.75 – 2 (#10)
ทรายปานกลาง	2 – 0.425 (#40)
ทรายละเอียด	0.425 – 0.075 (#200)
ตะกอนทราย	0.075 – 0.005 หรือ 0.002
ดินเหนียว	0.005 หรือ 0.002 – 0.001
แขวนลอย	เล็กกว่า 0.001

ดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless soil)

กรวด (Gravel) *ทราย (Sand)* *ดินตะกอน (Silt)*



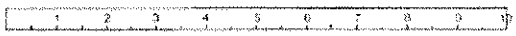
Very angular Angular Subangular Subrounded Rounded Well rounded

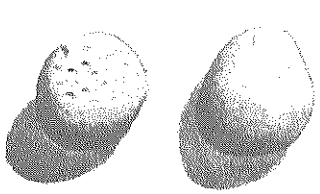
ลักษณะของเม็ดดิน

- เม็ดดินที่มีเหลี่ยม (Angular particles) มักจะพบในที่ที่ใกล้กับหินที่เป็นต้นกำเนิด และจะมีคุณสมบัติต้านทานแรงเฉือนได้ดีกว่า
- เม็ดดินที่มีลักษณะค่อนข้างกลม (Rounded particles) มักจะพบในบริเวณที่ไกลจากแหล่งกำเนิด

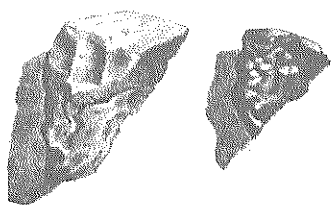
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อนุภาคดิน รูปร่างของเม็ดดิน -> แบบเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด

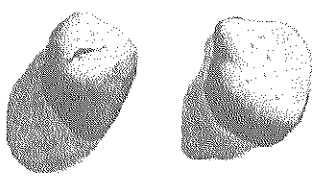




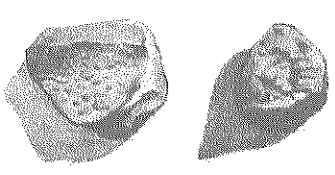
กลม



เหลี่ยมมน



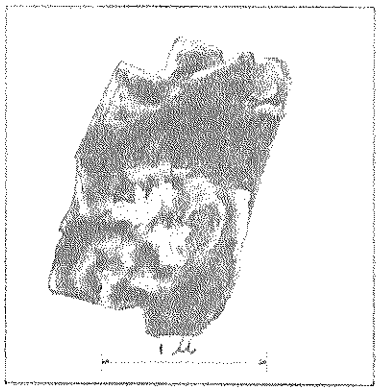
กลมมน



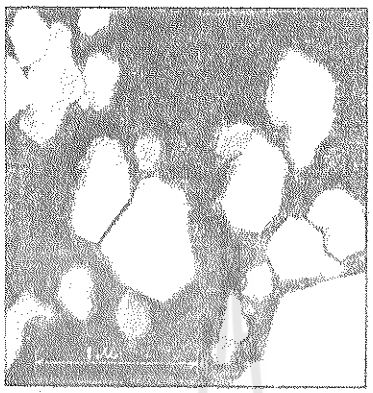
เหลี่ยมมน

- รับน้ำหนักได้มาก
- ยุบตัวน้อย
- ได้แก่ ดินเม็ดหยาบ เช่น กรวด ทราย

อนุภาคดิน รูปร่างของเม็ดดิน -> แบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด



Mica



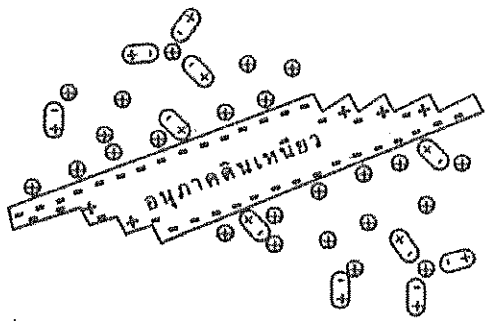
Kaolinite

- ถูกอัดและยุบตัวได้ง่าย ภายใต้น้ำหนักคงที่
- มั่นคงต่อแรงสั่นสะเทือน
- ได้แก่ ดินเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทราย ดินเหนียว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แร่ดินเหนียว (Clay Mineral)

เกิดจากการผุกร่อนของแร่เฟลดสพาร์ (Feldspar) และไมก้า (Mica)



⊕ ประจุบวก
⊕ โมเลกุลของน้ำ
- ประจุลบสุทธิบนผิวอนุภาค

- เป็นแผ่นบาง มีประจุลบรอบผิว ประจุบวกบริเวณขอบ
- ยึดจับกันด้วยแรงดึงดูดระหว่าง ประจุบวกที่มีในโมเลกุลน้ำ กับ ประจุลบรอบผิวอนุภาคเม็ดดิน

แร่ดินเหนียว (Clay Mineral)

แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ขึ้นกับการจัดเรียงตัวและชนิดของอิออนซึ่งเชื่อมต่อระหว่างชั้น ได้แก่

- กลุ่มคาโอลิไนท์ (Kaolinite)
- กลุ่มมอนท์มอริโอไนท์ (Montmorillonite)
- กลุ่มอิไลท์ (Illite)

แร่ดินเหนียว กลุ่มคาโอลิไนท์ (Kaolinite)

- เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของดินแบบ Residual
- จับตัวแข็งแรง น้ำไม่สามารถซึมเข้าไปแทรกได้
- การขยายตัว (Expansion) น้อย
- สปส. ความเสียดทานภายใน (Coefficient of Internal Friction) สูงกว่าแร่ดินเหนียวชนิดอื่น

แร่ดินเหนียว กลุ่มมอนท์มอริโอไนท์ (Montmorillonite)

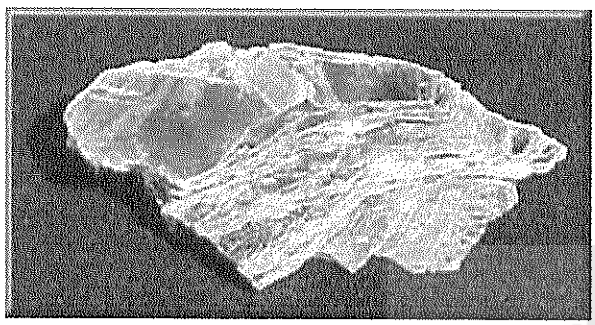
- การจับตัวค่อนข้างหลวม
- มีการบวมตัว (Swell) มาก เมื่อโดนน้ำ
- เมื่อแห้งจะเกิดการหดตัว (Shrinkage) มาก
- มีการทรุดตัวสูง
- ดินที่มีแร่ชนิดนี้ปนอยู่มาก เป็นดินที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่ดี

แร่ดินเหนียว กลุ่มอิไลท์ (Illite)

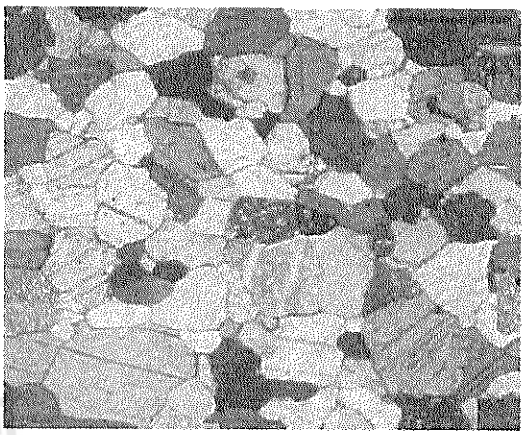
- จับตัวคล้ายกับแร่มอนท์มอริโอไนท์ แต่การจับตัวระหว่างรอยต่อมั่นคงกว่า
- การขยายตัว (Expansion) น้อยกว่าแร่มอนท์มอริโอไนท์
- สปส. ความเสียดทานภายใน (Coefficient of Internal Friction) สูงกว่าแร่มอนท์มอริโอไนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แร่ในดินเหนียว

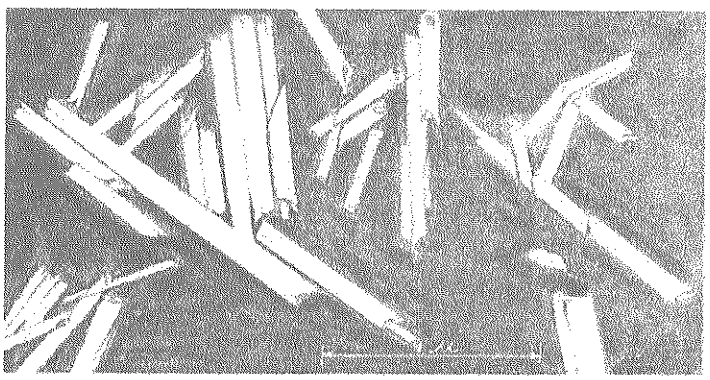


- แร่ไมก้า (Mica)



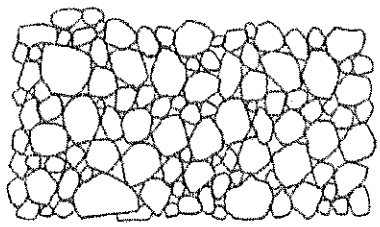
- แร่เฟลดสปาร์ (Feldspar)

อนุภาคดิน รูปร่างของเม็ดดิน -> แบบเป็นเส้น

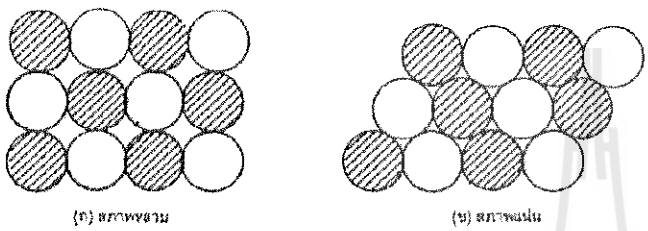


- คล้ายเข็ม
- คุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่ดี
- ได้แก่ ดินขี้เถ้าภูเขาไฟ ดินที่มีอินทรีย์สารปน เช่น Peat

อนุภาคดิน โครงสร้างของดิน -> แบบเม็ดเดี่ยว



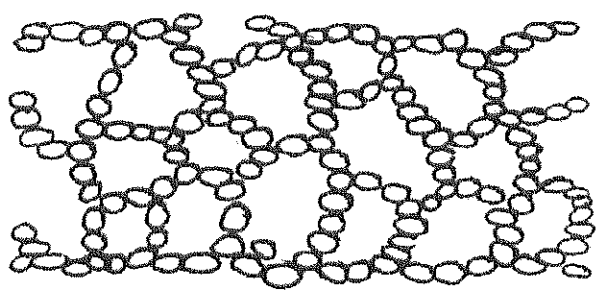
โครงสร้างของดินแบบเม็ดเดี่ยว



สภาพการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน

- เป็นโครงสร้างของตะกอนทรายที่ขนาดใหญ่กว่า 0.02 มม.
- ตกตะกอนแบบเม็ดต่อเม็ดซ้อนกันอยู่ในสภาพหลวม
- จะอัดแน่นเมื่อได้รับแรงสั่นสะเทือน
- การทรุดตัวเกิดขึ้นทันทีที่รับน้ำหนัก

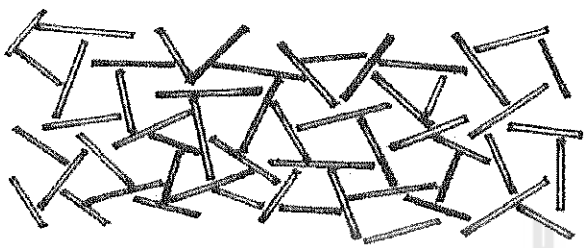
อนุภาคดิน โครงสร้างของดิน -> แบบรวงผึ้ง



โครงสร้างของดินแบบรวงผึ้ง

- เป็นโครงสร้างของตะกอนทรายที่ขนาดเล็กกว่า 0.02 มม.

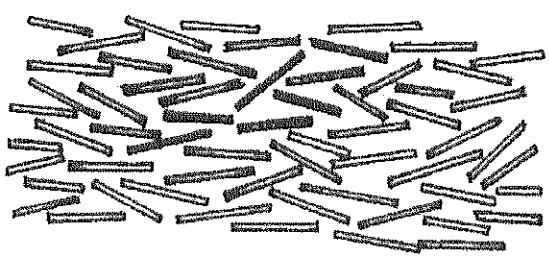
อนุภาคดิน โครงสร้างของดิน -> แบบ Flocculate



โครงสร้างของดินเหนียวแบบระเกะระกะ

- เป็นโครงสร้างของพวกดินเหนียว เกิดจากการตกตะกอนในน้ำทะเล
- เม็ดดินยึดติดกันแบบ Edge-to-face จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดิน

อนุภาคดิน โครงสร้างของดิน -> แบบ Disperse

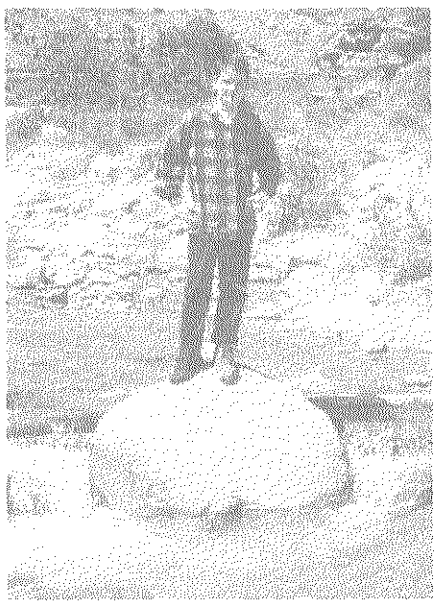


โครงสร้างของดินเหนียวแบบเป็นระเบียบ

- เป็นโครงสร้างของพวกดินเหนียว เกิดจากการตกตะกอนในน้ำจืด
- เม็ดดินยึดติดกันแบบ Face-to-face จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดิน

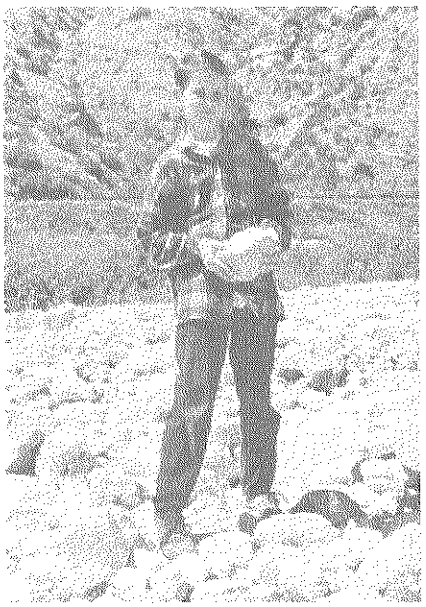
ดิน vs. หิน

ASTM ระบุว่าดินที่มีเม็ดใหญ่กว่า 3 นิ้ว (75 mm)



Boulder

"ROCK"



Cobble

ดังนั้น

ในทางวิศวกรรมดินจึงเกี่ยวข้องกับดิน

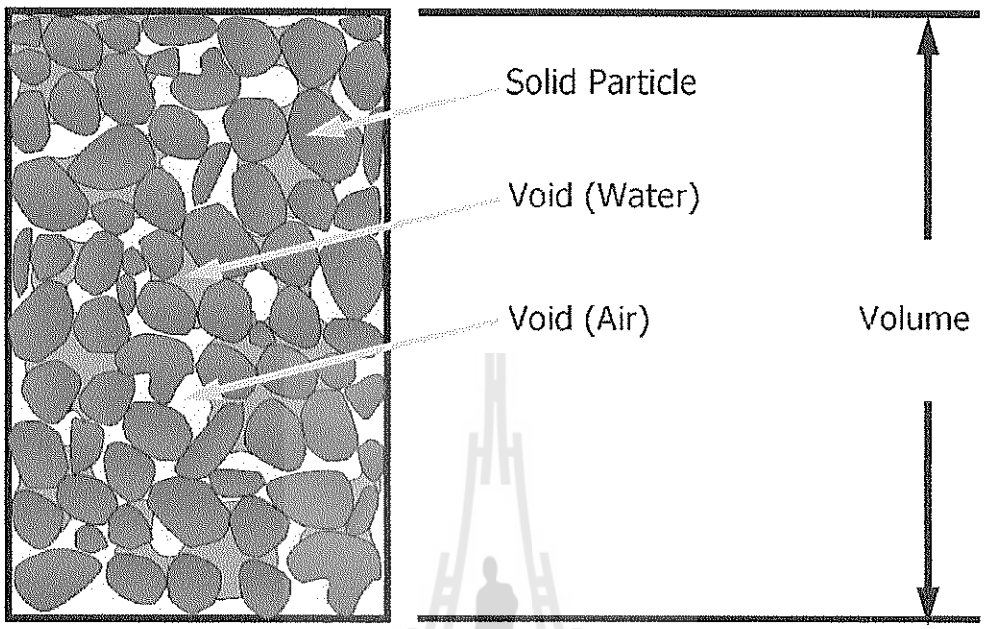
ที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า 3 นิ้ว หรือ 75 mm

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

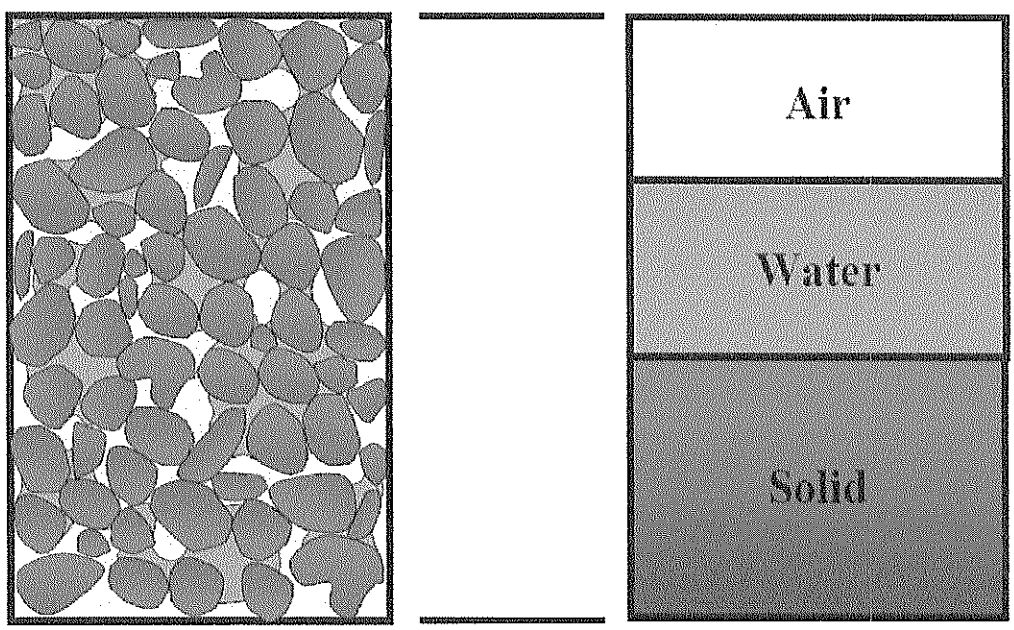
(2)

ความสัมพันธ์เชิงปริมาตรและน้ำหนัก (Phase Relationship)

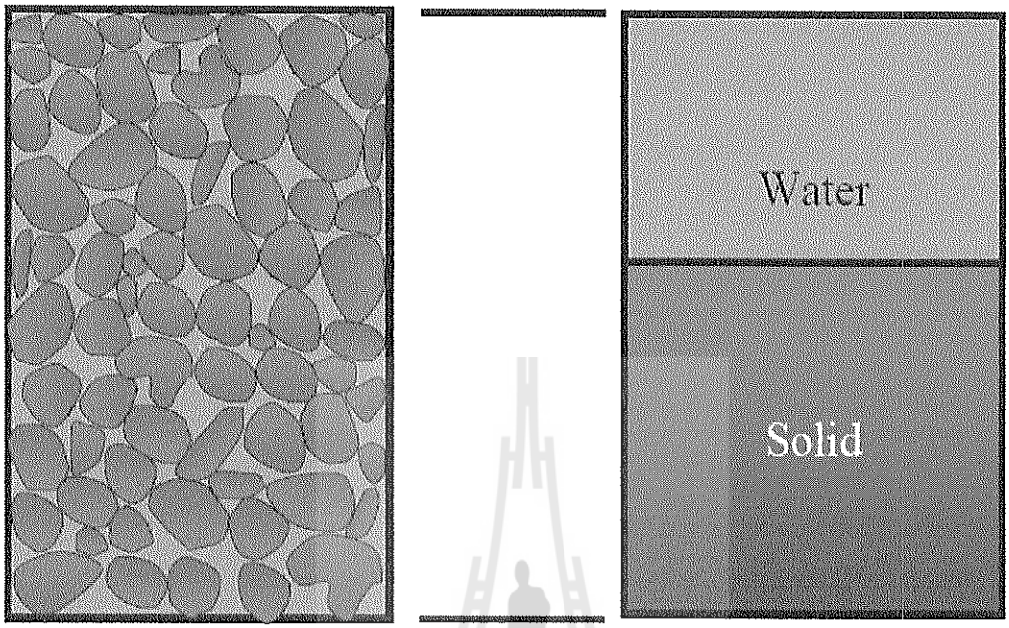
แบบจำลองของดิน



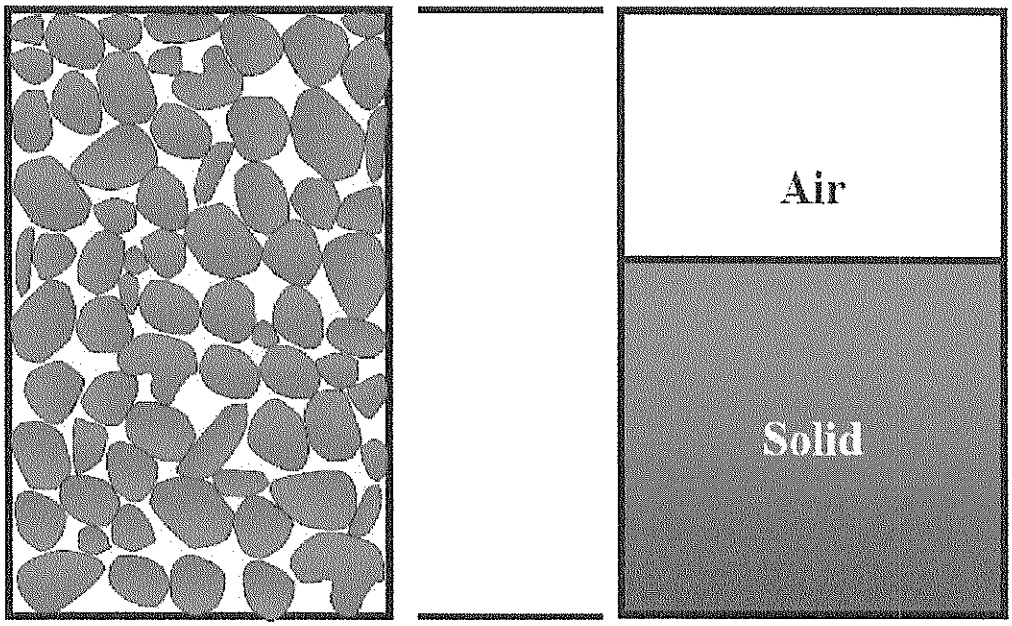
แบบจำลองของดิน...

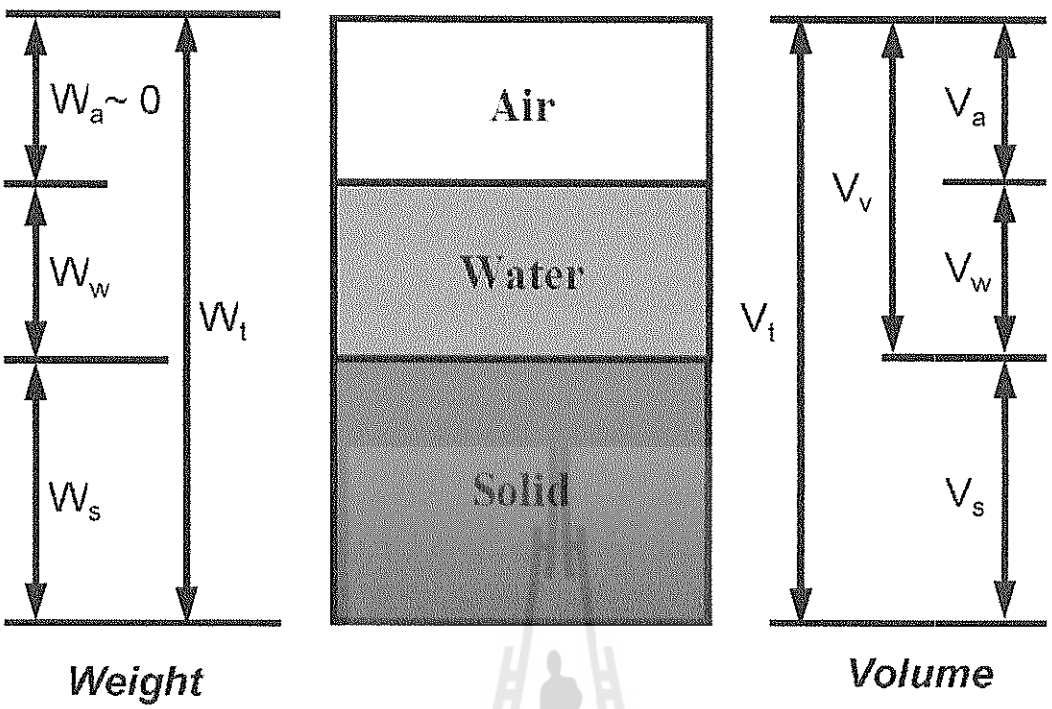


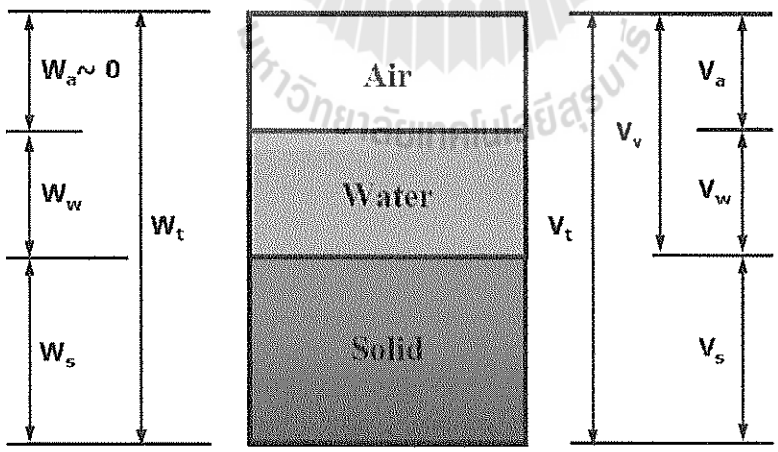
ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
(Fully Saturated Soil)



ดินแห้ง (จากการอบ)
Completely Dry Soil (Oven Dried)







W_a – น้ำหนักอากาศ = 0

W_w – น้ำหนักน้ำ

W_s – น้ำหนักเนื้อดิน

W_t – น้ำหนักรวม

V_a – ปริมาตรอากาศ

V_w – ปริมาตรน้ำ

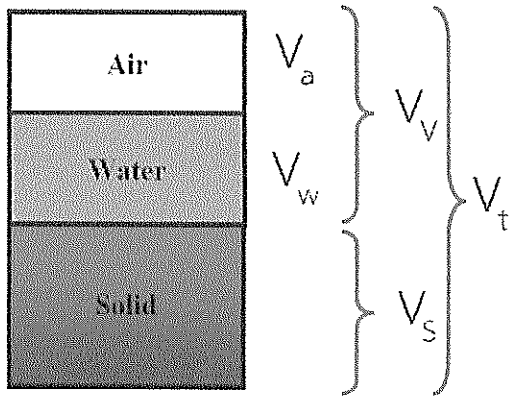
V_s – ปริมาตรเนื้อดิน

V_t – ปริมาตรรวม

- สัดส่วนช่องว่าง (e):

$$e = \frac{Volume\ of\ voids (V_v)}{Volume\ of\ solids (V_s)}$$

$$e = \frac{V_v}{V_t - V_v} = \frac{V_v / V_t}{1 - (V_v / V_t)} = \frac{n}{1-n}$$



- ความพรุน (n):

$$n = \frac{Volume\ of\ voids (V_v)}{Total\ volume\ of\ soil\ (V_t)}$$

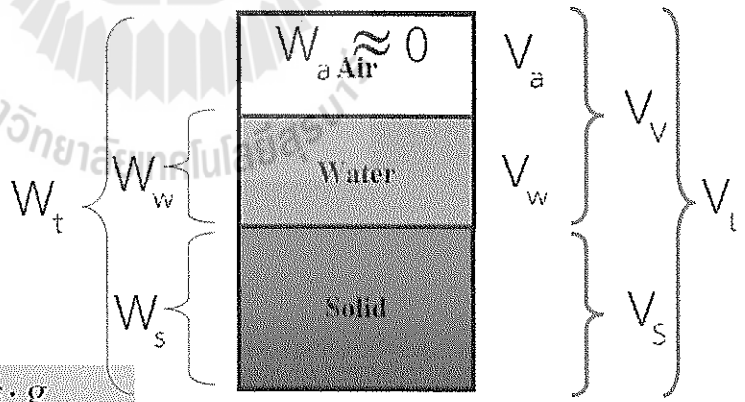
$$n = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{V_v / V_s}{1 + (V_v / V_s)} = \frac{e}{1+e}$$

- ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (S):

$$S = \frac{Total\ volume\ of\ voids\ contains\ water (V_w)}{Total\ volume\ of\ voids (V_v)} \times 100\%$$

- **ความหนาแน่น (ρ):**

$$\rho = \frac{Mass}{Volume}$$



- **หน่วยน้ำหนัก (γ):**

$$\gamma = \frac{Weight}{Volume} = \frac{Mass \cdot g}{Volume}$$

$$= \rho \times g = \rho \times 9.8\ m/sec^2$$

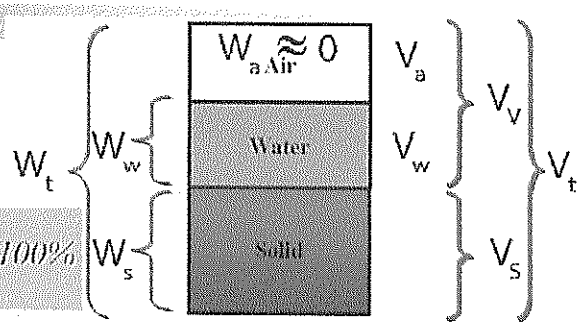
- **ค่าความถ่วงจำเพาะ (G_s):**

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{\rho_s \cdot g}{\rho_w \cdot g} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

$$Unit\ weight\ of\ water\ (\gamma_w) = 9.8\ kN/m^3$$

- ความชื้น (w)

$$w = \frac{Mass\ of\ water\ (W_w)}{Mass\ of\ soil\ solids\ (W_s)} \cdot 100\%$$



- ดินอินทรีย์บางประเภทจะมีความชื้นสูงตั้งแต่มากกว่า 100% ถึง 500%
- ทรายดูด (quick clays) มีค่าความชื้นสูงกว่า 100%

- หน่วยน้ำหนักของน้ำ (ผันแปรเล็กน้อยตามอุณหภูมิ)

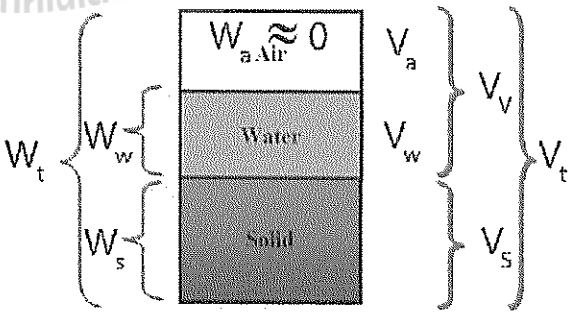
$$\rho_w = 1\,g/cm^3 = 1000\,kg/m^3 = 1\,Mg/m^3$$

ความหนาแน่นของดิน (Density of Soil)

a. ความหนาแน่นแห้ง (ρ_d):

$$\rho_{dry} = \frac{mass\ of\ soil\ solids\ (W_s)}{total\ volume\ of\ soil\ (V_t)}$$

W_w = 0 เนื่องจากตัวอย่างแห้ง



b. ความหนาแน่นรวม (0% < S < 100%, ดินไม่อิ่มตัว)

$$\rho_{bulk} = \frac{mass\ of\ soil\ (W_s + W_w)}{total\ volume\ of\ soil\ (V_t)}$$

ความหนาแน่นของดิน (Density of Soil)

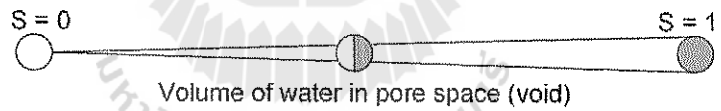
c. ความหนาแน่นอิ่มตัวด้วยน้ำ (S = 100%, V_a = 0)

$$\rho_{sat} = \frac{mass\ of\ soil\ solids + water}{total\ volume\ of\ soil} = \frac{W_s + W_w}{(V_t)} = \frac{W_s + \rho_w V_v}{(V_t)}$$

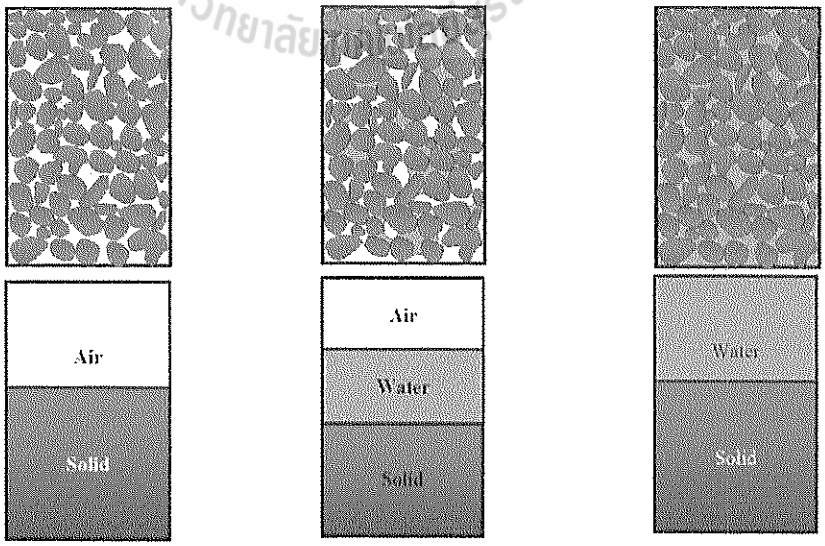
d. Submerged density or Buoyant density (ρ')

$$\rho' = \rho_{sat} - \rho_w$$

$$\gamma_{sub} = \left(\frac{G_s - 1}{1 + e}\right)\gamma_w$$

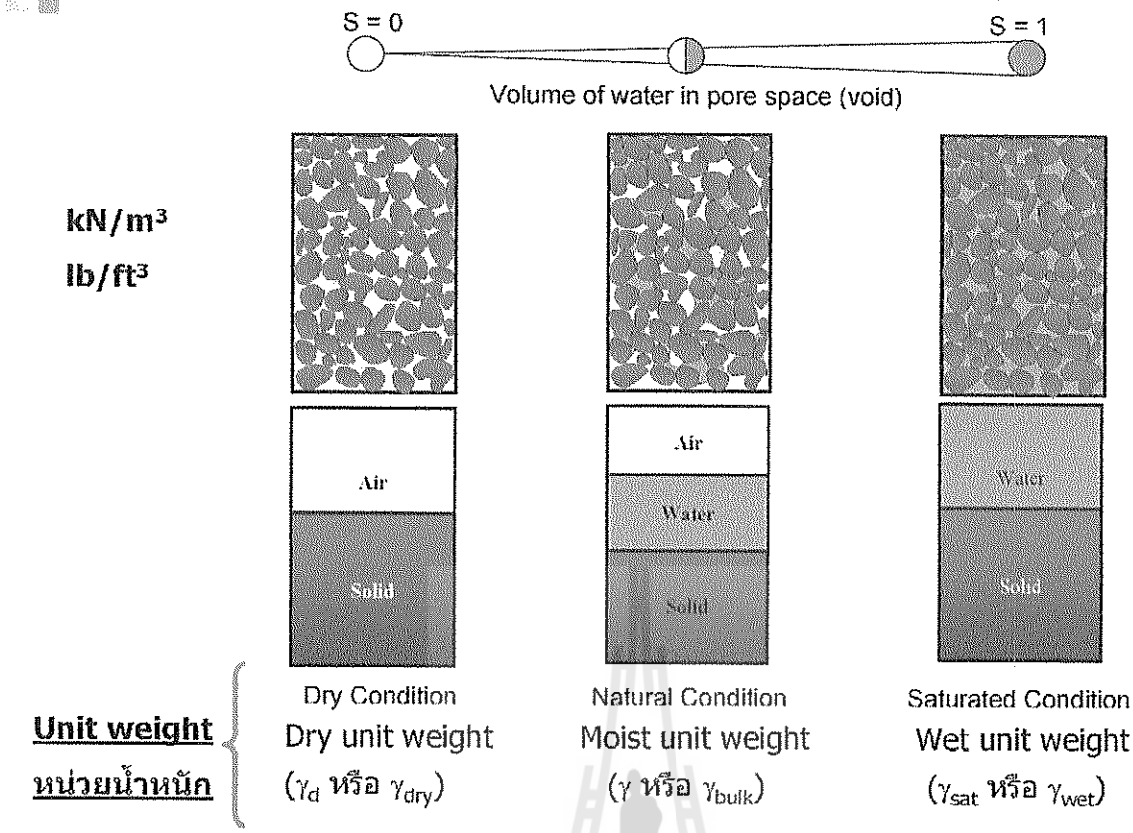


t/m³
kg/m³
g/cm³
lb/ft³



Density
ความหนาแน่น

Dry Condition	Natural Condition	Saturated Condition
Dry density	Moist density	Wet Density
(ρ_d หรือ ρ_{dry})	(ρ หรือ ρ_{bulk})	(ρ_{sat} หรือ ρ_{wet})



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ค่าโดยทั่วไปของคุณสมบัติดิน

Description	n	e	w_{sat}	ρ_d	ρ_{sat}
sand, loose and uniform	0.46	0.85	0.32	90	118
sand, dense and uniform	0.34	0.51	0.19	109	130
Sand, loose and mixed	0.40	0.67	0.25	99	124
sand, dense and mixed	0.30	0.43	0.16	116	135
glacial clay, soft	0.55	1.20	0.45	76	110
glacial clay, stiff	0.37	0.60	0.22	106	129

ค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ประกอบดิน

Table 3.1 Specific Gravities of Minerals

Quartz	2.65
K-Feldspars	2.54–2.57
Na–Ca-Feldspars	2.62–2.76
Calcite	2.72
Dolomite	2.85
Muscovite	2.7–3.1
Biotite	2.8–3.2
Chlorite	2.6–2.9
Pyrophyllite	2.84
Serpentine	2.2–2.7
Kaolinite	2.61[a]
	2.64 ± 0.02
Halloysite (2 H_2O)	2.55
Illite	2.84[a]
	2.60–2.86
Montmorillonite	2.74[a]
	2.75–2.78
Attapulgite	2.30

[a] Calculated from crystal structure.

(Lambe and Whitman, 1979)

Table 2.2 Specific Gravities of Common Minerals[a]

Mineral	*G*
Halite	2.1–2.6
Gypsum	2.3–2.4
Serpentine	2.3–2.6
Orthoclase	2.5–2.6
Chalcedony	2.6–2.64
Quartz	2.65
Plagioclase	2.6–2.8
Chlorite and illite	2.6–3.0
Calcite	2.7
Muscovite	2.7–3.0
Biotite	2.8–3.1
Dolomite	2.8–3.1
Anhydrite	2.9–3.0
Pyroxene	3.2–3.6
Olivine	3.2–3.6
Barite	4.3–4.6
Magnetite	4.4–5.2
Pyrite	4.9–5.2
Galena	7.4–7.6

[a] A. N. Winchell (1942).

(Goodman, 1989)

Table 3.1 Various Forms of Relationships for γ, γ_d, and γ_{sat}

Moist unit weight (γ)		Dry unit weight (γ_d)		Saturated unit weight (γ_{sat})	
Given	Relationship	Given	Relationship	Given	Relationship
w, G_s, e	$\dfrac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+e}$	γ, w	$\dfrac{\gamma}{1+w}$	G_s, e	$\dfrac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e}$
S, G_s, e	$\dfrac{(G_s+Se)\gamma_w}{1+e}$	G_s, e	$\dfrac{G_s\gamma_w}{1+e}$	G_s, n	$[(1-n)G_s+n]\gamma_w$
w, G_s, S	$\dfrac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+\dfrac{wG_s}{S}}$	G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)$	G_s, w_{sat}	$\left(\dfrac{1+w_{sat}}{1+w_{sat}G_s}\right)G_s\gamma_w$
		G_s, w, S	$\dfrac{G_s\gamma_w}{1+\left(\dfrac{wG_s}{S}\right)}$	e, w_{sat}	$\left(\dfrac{e}{w_{sat}}\right)\left(\dfrac{1+w_{sat}}{1+e}\right)\gamma_w$
w, G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)(1+w)$			n, w_{sat}	$n\left(\dfrac{1+w_{sat}}{w_{sat}}\right)\gamma_w$
S, G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)+nS\gamma_w$	e, w, S	$\dfrac{eS\gamma_w}{(1+e)w}$	γ_d, e	$\gamma_d+\left(\dfrac{e}{1+e}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, e	$\gamma_{sat}-\dfrac{e\gamma_w}{1+e}$	γ_d, n	$\gamma_d+n\gamma_w$
		γ_{sat}, n	$\gamma_{sat}-n\gamma_w$	γ_d, S	$\left(1-\dfrac{1}{G_s}\right)\gamma_d+\gamma_w$
		γ_{sat}, G_s	$\dfrac{(\gamma_{sat}-\gamma_w)G_s}{(G_s-1)}$	γ_d, w_{sat}	$\gamma_d(1+w_{sat})$

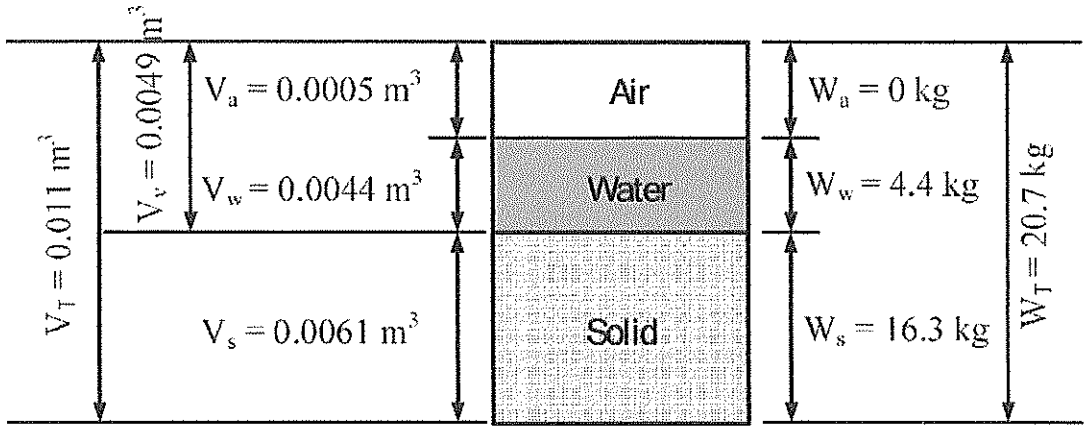
หมายเหตุ หากต้องการหาความสัมพันธ์ในรูปของความหนาแน่น (ρ) ให้นักศึกษาแทนค่าความหนาแน่นในตัวแปรที่เป็นหน่วยน้ำหนักได้เลย ดังนี้ แทน ρ_w ใน γ_w แทน ρ_d ใน γ_d และ แทน ρ_{sat} ใน γ_{sat}

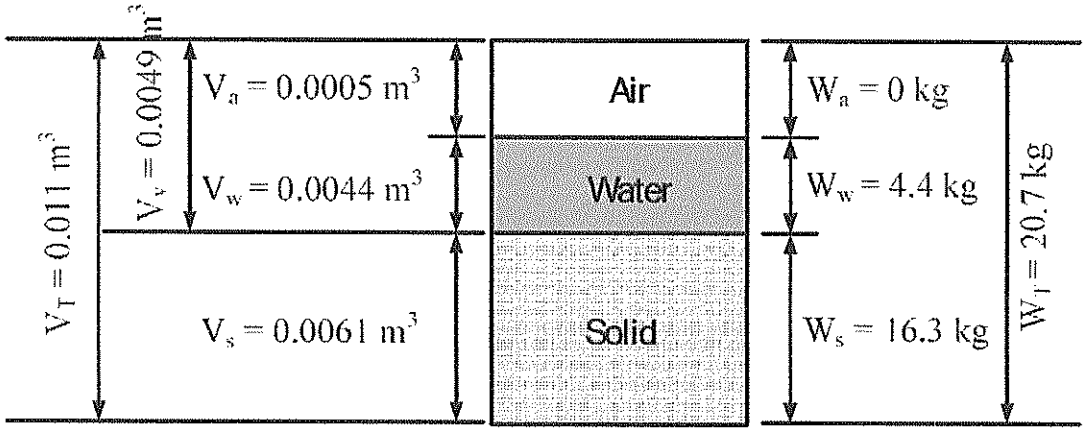
Example 1

"เคน" เก็บดินจากภาคสนามมามีปริมาตรเท่ากับ 0.011 m^3 เมื่อนำไปชั่งมีน้ำหนัก 20.7 กิโลกรัม จากนั้นนักศึกษานำดินไปอบแห้ง น้ำหนักดินหลังอบแห้งเท่ากับ 16.3 กิโลกรัม ถ้าเม็ดดินมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.68 จงคำนวณหา 1) Void's ratio (e) 2) ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (S) 3) หน่วยน้ำหนักดินในภาคสนาม (γ_{bulk}) 4) หน่วยน้ำหนักดินแห้ง (γ_{dry})

- **ในดินมีน้ำ, W_w = 20.7-16.3 = 4.4 kg**
  คิดเป็นปริมาตรน้ำ, $V_w = W_w/\rho_w$ = 4.4 kg/(1,000 kg/m³)
  = 0.0044 m³
- **ดินที่เก็บมามีของแข็งคิดเป็นน้ำหนัก, W_s = 16.3 kg**
  คิดเป็นปริมาตรของแข็ง, $Vs = W_s/[G_s x \rho_w]$
  = 16.3 kg/(2.68x1000 kg/m³)
  = 0.0061 m³

- **ปริมาตรช่องว่างที่เป็นอากาศ, V_a = 0.011-0.0044-0.0061 m³**
  = 0.0005 m³
- **เขียนเป็นรูป Phase diagram ได้ดังนี้**



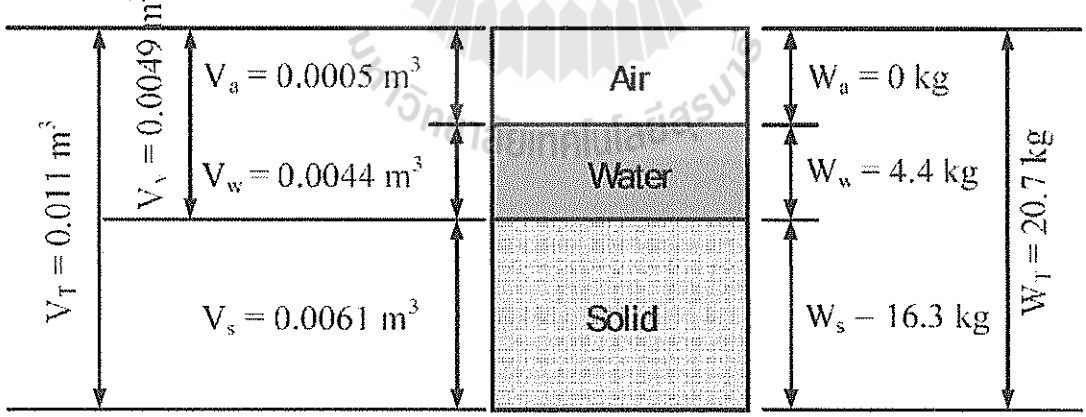


1) อัตราส่วนช่องว่าง (e)

$$e = \frac{V_v}{V_T - V_v} = \frac{V_v}{Vs} = \frac{0.0049}{0.0061} = 0.8 = 80\%$$

2) ความพรุน (n)

$$n = \frac{e}{1+e} = \frac{0.8}{1+0.8} = 0.44 = 44\%$$

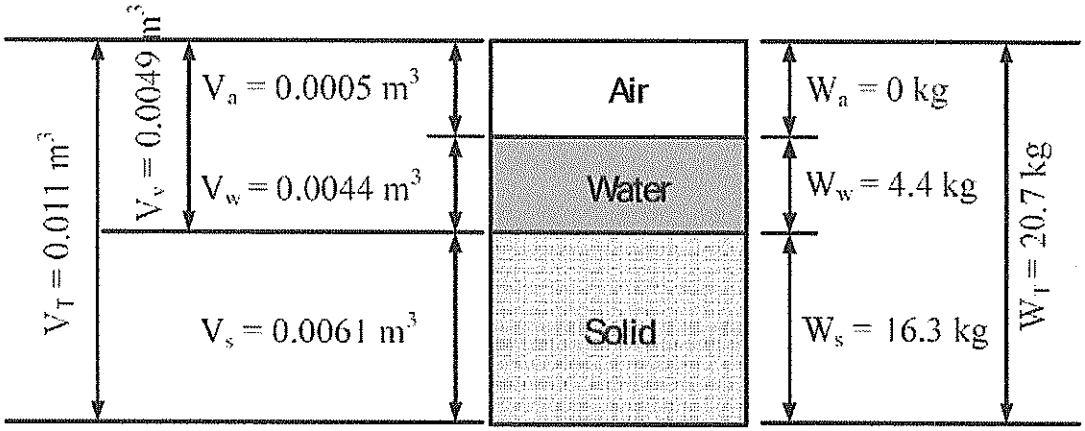


3) ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (S)

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% = \frac{0.0044}{0.0049} \times 100\% = 89.8\%$$

4) ความชื้นของดินขณะที่เก็บ (w)

$$w = \frac{Mass\ of\ water\ (W_w)}{Mass\ of\ soil\ solids\ (W_s)} \cdot 100\% = \frac{4.4kg}{16.3kg} \cdot 100\% = 27\%$$

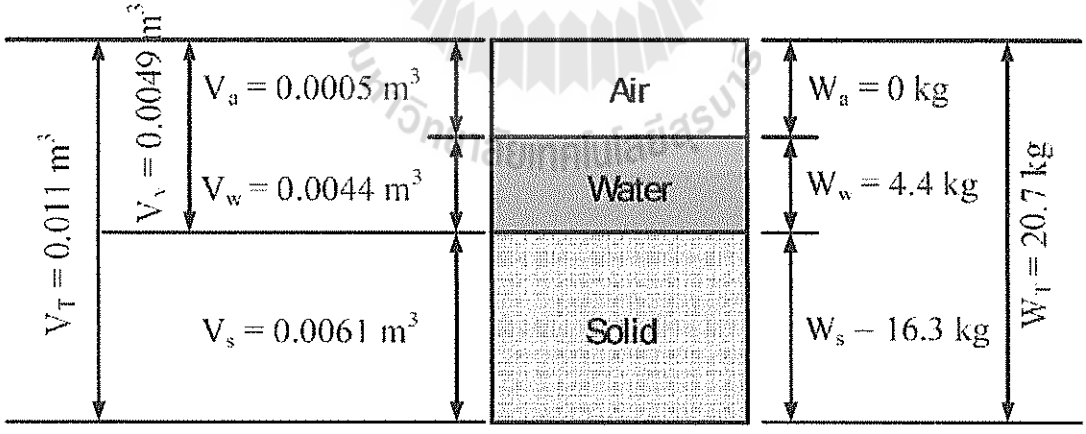


5) หน่วยน้ำหนักดินแห้ง (γ_{dry})

$$\rho_{dry} = \frac{W_s}{V_T} = \frac{16.3kg}{0.011m^3} = 1482kg \quad m^3$$

$$\gamma_{dry} = \gamma_d = \rho_{dry} \cdot g = 1.482\frac{kg}{m^3} \cdot 9.81\frac{m}{s^2}$$

$$= 14.538\frac{N}{m^3} = 14.54\frac{kN}{m^3}$$

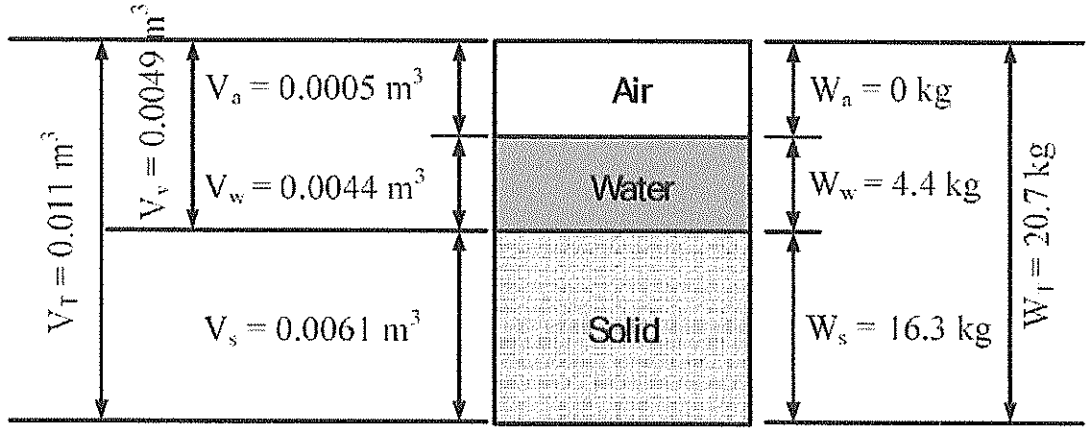


6) หน่วยน้ำหนักดินในภาคสนาม (γ_{bulk})

$$\rho_{bulk} = \rho = \frac{W_T}{V_T} = \frac{20.7kg}{0.011m^3} = 1882\frac{kg}{m^3}$$

$$\gamma_{bulk} = \gamma = \rho_{bulk} \cdot g = 1.882\frac{kg}{m^3} \cdot 9.81\frac{m}{s^2}$$

$$= 18.462\frac{N}{m^3} = 18.46\frac{kN}{m^3}$$



7) หน่วยน้ำหนักดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (γ_{wet})

$$\rho_{wet} = \frac{W_s + W_{wsoil}}{V_T} = \frac{W_s + (V_v \times \rho_w)}{V_T}$$

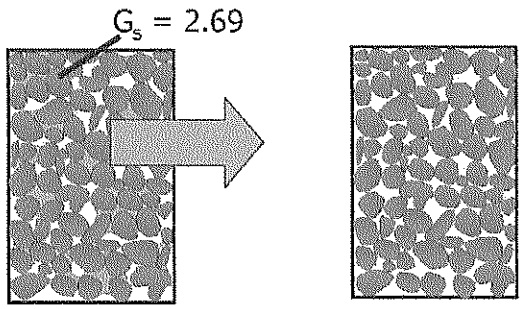
$$= \frac{16.3kg + (0.0049m^3 \times (1000kg\ \ m^3))}{0.011m^3} = 1927kg\ \ m^3$$

$$\gamma_{wet} = \gamma_{sat} = \rho_{wet} \cdot g = 1.927 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 18904 \frac{N}{m^3} = 18.90 \frac{kN}{m^3}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Example 2

A soil sample has a volume (V_t) 85 cm^3. After oven drying the mass is reduced to 157.5 g and the water content (w) can be calculated as 10.5%. If the specific gravity of solid (Gs) is 2.69. Determine bulk density (ρ), dry density (ρ_{dry}), wet density (ρ_{wet}) void ratio (e), and degree of saturation (S).



$V_t = 85\ cm^3$ w = 16.3%

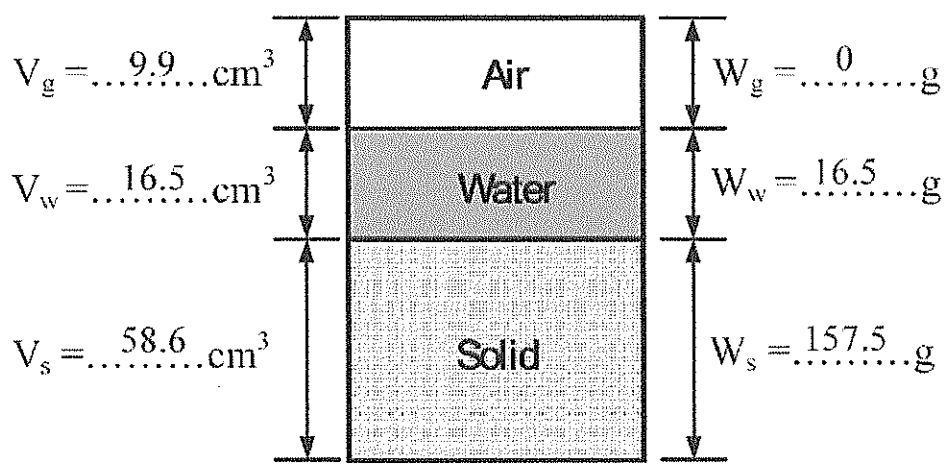
$W_t = W_w + W_s = ??$ $W_s = 157.5\ g$

Determine:

- bulk density (ρ_{bulk}) = ?
- dry density (ρ_{dry}) = ?
- wet density (ρ_{wet})
- void ratio (e) = ?
- degree of saturation (S) = ?

- จากค่า water content (= 10.5%) และน้ำหนักดินแห้ง (W_s = 157.5 g)
  - → สามารถหาน้ำหนักของน้ำ (W_w) ที่อยู่ในดินได้
  - → Water content (%w) = (W_w/W_s)x100 % = 10.5%
  - → จะได้ว่า W_w = (10.5x157.5)/100 = 16.5 g
  - → V_w = 16.5 cm^3 และน้ำหนักดินก่อนอบ (W_t) = 157.5+16.5 = 174.0 g
- ความหนาแน่นขณะเก็บตัวอย่างดินจากภาคสนาม, bulk density (ρ_{bulk}) = ?
  - → ปริมาตรตัวอย่างดิน (V_t) = 85 cm^3
  - → bulk density (ρ_{bluk}): W_t/V_t = 174.0/85 = 2.05 g/cm^3#
- ความหนาแน่นแห้ง, dry density (ρ_{dry}) = ?
  - → ปริมาตรตัวอย่างดิน (V_t) = 85 cm^3
  - → dry density (ρ_{dry}): W_s/V_t = 157.5/85 = 1.85 g/cm^3#

→ ปริมาตรตัวอย่างดิน ($V_t = V_g + V_s + V_w$) = 85 cm^3
→ คิดเป็นปริมาตรน้ำ (V_w) = 16.5 cm^3
→ จากค่า G_s = 2.69 สามารถหาปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็ง (V_s) ได้
→ จาก $\rho_s = G_s/\rho_w = W_s/V_s$ จะได้ว่า $V_s = (W_s \times \rho_w)/G_s$
V_s = (157.5x1.0)/2.69 = 58.6 cm^3
→ ปริมาตรอากาศ (V_g) = $V_t - V_s - V_w$ = 85 – 58.6 – 16.5 = 9.9 cm^3



- Wet density (ρ_{wet}) = ?
  → ถ้าดินอิ่มตัวด้วยน้ำดังนั้นปริมาตรอากาศจะถูกแทนที่ด้วยน้ำด้วย
  → น้ำหนักดินอิ่มตัวด้วยน้ำคิดเป็น 157.5 + 16.5 + 9.9 = 183.9 g
  → wet density (ρ_{wet}): 183.9/85 = 2.16 g/cm^3#

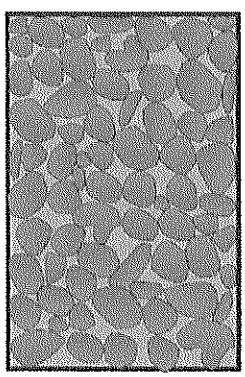
- Void ratio (e) = ?
  → $e = V_v/V_s$ = (9.9+16.5)/58.6 = 0.45 หรือ 45%

- Porosity (n) = ?
  → $n = V_v/V_t$ = (9.9+16.5)/85 = 0.31 หรือ 31%
  →หรือ n = e/(1+e) = 0.45/(1+0.45) = 0.31 = 31%

- Degree of saturation (S) = ?
  → $S = V_w/V_v$ = 16.5/(16.5+9.9) = 0.63 หรือ 63%

Example 3

For saturated soil the water content can be calculated as 40%. If the specific gravity of solid (G_s) is 2.70. Determine the saturated and dry density of this soil.



Given: S = 1, w = 40%, Gs = 2.70

Determine: ρ_{dry}, ρ_{sat}

$$\rho_{dry} = \frac{G_s \times \rho_w}{1 + \frac{w G_s}{S}} \qquad \rho_{wet} or \rho_{sat} = \frac{(1+w) \times \rho_w}{w + \frac{1}{G_s}}$$

$$\rho_{dry} = \frac{2.70 \times 1.0}{1 + \frac{0.4 \times 2.70}{1.0}} = 1.30\, g/cm^3 \#$$

w = 40% = 0.4

S = 100% = 1.0

$$\rho_{wet} or \rho_{sat} = \frac{(1+0.4) \times 1.0}{0.4 + \left(\frac{1}{2.70}\right)} = 1.82\, g/cm^3 \#$$

	Property		saturated sample (W_s, W_w, G_s are known)	unsaturated sample (W_s, W_w, G_s, V are known)	supplementary formulas relating measured and computed factors			
Weight for sample of unit volume	ρ_D	dry unit weight	$\frac{W_s}{V_s + V_w}$	$\frac{W_s}{V}$	$\frac{W_s}{V(1+w)}$	$\frac{G\rho_w}{(1+e)}$	$\frac{G\rho_w}{1+wG/S}$	
	ρ_T	wet unit weight	$\frac{W_s + W_w}{V_s + V_w}$	$\frac{W_s + W_w}{V}$	$\frac{W_T}{V}$	$\frac{(G+Se)\rho_w}{(1+e)}$	$\frac{(1+w)\rho_w}{w/S+1/G}$	$\rho_D(1+w)$
	ρ_{SAT}	saturated unit weight	$\frac{W_s + W_w}{V_s + V_w}$	$\frac{W_s + V_v\rho_w}{V}$	$\frac{W_s}{V} + \left(\frac{e}{1+e}\right)\rho_w$	$\frac{(G+e)\rho_w}{(1+e)}$	$\frac{(1+w)\rho_w}{w+1/G}$	
	ρ_{SUB}	submerged (buoyant) unit weight		$\rho_{SAT} - \rho_w$	$\frac{W_s}{V} - \left(\frac{1}{1+e}\right)\rho_w$	$\left(\frac{G+e}{1+e} - 1\right)\rho_w$	$\left(\frac{1-1/G}{w+1/G}\right)\rho_w$	

Example 4

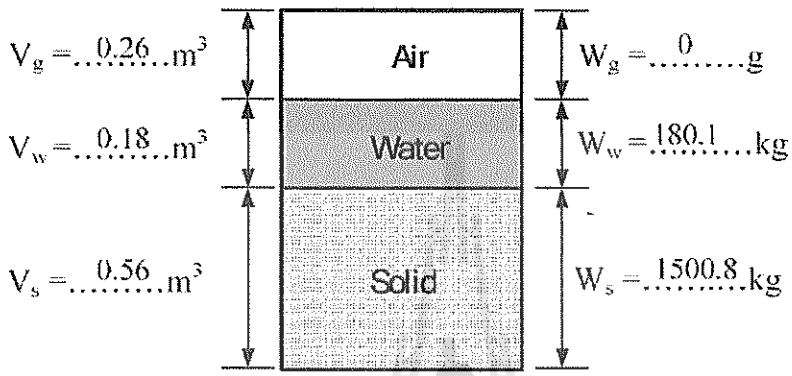
A soil sample has a void's ratio (e) = 0.78, natural water content (w) = 12%, and specific gravity of solid (G_s) = 2.68. Determine bulk density, dry density, degree of saturation, and porosity.

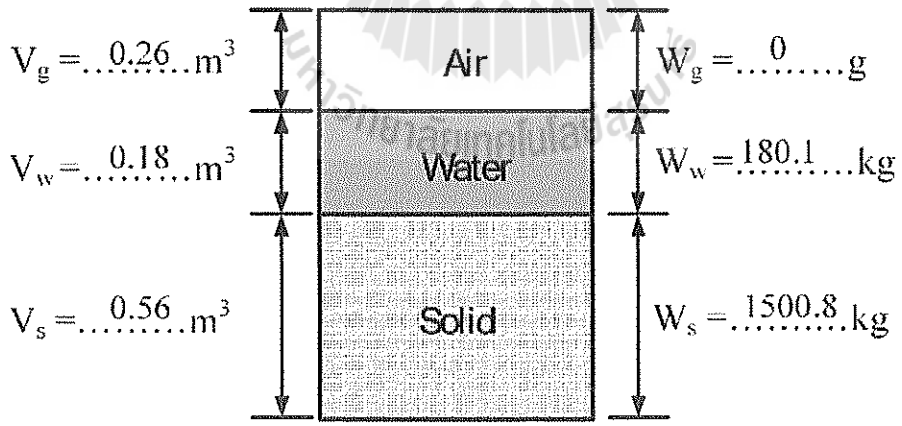
- สมมุติ...ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร: $V_t = 1\ m^3$
- อัตราส่วนโพรง, $e = V_v/V_s = 0.78$ ดังนั้น $V_v = 0.78Vs$
- โดยที่ $V_v + V_s = V_t = 1\ m^3$ แทนค่า $0.78V_s + V_s = 1\ m^3$
- $1.78V_s = 1$ ดังนั้น $V_s = 1/1.78 = 0.56\ m^3$
- จะได้ว่า $V_v = 0.78Vs = 0.78 \times 0.56 = 0.44\ m^3$
- น้ำหนักของของแข็ง, $W_s = \rho_s V_s = [G_s \times \rho_w] \times V_s$

$= 2.68 \times 1000\ kg/m^3 \times 0.56\ m^3$

$= 1500.8\ kg$

- ความชื้นมีค่าเท่ากับ 12%: $w = (W_w/W_s)x100\%$
- จะได้ว่าน้ำหนักของน้ำ, $W_w = (w \times W_s)/100$
  $= (12 \times 1500.8kg)/100$
  $= 180.1\ kg$
- คิดเป็นปริมาตรของน้ำ, $V_w = W_w/\rho_w = 180.1\ kg/(1000\ kg/m^3)$
  $= 0.18\ m^3$
- ดังนั้นมีปริมาตรอากาศ, $V_a = V_v - V_w = 0.44 - 0.18 = 0.26\ m^3$
- เขียนเป็น Phase diagram



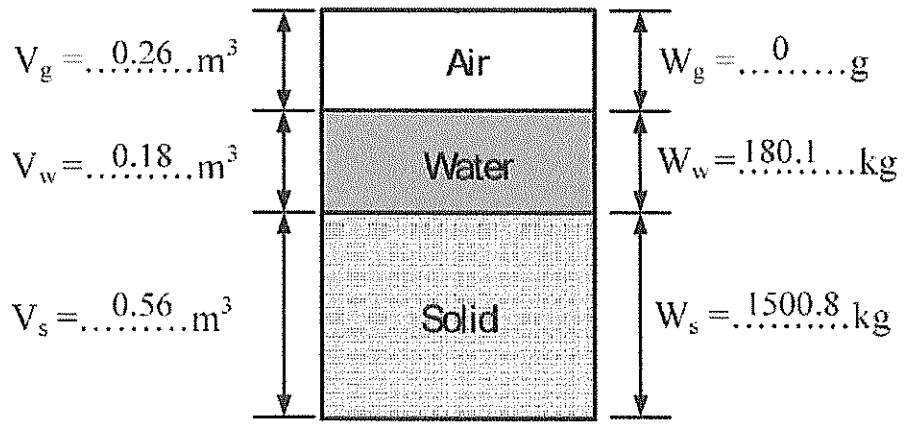


1) หน่วยน้ำหนักดินในภาคสนาม (r_{bulk})

$$\rho_{bulk} = \frac{W_T}{V_T} = \frac{180.1 + 1500.8kg}{1m^3} = 1680.9kg/m^3$$

2) หน่วยน้ำหนักดินแห้ง (r_{dry})

$$\rho_{dry} = \frac{W_s}{V_T} = \frac{1500.8kg}{1m^3} = 1500.8kg/m^3$$



3) ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (S)

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{0.18m^3}{(0.26+0.18)m^3} \times 100\% = 40.9\%$$

4) ความพรุน (n)

$$n = \frac{V_v}{V_t} = \frac{0.26m^3 + 0.18m^3}{1m^3} = 0.44 = 44\%$$

Phase Relationship

- Void ratio (e) = V_v/V_s
- Porosity (n) = V_v/V_t
- Degree of saturation (S) = V_w/W_v
- Wet density (ρ_{wet})
- Dry density (ρ_{dry})
- Bulk density (ρ_{bulk})
- Specific gravity (G_s)
- Water content (w)

(3)

การวิเคราะห์ขนาดคละของเม็ดดิน (Grain Size Distribution)

สาระสำคัญ

- การหาขนาดของเม็ดดินโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง จะใช้ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด แตกต่างกันออกไป
- สำหรับเบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้กันก็คือขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200
- เบอร์ตะเกรงที่จะขาดไม่ได้ก็คือ เบอร์ 4, 100 และ 200 ซึ่งตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดจะอยู่ด้านบนและไล่ตามลาดับลงมา
- ดินหรือหินที่เล็กกว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะหล่นลงมาในชั้นต่อไป ดินที่ใหญ่กว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะค้างอยู่บนตะแกรง
- แต่ก็ไม่แน่เสมอไปเพราะว่าตะแกรงนั้นไม่สามารถแบ่งแยกความแบนความยาวได้ บางครั้งหินหรือดินเม็ดเล็ก แต่มีความยาวกว่าขนาดของตะแกรงก็สามารถค้างอยู่บนตะแกรงนั้นได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาระสำคัญ

- การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดินอาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลาย คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) ที่มีช่องขนาดต่างๆ กัน
- การร่อนผ่านตะแกรงมักใช้กับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า **0.075** mm ขึ้นไป
- วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer test) หรือหลอดดูด (Pipette) วัดการตกตะกอนเหมาะสำหรับเม็ดดินขนาด **0.2** mm ถึง **0.0002** mm
- ทั้งสองวิธี (การร่อนผ่านตะแกรง และการใช้ไฮโดรมิเตอร์) ดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกันได้

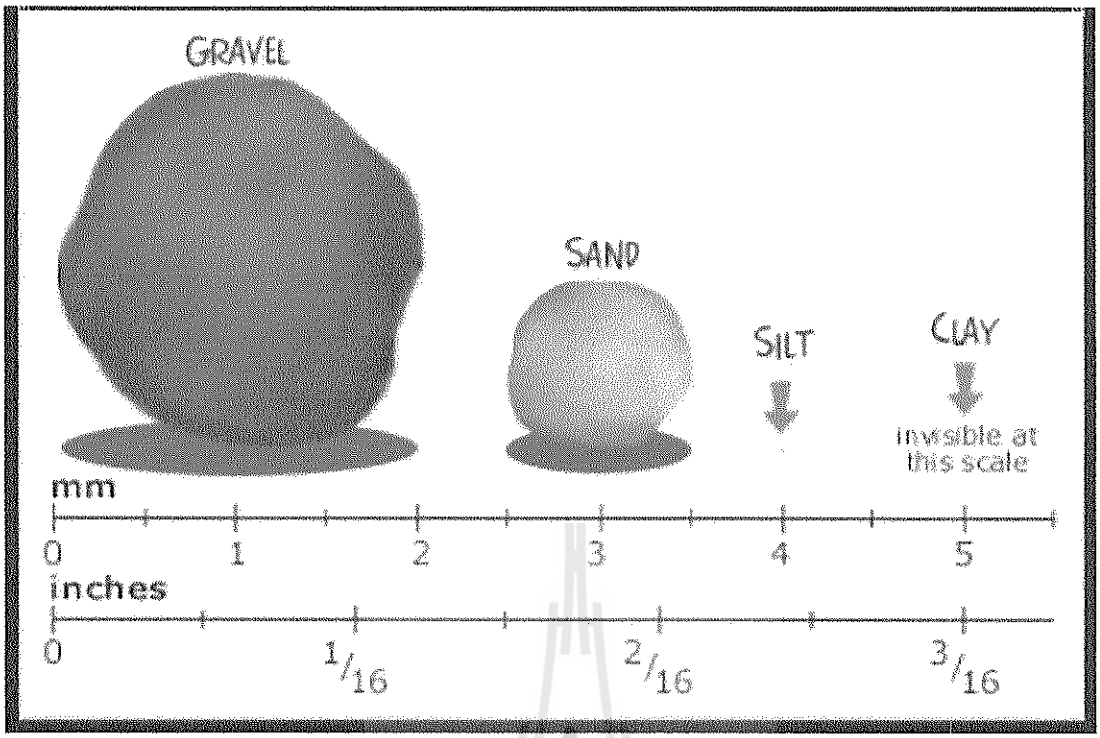
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

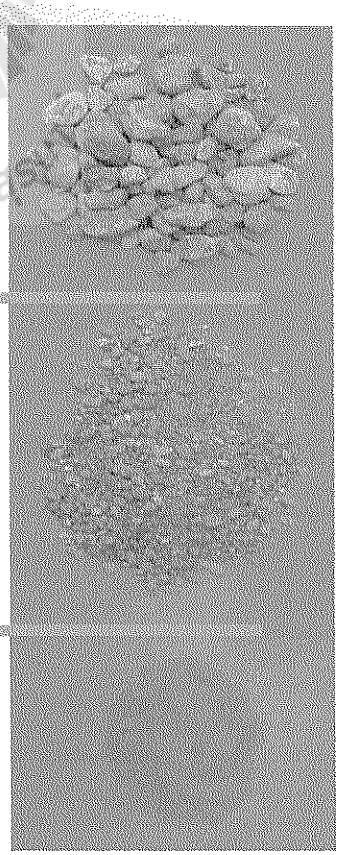
ขนาดอนุภาคเม็ดดิน

หิน มีขนาดใหญ่กว่า 75 mm หรือ 3 นิ้ว

ดิน *ใหญ่*

	กรวด (Gravel)	*ดินเม็ดหยาบ (Coarse grained soil or Granular soil)*
	ทราย (Sand)	
	0.075 mm (#200)	
	ดินตะกอน (Silt)	*ดินเม็ดละเอียด (Fine grained soil)*
เล็ก	ดินเหนียว (Clay)	





ขนาดเม็ดดินใหญ่กว่า
4.75 mm (No. 4)

Gravel

ขนาดเม็ดดิน
4.75 – 0.075 mm

Sand

ขนาดเม็ดดินเล็กกว่า
0.075 mm (#200)

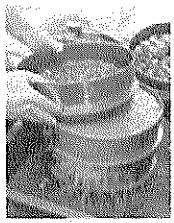
Fines (Silt + clay)

การทดสอบหาขนาดเม็ดดินโดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน มี 2 วิธี ดังนี้

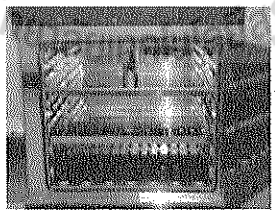
1. ทดสอบแบบไม่ล้างน้ำ เป็นการทดสอบที่ใช้กับตัวอย่างดินที่มีเม็ดหยาบเป็นส่วนใหญ่หรือมี เม็ดละเอียดปนอยู่น้อย เช่น กรวด ทราย ที่อยู่ในสภาพแห้ง
2. ทดสอบแบบล้างน้ำ เป็นการทดสอบที่ใช้กับดินตัวอย่างที่มีเม็ดละเอียดปนอยู่มาก โดยการนำตัวอย่างดินไปแช่น้ำ แล้วนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การทดสอบแบบเปียก (Wet Sieve Method)



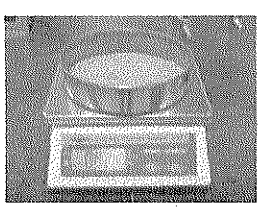
ล้างดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200



นำเข้าตู้อบเพื่ออบดินให้แห้ง

เมื่ออบแห้งแล้วโดยส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 นำไปทดสอบ Sieve และส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สำหรับทดสอบ Hydrometer

- การทดสอบแบบแห้ง (Dry Sieve Method)



ชั่งตัวอย่างตามน้ำหนักที่แนะนำในตาราง

การกำหนดน้ำหนักตัวอย่างดินที่ใช้ในการร่อนผ่านตะแกรง

ขนาดเม็ดใหญ่ที่สุด (นิ้ว)	3/8	3/4	1	1½	2	3
น้ำหนักตัวอย่างที่น้อยที่สุด, กรัม	500	1000	2000	3000	4000	5000

ASTM ระบุขนาดของเม็ดดินดังนี้

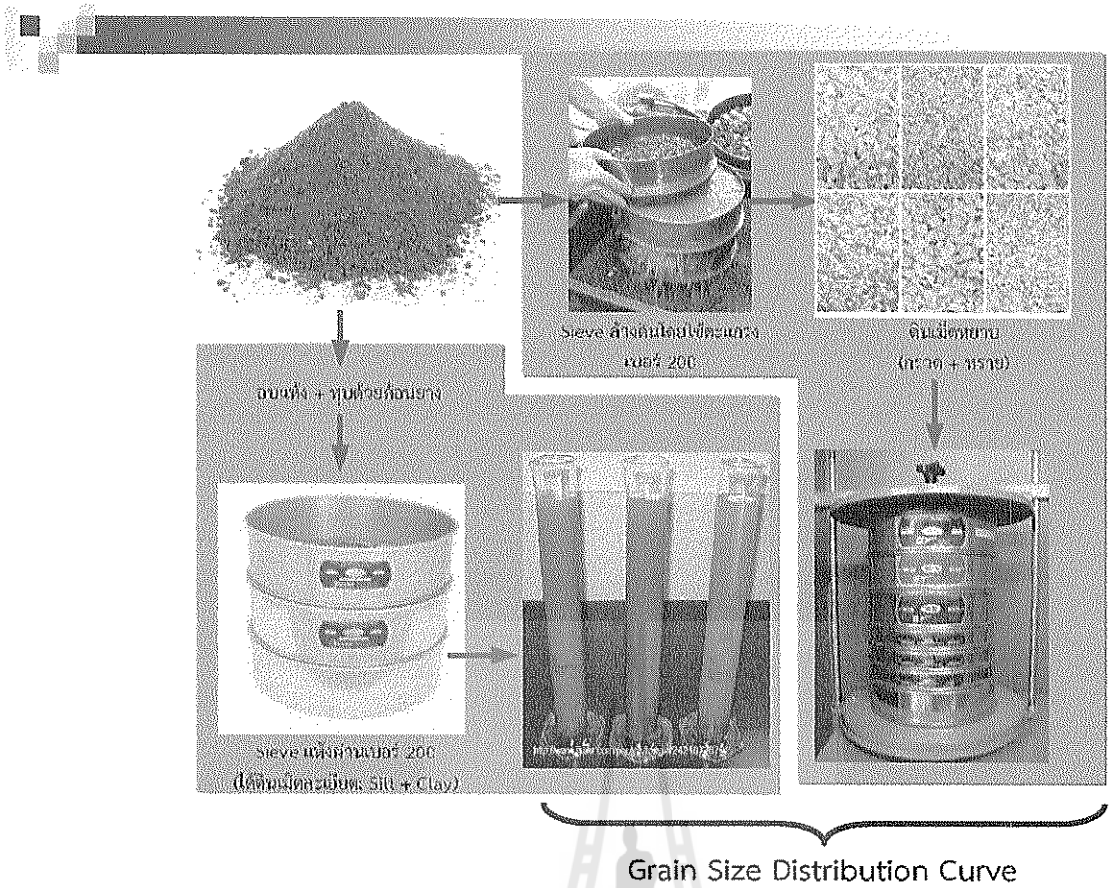
Particle size (mm)	Soil type	
> 350	หินก้อน (Boulder)	Rock
350 – 75.0	หินกรวด (Cobble)	
75.0 – 19.0	กรวดหยาบ (Coarse gravel)	Soil
19.0 – 4.75	กรวดละเอียด (Fine gravel)	
4.75 – 2.00	ทรายหยาบ (Coarse sand)	
2.00 – 0.425	ทรายปานกลาง (Medium sand)	
0.425 – 0.075	ทรายละเอียด (Fine sand)	
0.005-0.075	ตะกอนทราย (Silt)	
0.001-0.005	ตะกอนดินเหนียว (Clay)	
< 0.001	ตะกอนแขวนลอย	

ASTM – American Society Testing and Materials

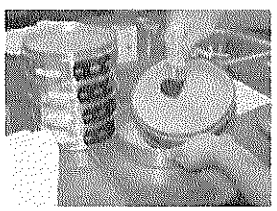
การหาขนาดคละของเม็ดดิน

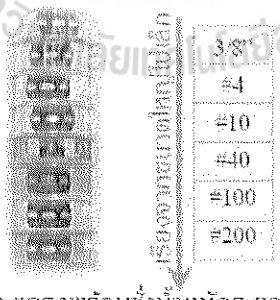
- การจำแนกดินในทางวิศวกรรม – จะใช้ข้อมูลการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain size distribution) และความเหนียว (Consistency)
- การทดสอบเพื่อหาการกระจายตัวหรือขนาดคละของเม็ดดินทำได้โดย
  - การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ใช้สำหรับดินเม็ดหยาบ (ขนาด 0.075 - 350 mm)
  - การวิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) ใช้กับดินเม็ดละเอียด (เล็กกว่า 0.075 mm คือดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์#200)
- การจำแนกดินจะรวมผลจากวิธีวิเคราะห์ด้วยตะแกรงและวิเคราะห์ด้วยไฮโดรมิเตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

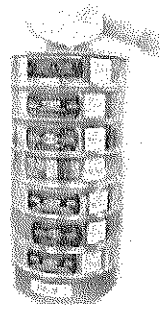


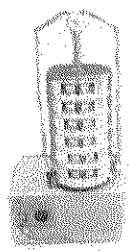
ขั้นตอนการทดสอบ


ทำความสะอาดตะแกรง

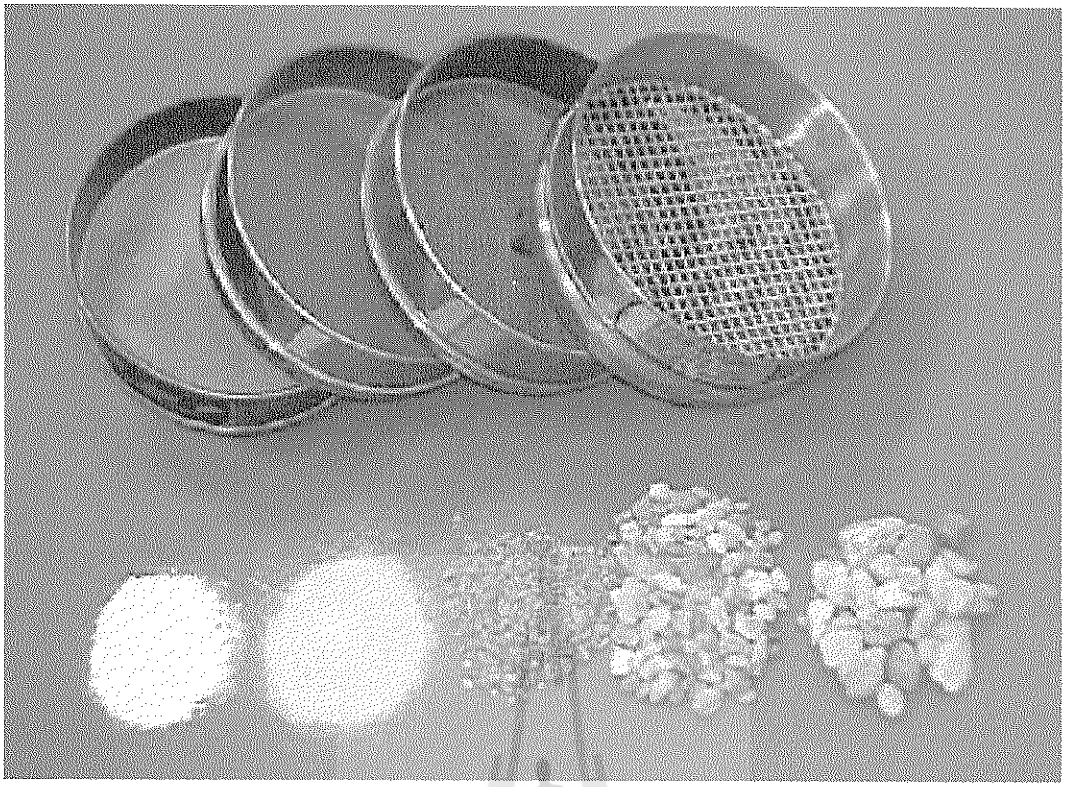


จัดชุดตะแกรงพร้อมชั่งน้ำหนักตะแกรง


นำดินใส่ในตะแกรงบนสุด

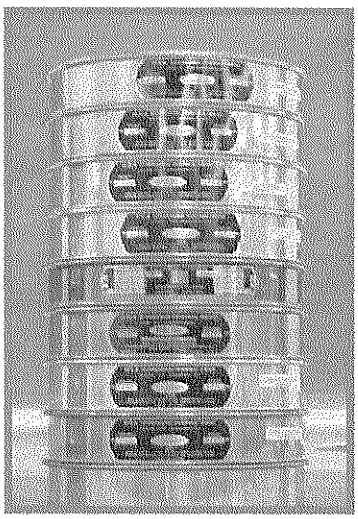

นำตะแกรงติดตั้งเข้ากับ
เครื่องเขย่าใช้เวลา 10 นาที

ชั่งน้ำหนักดินรวมกับตะแกรง

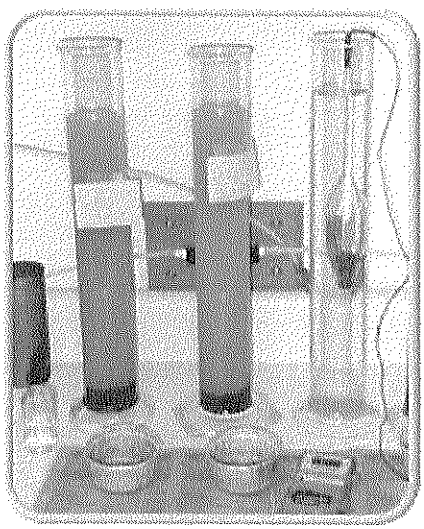


การหาขนาดคละของเม็ดดิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

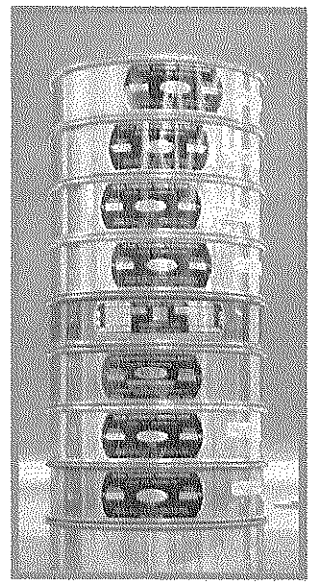


ใช้กับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 mm (ดินเม็ดหยาบ)



ใช้กับดินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 mm (ดินเม็ดละเอียด)

การหาขนาดคละดินเม็ดหยาบ (ค้าง #200)

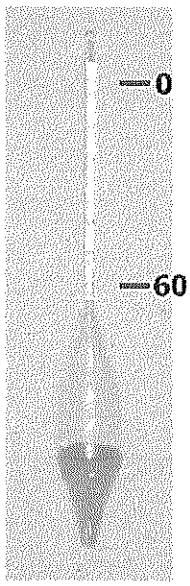


แช่ดินให้อิ่มตัวด้วยน้ำและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์#200 (wet sieve) เอาตะกอนที่เล็กกว่า 0.075 mm ออกไป ส่วนที่ค้างเอาไปอบวิเคราะห์ Sieve

Hydrometer Test

- ใช้สำหรับดินเม็ดละเอียด (มีขนาดเล็กกว่า 0.075 mm หรือมีขนาดเล็กกว่าขนาดช่องเปิดของตะแกรงเบอร์#200 เช่น ดินเหนียว ดินเหนียวปนดินตะกอน ดินตะกอน
- การวิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมีเตอร์เพื่อหาขนาดเม็ดดินและ %Finer ใช้หลักการตกตะกอนของเม็ดเดินที่เวลาต่างๆ กัน (หลักของ Stoke) ซึ่งว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง
  - ความเร็วของวัตถุทรงกลมที่จมในของเหลว
  - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ
  - ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ
  - ค่าความหนืดของของเหลว

Hydrometer Analysis



- เป็นการทดลองสำหรับหาขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่า 0.075 mm (#200)
- การทดลองอาศัยหลักการตกตะกอนของวัตถุซึ่งอ้างอิงกฎของสโตรก (Strokes' law)
- จากการทดลองจะสามารถหาค่า *เปอร์เซ็นต์ละเอียดกว่า (Percent finer)* กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดินได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Strokes' law

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} D^2$$

where v = velocity
ρ_s = density of soil particles
ρ_w = density of water
η = viscosity of water
D = diameter of soil particles

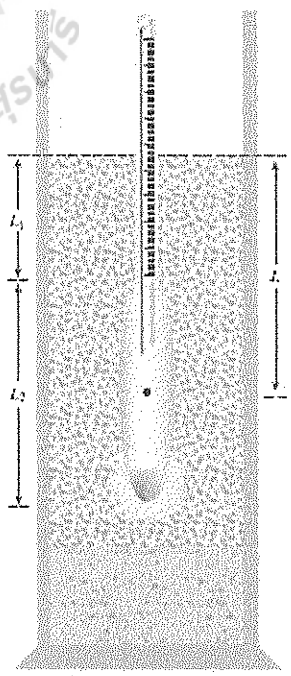


Figure 2.28 Definition of L in hydrometer test

Strokes' law

$$D\,(\text{mm}) = K\sqrt{\frac{L\,(\text{cm})}{t\,(\text{min})}}$$

$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)}}$$

$$L = L_1 + \frac{1}{2}\left(L_2 - \frac{V_B}{A}\right)$$

where L_1 = distance along the stem of the hydrometer from the top of the bulb to the mark for a hydrometer reading (cm)
L_2 = length of the hydrometer bulb = 14 cm
V_B = volume of the hydrometer bulb = 67 cm^3
A = cross-sectional area of the sedimentation cylinder = 27.8 cm^2

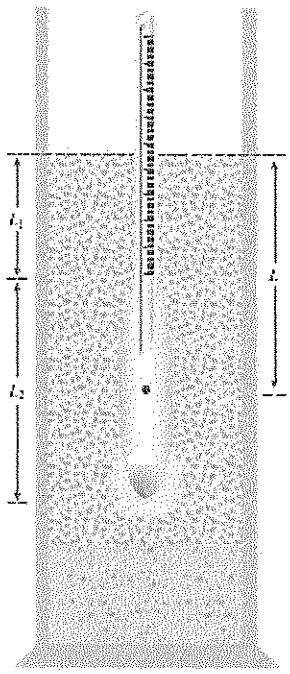
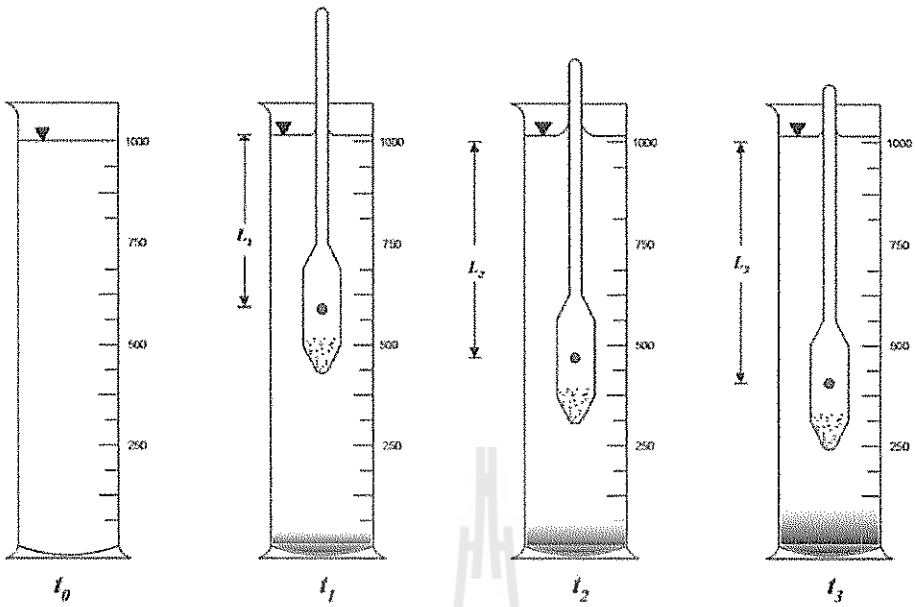
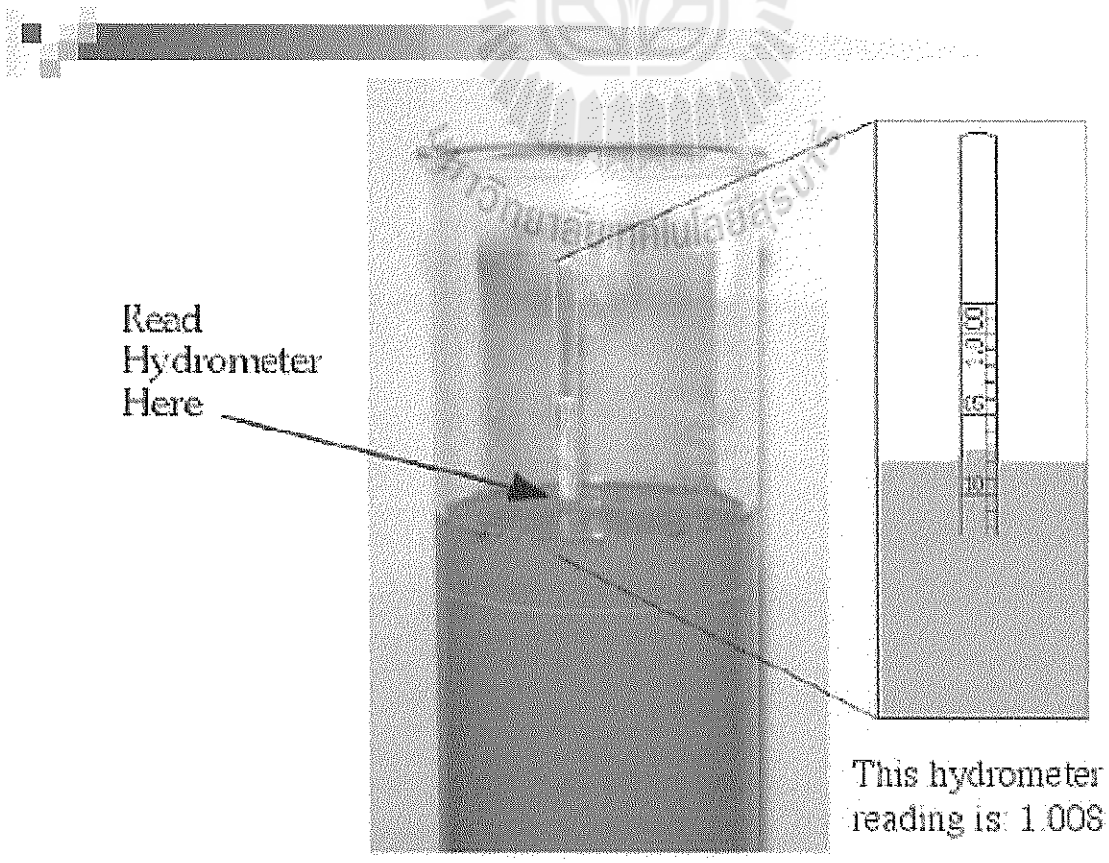


Figure 2.34 Definition of L in hydrometer test

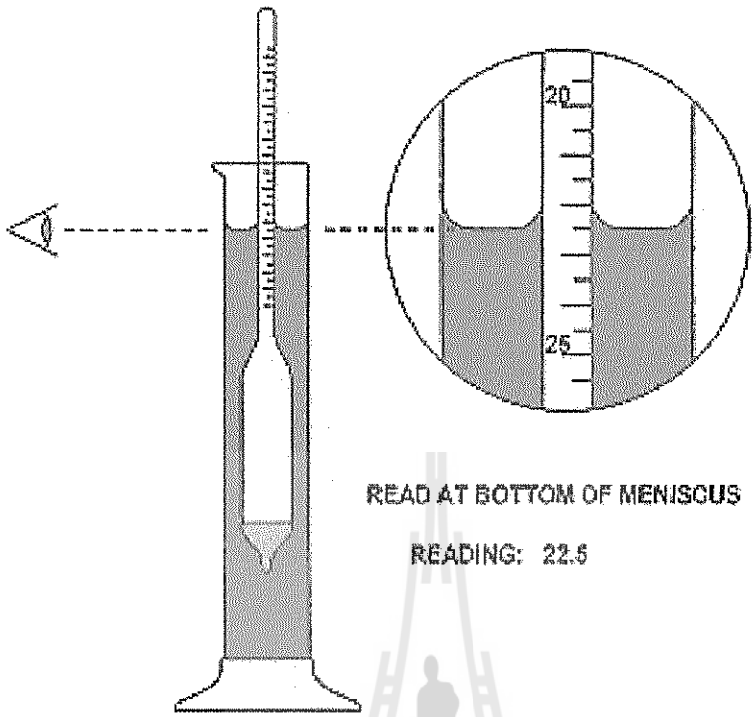
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของ Hydrometer กับเวลา



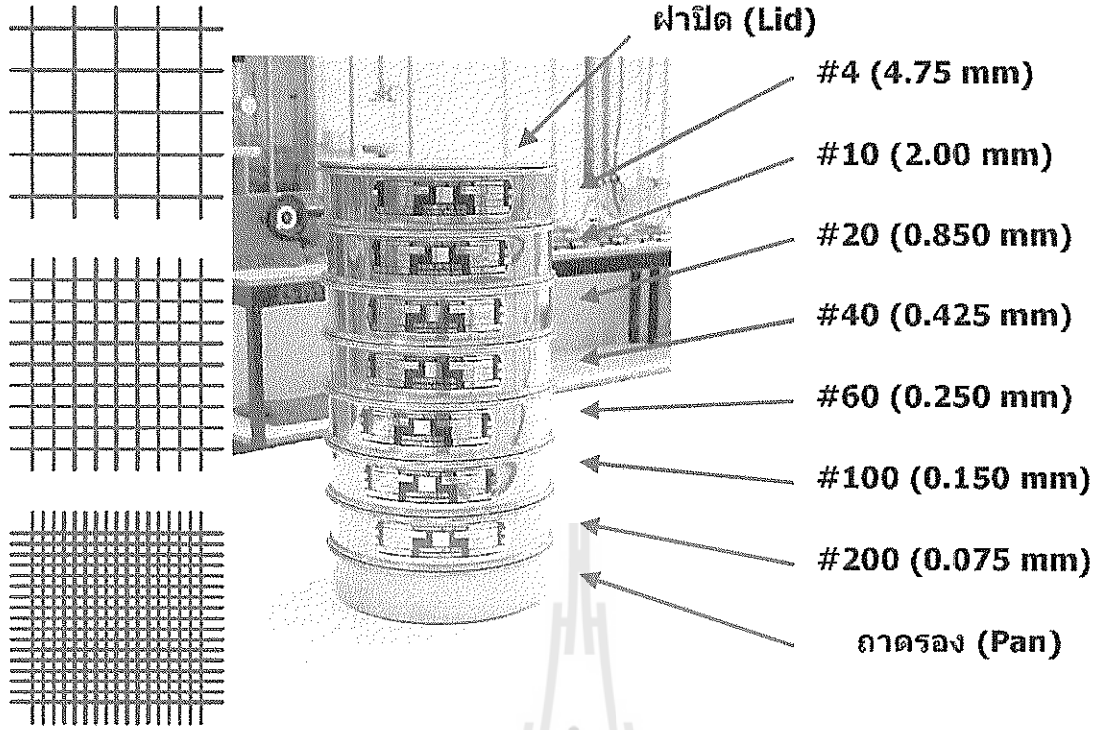
<u>สมมติฐาน</u> การเคลื่อนที่ของไฮโดรมิเตอร์เร็วเท่ากับการเคลื่อนที่ตกตะกอนของเม็ดดิน



HYDROMETER

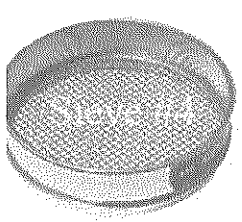


ตัวอย่างดินหลังจากล้างค้างตะแกรง#200 และอบให้แห้ง



ASTM STANDARD SIEVES (per ASTM D422 and E100)

Sieve Identification	Opening Size (in)	Opening Size (mm)	Sieve Identification	Opening Size (in)	Opening Size (mm)
3 inch	3.00	76.2	#16	0.0465	1.18
2 inch	2.00	50.8	#20	0.0335	0.850
1½ inch	1.50	38.1	#30	0.0236	0.600
1 inch	1.00	25.4	#40	0.0167	0.425
3/4 inch	0.75	19.0	#50	0.0118	0.300
3/8 inch	0.375	9.52	#60	0.00984	0.250
#4	0.187	4.75	#100	0.00591	0.150
#8	0.0929	2.36	#140	0.00417	0.106
#10	0.0787	2.00	#200	0.00295	0.075



หมายถึง

ขนาดของช่องเปิดของตะแกรงแต่ละเบอร์

Sieve No.	Sieve openings (mm)	Sieve No.	Sieve openings (mm)
4"	100 mm	16	1.18
3"	75	20	0.850
2"	50	30	0.600
1½"	37.5	40	0.425 (425 μm)
1	25	50	0.300
¾"	19	60	0.250
½ "	12.5	70	0.212
3/8"	9.5	100	0.150
no.4	4.75	140	0.106
8	2.36	200	0.075 (75 μm)
10	2.00		

วิธีการคำนวณ

ใช้กับดินเม็ดหยาบ (ใหญ่กว่า 0.075 mm) เช่น กรวด ทราย ประเภทของ Sieve Analysis มี 2 ประเภท คือ Dry sieve และ Wet sieve)

%ค้าง = $\frac{\text{น้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรง}}{\text{น้ำหนักดินทั้งหมด}} \times 100$

%ค้างสะสม = ผลรวมกับเปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรงที่ใหญ่กว่า

%ผ่าน = 100 - %ค้างสะสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างตารางการคำนวณ

น้ำหนักดินทั้งหมด = 4002 กรัม

48/4002 = 1.2

253/4002 = 6.32

Sieve size	Sieve weight	Sieve + Soil Weight	Soil Weight on Sieve	Percentage Weight	Percentage Greater	Percentage Finer
37.5	566.5	566.5	0	0	0	100
28	517	565	48	1.2	1.2	98.8
20	464	717	253	6.32	7.52	92.48
10	419.5	1358	938.5	23.46	30.98	69.02
6.30	406	1109.5	703.5	17.58	48.56	51.44
5	413	629.5	216.5	5.41	53.97	46.03
3.35	446.5	726.5	280	7	60.97	39.03
2	417	707.5	290.5	7.26	68.23	31.77
850*	371	804.5	433.5	10.83	79.06	20.94
425*	338	678	340	8.5	87.56	12.44
75*	295.5	735	439.5	10.98	98.54	1.46
pan	388	447	59	1.47	100	0.0

*Sizes are in Micrometer.

(1) ขนาดช่องเปิด **(2)** นน. ตะแกรง **(3)** นน.ตะแกรง+ดิน **(4)=(3)-(2)** นน. ดิน ค้าง **(5)=(4)/W_t** %ดินค้าง **(6)=Σ(5)** %ดินค้างสะสม **(7)=100-(6)** %ผ่าน

ตัวอย่างตารางการคำนวณ

0+1.20+6.32 = 7.52

Sieve size	Sieve weight	Sieve + Soil Weight	Soil Weight on Sieve	Percentage Weight	Percentage Greater	Percentage Finer
37.5	566.5	566.5	0	0	0	100
28	517	565	48	1.2	1.2	98.8
20	464	717	253	6.32	7.52	92.48
10	419.5	1358	938.5	23.46	30.98	69.02
6.30	406	1109.5	703.5	17.58	48.56	51.44
5	413	629.5	216.5	5.41	53.97	46.03
3.35	446.5	726.5	280	7	60.97	39.03
2	417	707.5	290.5	7.26	68.23	31.77
850*	371	804.5	433.5	10.83	79.06	20.94
425*	338	678	340	8.5	87.56	12.44
75*	295.5	735	439.5	10.98	98.54	1.46
pan	388	447	59	1.47	100	0.0

*Sizes are in Micrometer.

(1) ขนาดช่องเปิด **(2)** นน. ตะแกรง **(3)** นน.ตะแกรง+ดิน **(4)=(3)-(2)** นน. ดิน ค้าง **(5)=(4)/W_t** %ดินค้าง **(6)=Σ(5)** %ดินค้างสะสม **(7)=100-(6)** %ผ่าน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

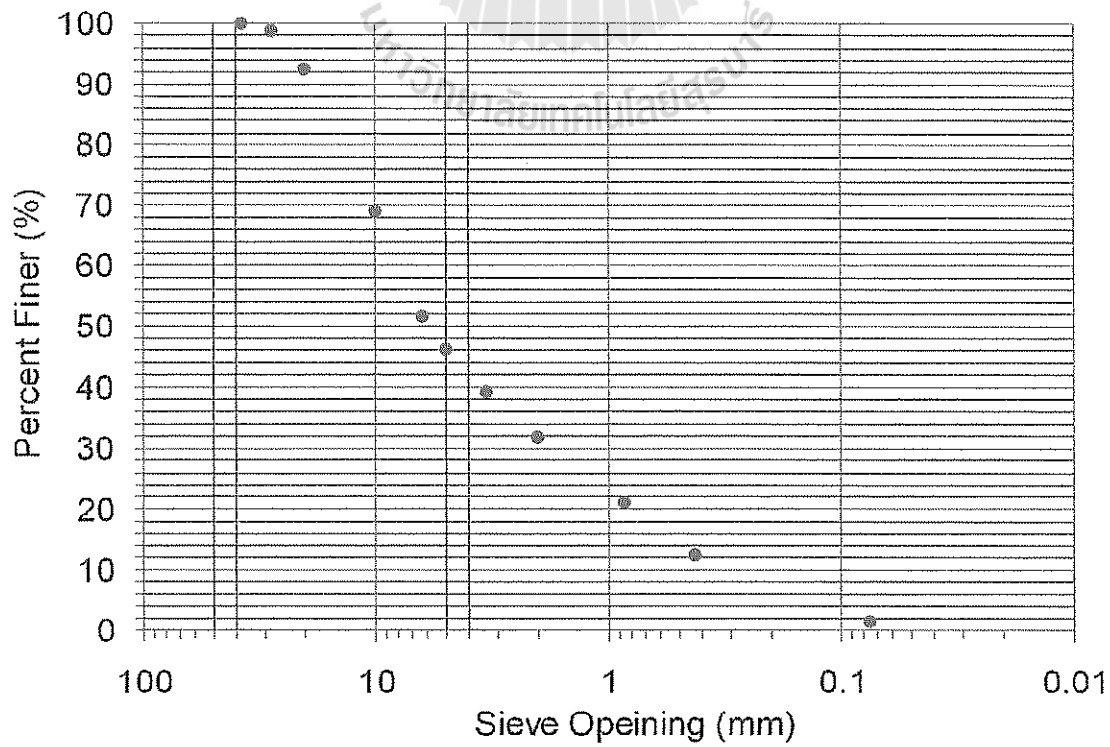
ตัวอย่างตารางการคำนวณ

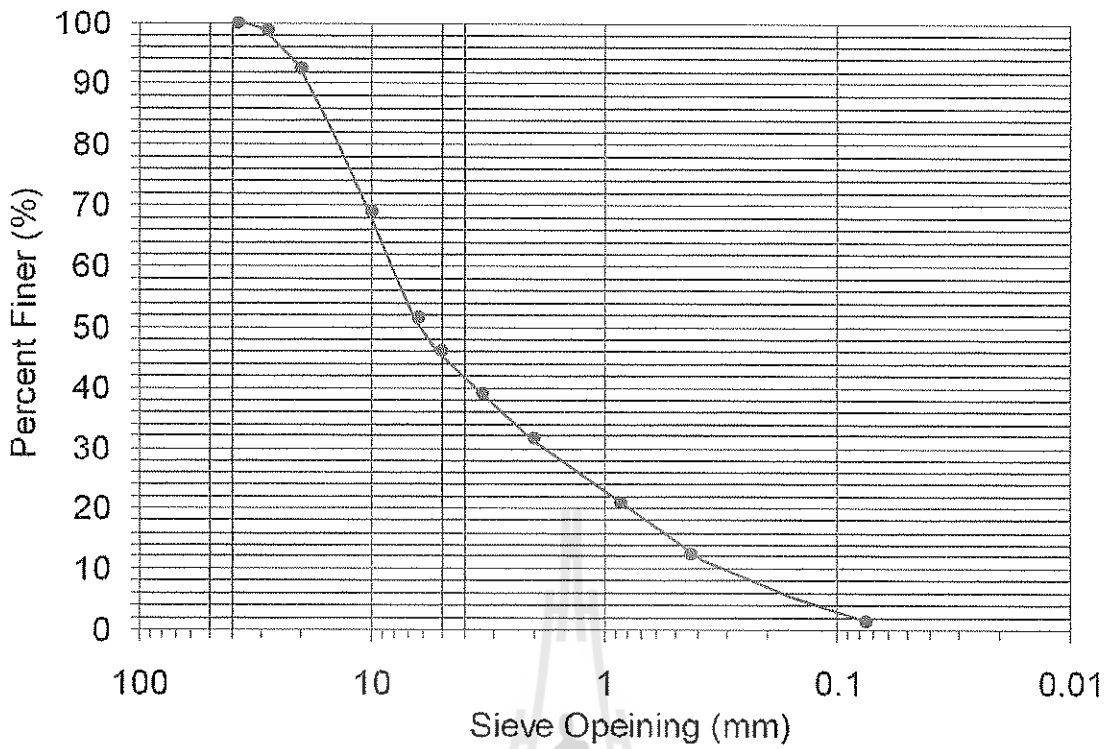
100-7.52 = 92.48

Sieve size	Sieve weight	Sieve + Soil Weight	Soil Weight on Sieve	Percentage Weight	Percentage Greater	Percentage Finer
37.5	566.5	566.5	0	0	0	100
28	517	565	48	1.2	1.2	98.8
20	464	717	253	6.32	7.52	92.48
10	419.5	1358	938.5	23.46	30.98	69.02
6.30	406	1109.5	703.5	17.58	48.56	51.44
5	413	629.5	216.5	5.41	53.97	46.03
3.35	446.5	726.5	280	7	60.97	39.03
2	417	707.5	290.5	7.26	68.23	31.77
850*	371	804.5	433.5	10.83	79.06	20.94
425*	338	678	340	8.5	87.56	12.44
75*	295.5	735	439.5	10.98	98.54	1.46
pan	388	447	59	1.47	100	0.0

*Sizes are in Micrometer.

(1)	(2)	(3)	(4)=(3)-(2)	(5)=(4)/W_t	(6)=Σ(5)	(7)=100-(6)
ขนาดช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน.ตะแกรง+ดิน	นน. ดิน ค้าง	%ดินค้าง	%ดินค้างสะสม	%ผ่าน





ผลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือเมื่อ

- น้ำหนักดินหายไประหว่างการทดสอบเกิน 0.5%
- ตะแกรงที่ใช้ในการทดสอบชำรุด

ข้อเสนอแนะ

- ไม่ควรใส่ดินในตะแกรงมากเกินไป
- ใช้เวลาในการร่อนผ่านตะแกรงเพียงพอ
- ถ้าใช้วิธีล้างน้ำต้องแน่ใจว่าล้างเม็ดดินที่เล็กกว่าเบอร์ 200 จนหมด
- ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะยังร้อนอยู่

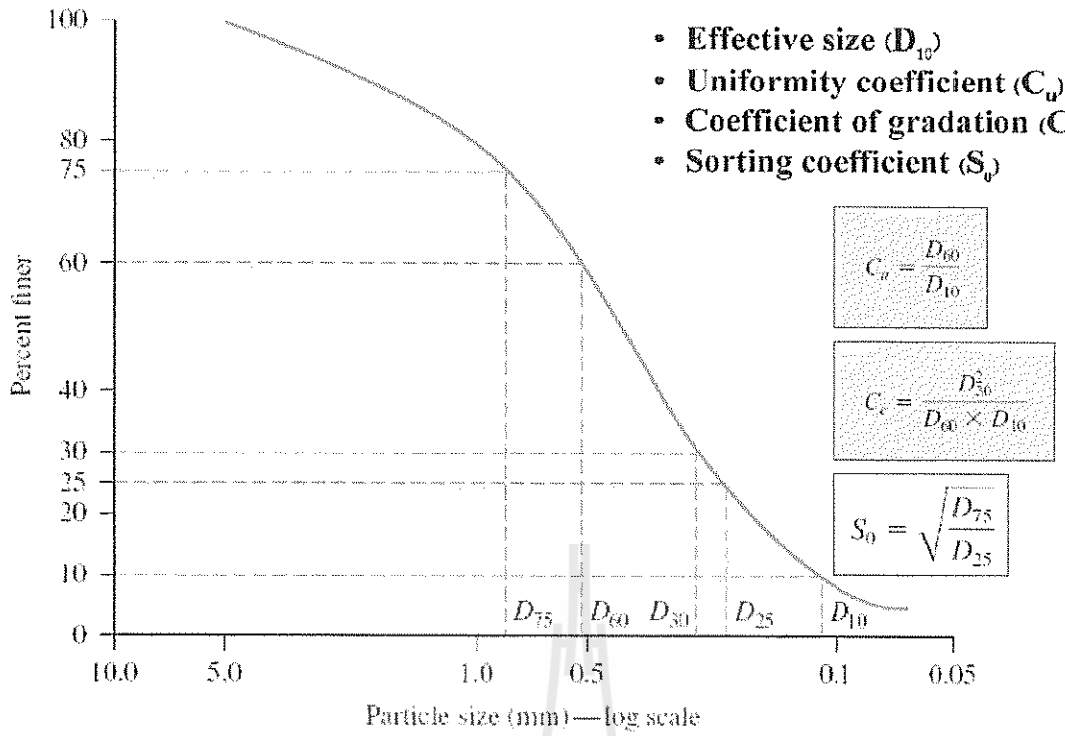
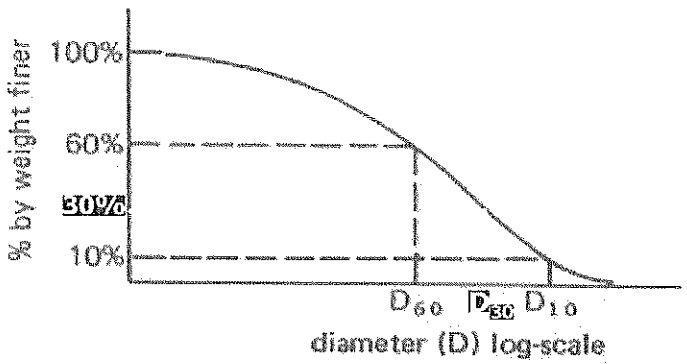


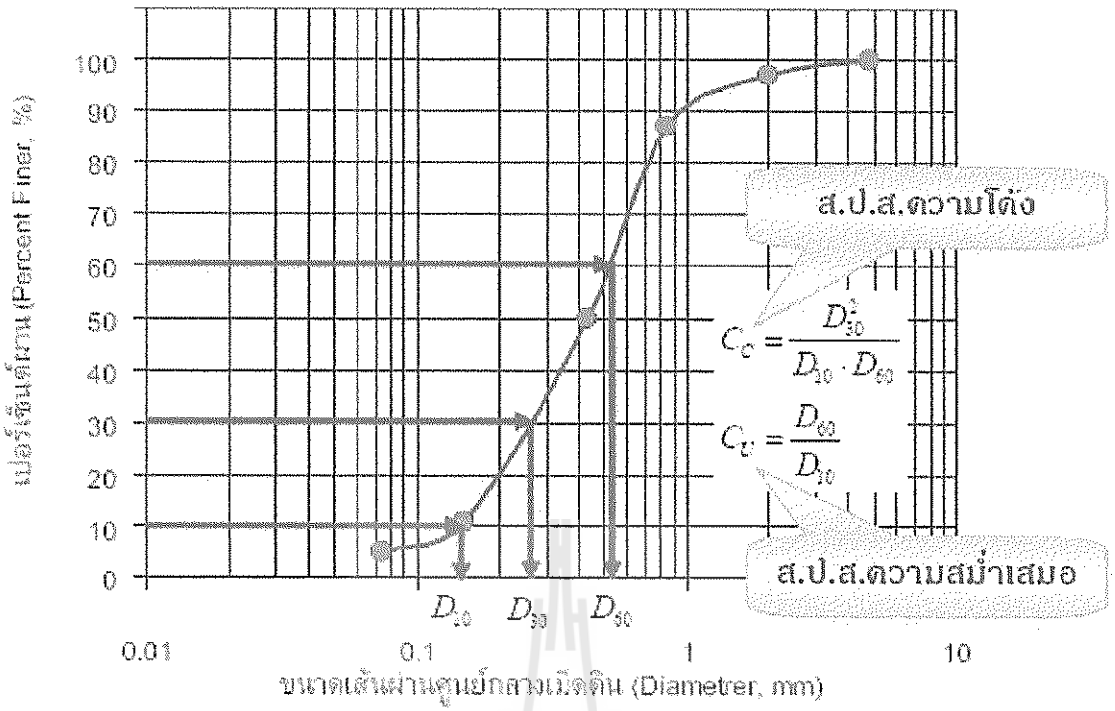
Figure 2.26 Definition of D_{75}, D_{60}, D_{30}, D_{25}, and D_{10}

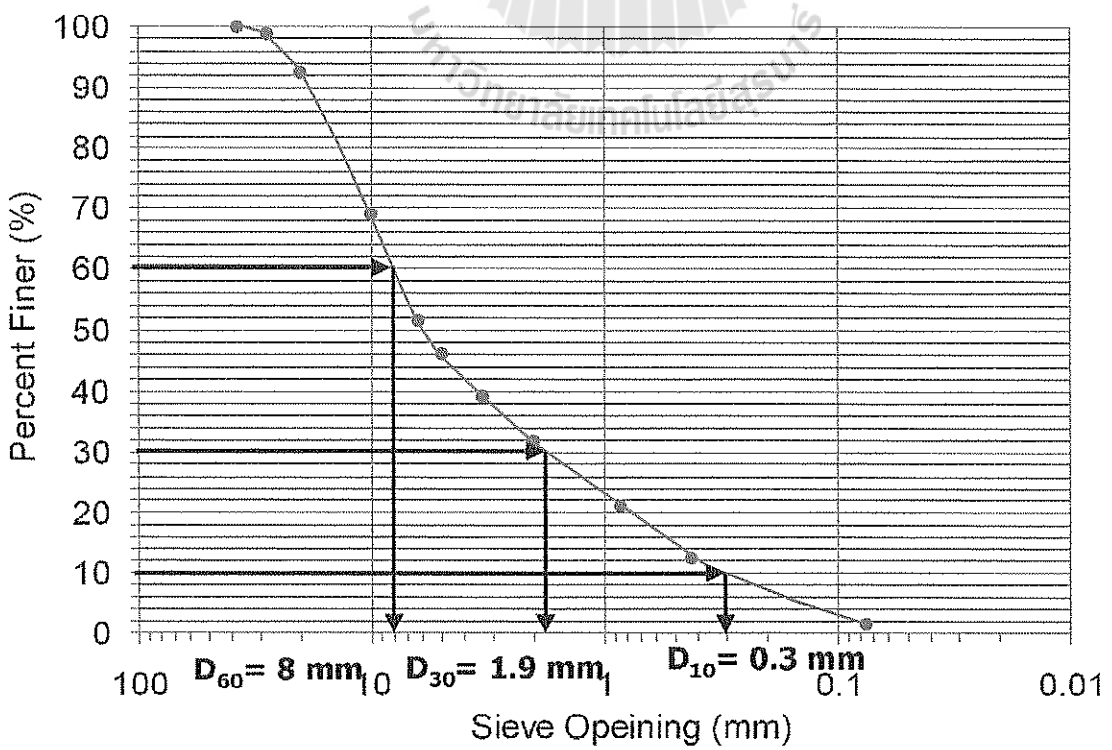
ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

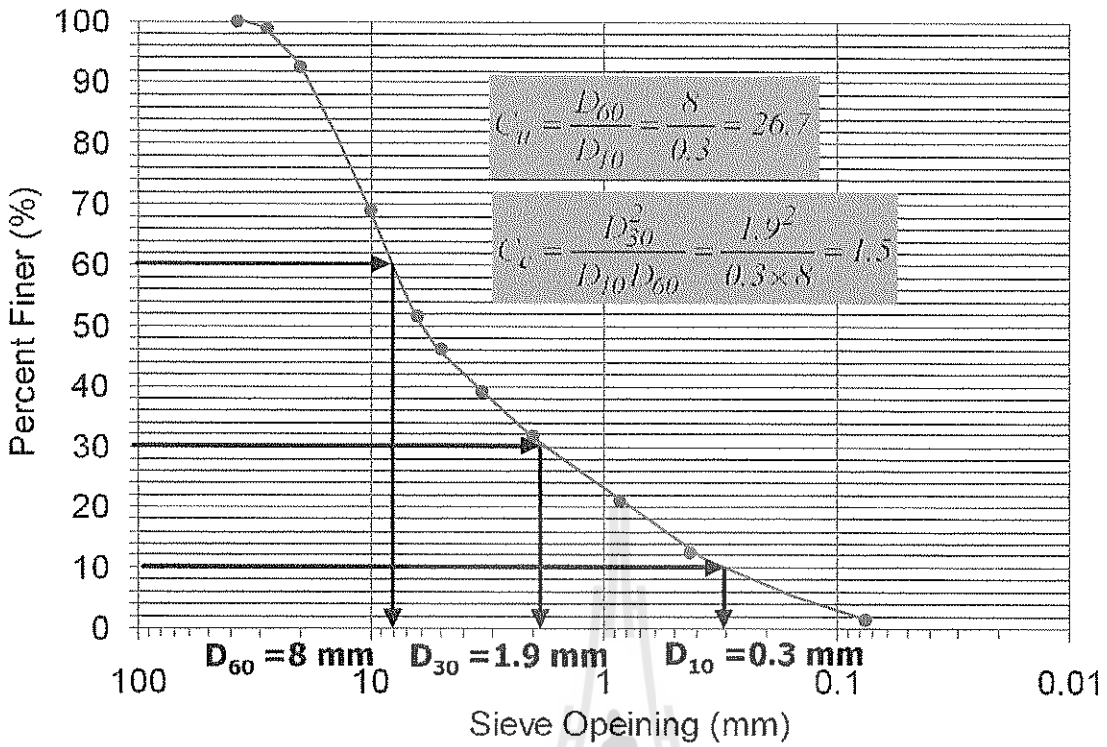
(ใช้ในการจำแนกดินเม็ดหยาบ จำพวก ทรายและกรวด)

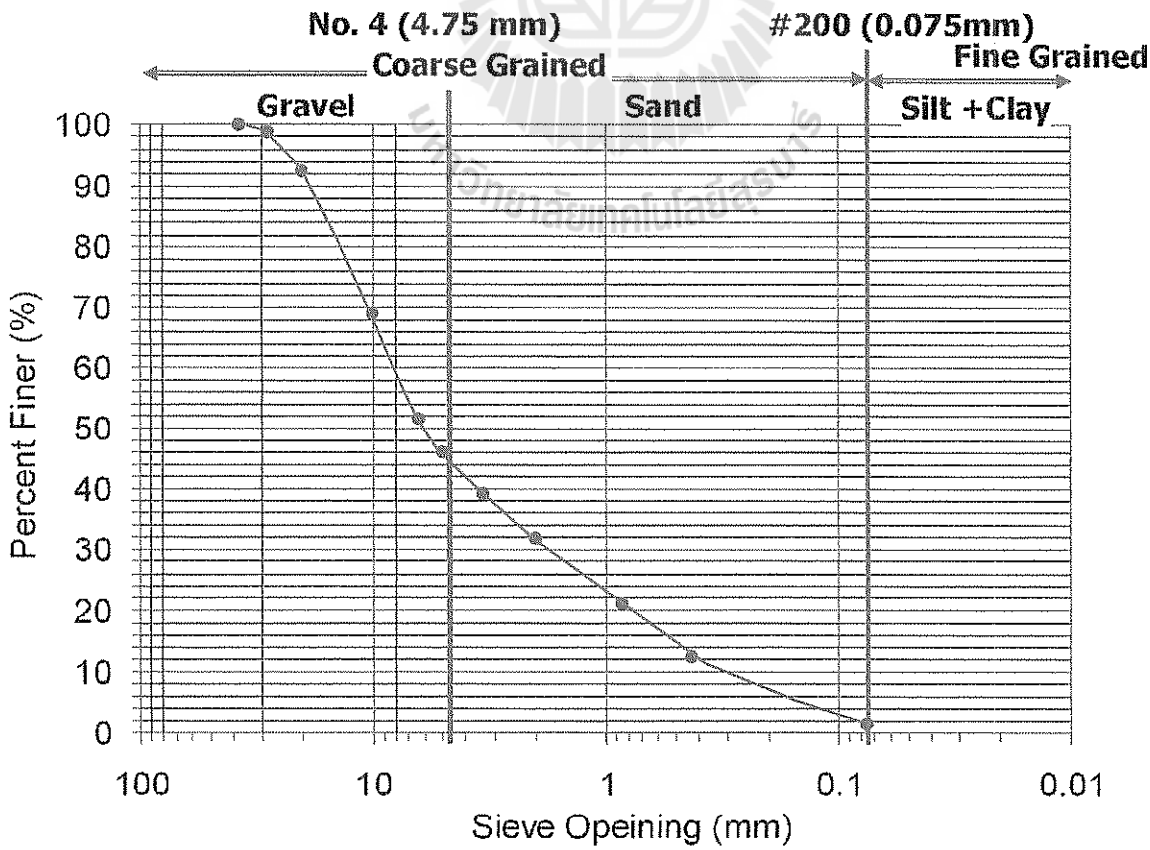


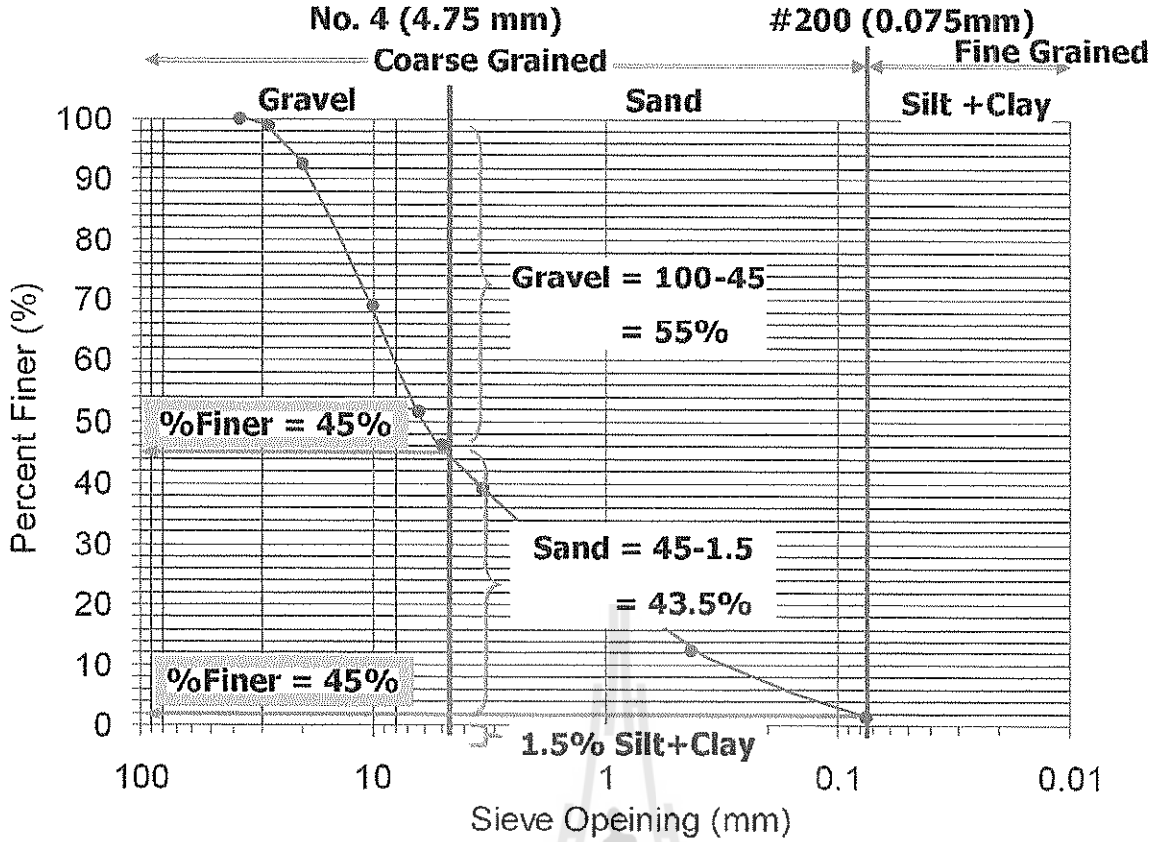
- **สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Uniformity coefficient, C_u):** $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
- **สัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of curvature, C_c):** $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$


ส.ป.ส.ความโค้ง
$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$
ส.ป.ส.ความสม่ำเสมอ
D_{10} D_{30} D_{60}
0.01
0.1
1
10
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดดิน (Diameter, mm)


Percent Finer (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
D_{60}= 8 mm
D_{30}= 1.9 mm
D_{10}= 0.3 mm
100
10
1
0.1
0.01
Sieve Opeining (mm)


$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{8}{0.3} = 26.7$
$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}} = \frac{1.9^2}{0.3 \times 8} = 1.5$
Percent Finer (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
D_{60} =8 mm
D_{30} =1.9 mm
D_{10} =0.3 mm
100
10
1
0.1
0.01
Sieve Opeining (mm)


No. 4 (4.75 mm)
#200 (0.075mm)
Coarse Grained
Fine Grained
Gravel
Sand
Silt +Clay
Percent Finer (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
100
10
1
0.1
0.01
Sieve Opeining (mm)

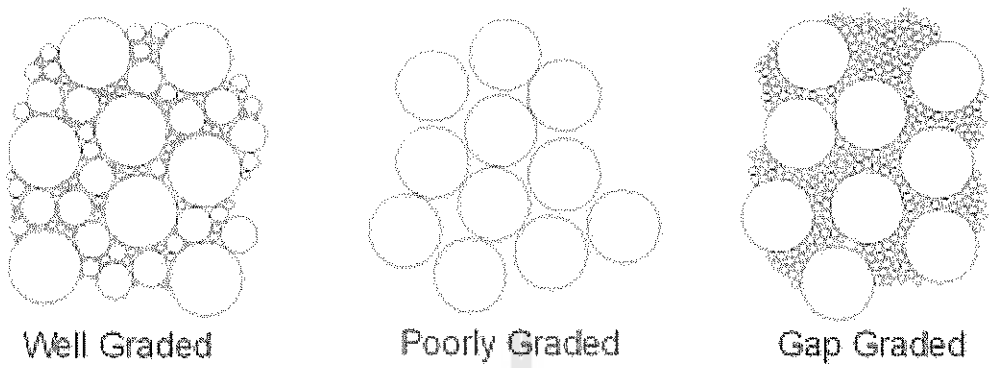


เกณฑ์แสดงความคละของดินเม็ดหยาบ (ASTM D 2487)

ชนิดของดิน	ส.ป.ส. ความสม่ำเสมอ C_u		ส.ป.ส. เส้นโค้ง C_c	
	คละกันดี	สม่ำเสมอ	คละกันดี	สม่ำเสมอ
กรวด (Gravel)	$C_u \geq 4$	$C_u < 4$	$1 < C_c < 3$ อยู่ระหว่าง	$1 > C_c > 3$ ไม่อยู่ในช่วง
ทราย (Sand)	$C_u \geq 6$	$C_u < 6$	$1 < C_c < 3$ อยู่ระหว่าง	$1 > C_c > 3$ ไม่อยู่ในช่วง

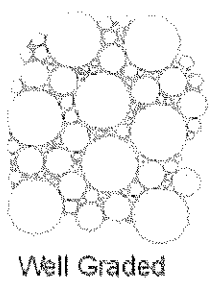
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{8}{0.3} = 26.7 \qquad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} = \frac{1.9^2}{0.3 \times 8} = 1.5$$

การคละขนาดของเม็ดดิน



ดินที่มีขนาดคละกันดี (Well Graded Soil)

ดินที่มีขนาดคละกันดี (Well graded soil)



กรวดคละดี (Well-graded gravels)

- **Cu > 4**
- **1 < Cc < 3**

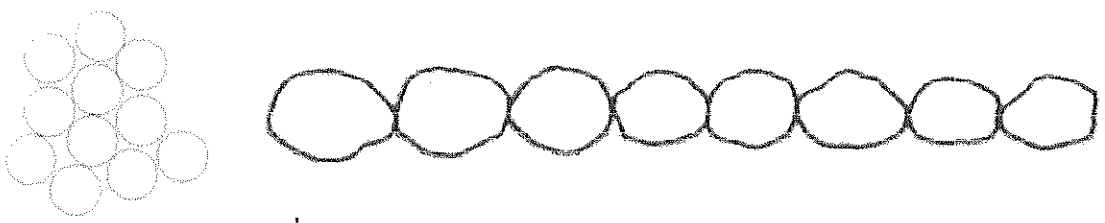
ทรายคละดี (Well-graded sands)

- **Cu > 6**
- **1 < Cc < 3**

ดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี (Poorly Graded Soil)

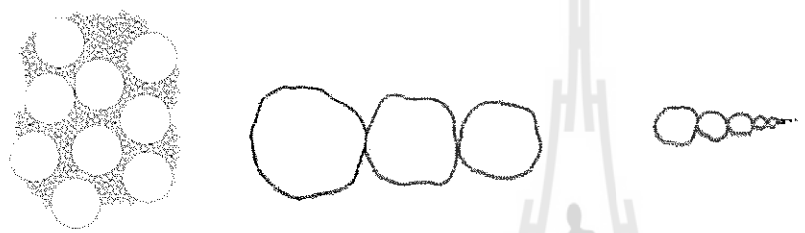
แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1) ดินที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ (Uniformly graded)



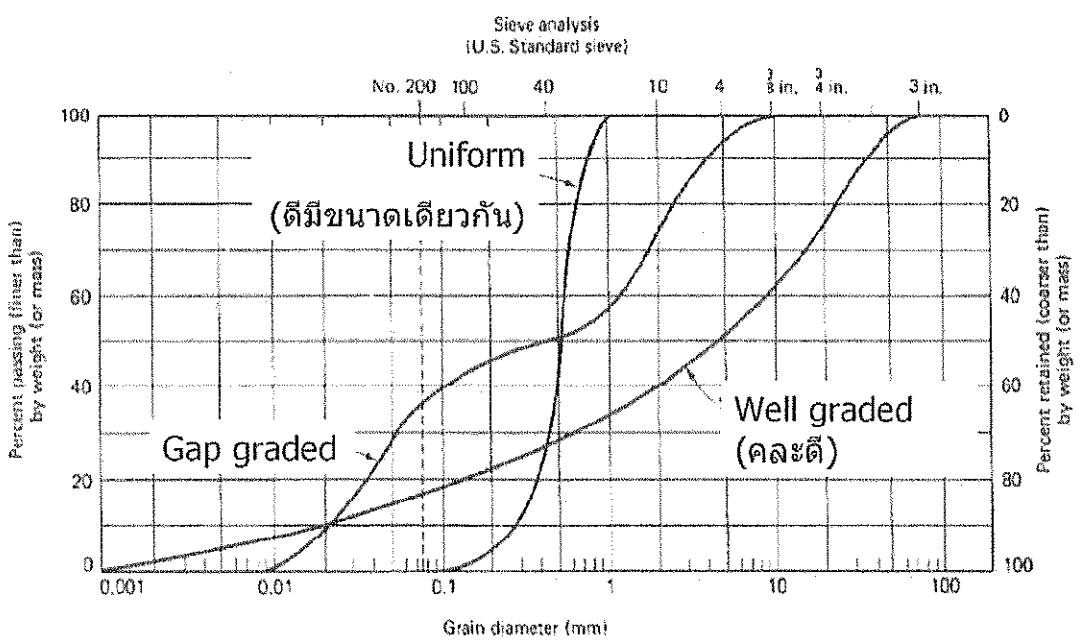
Poorly Graded

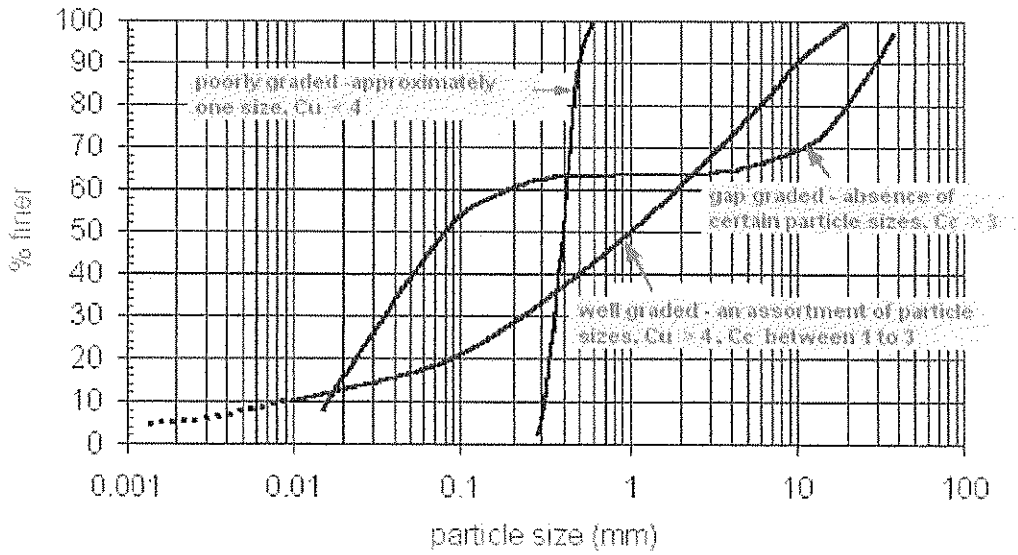
2) ดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap-graded)



Gap Graded

ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน



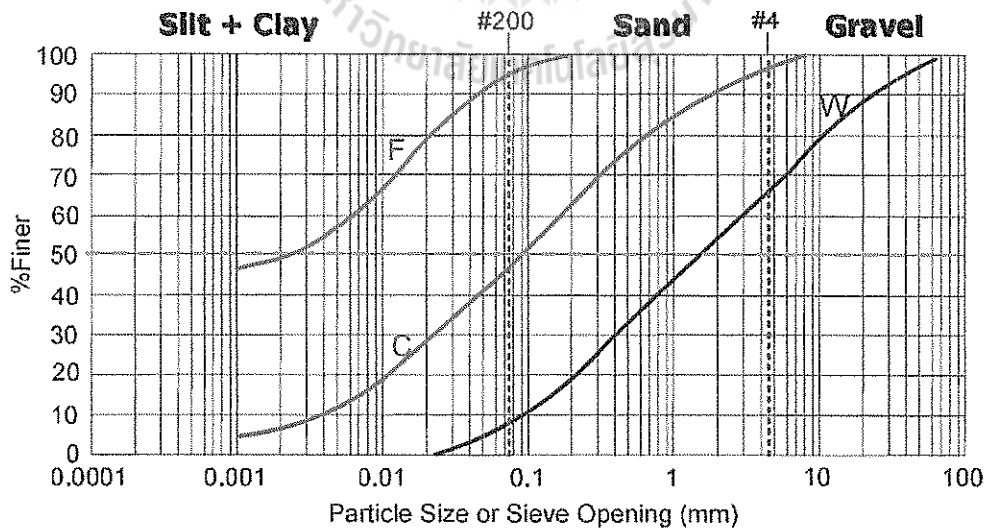


กรวดที่มีความคละกันดี (Well Grade Gravel) : $Cu > 4$ และ $Cc \approx 1 - 3$

ทรายที่มีความคละกันดี (Well Grade Sand) : $Cu > 6$ และ $Cc \approx 1 - 3$

ดินที่มีขนาดเม็ดดินสม่ำเสมอ (Poor Graded) : $Cu \cong 1$ (ใกล้ 1.0)

ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

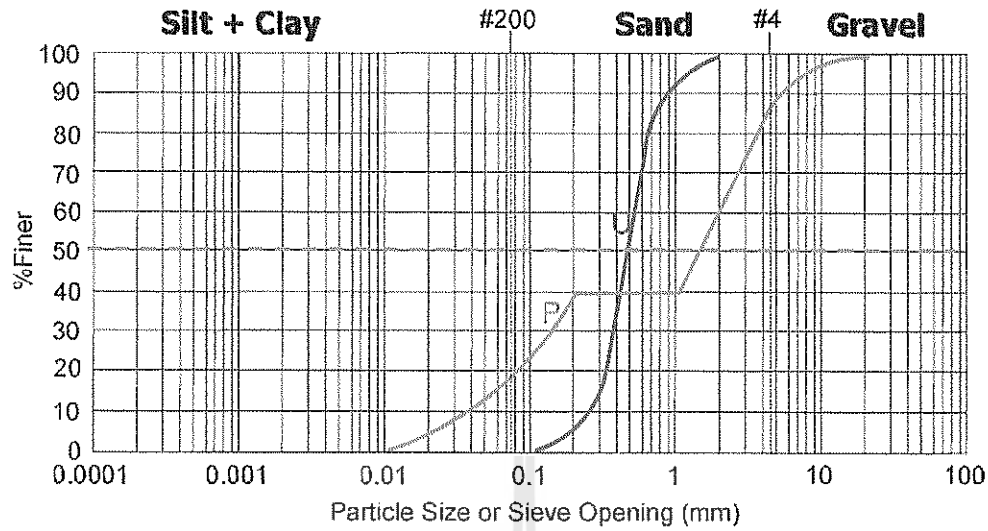


W **Well graded (Coarse grained soil)**

C **Well graded with some clay (Coarse grained soil)**

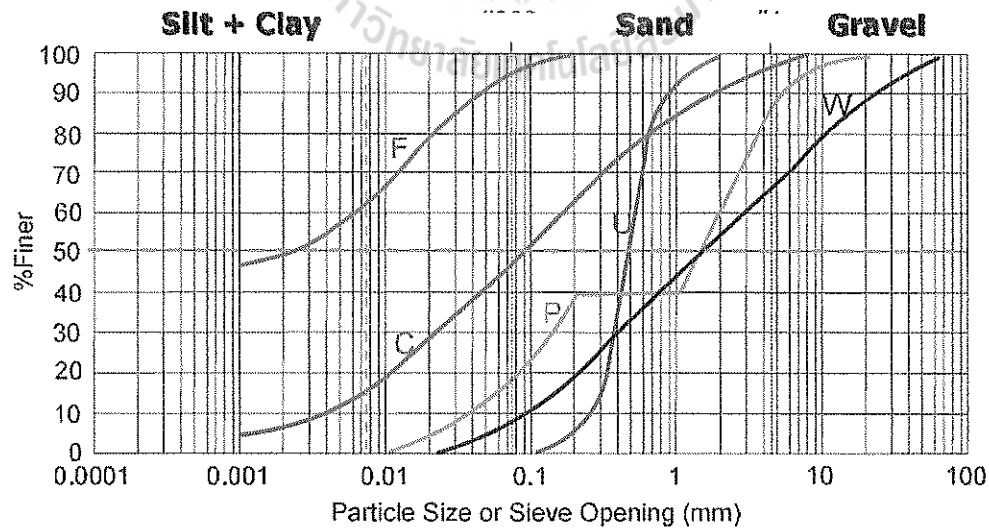
F **Well graded with an excess of fines (Fine grained soil)**

ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน



U **Uniform (Coarse grain soil)**
P **Poorly graded (gap graded) – Coarse grained soil**

ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

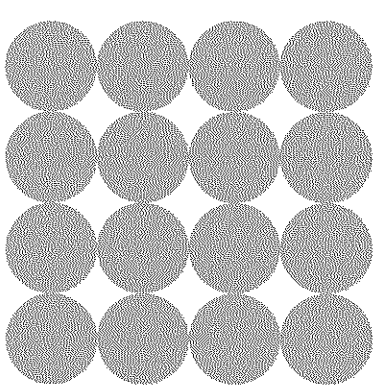


W **Well graded**
C **Well graded with some clay**
F **Well graded with an excess of fines**
U **Uniform**
P **Poorly graded (gap graded)**

ช่วงค่า C_u และ C_c ของดินโดยทั่วไป

Soil Types	C_u	C_c
Gravel (กรวด)	> 4	1 – 3
Fine sand (ทรายละเอียด)	5 – 10	1 – 3
Coarse sand (ทรายหยาบ)	4 – 6	-
Mixture of silty sand and gravel	15 – 300	-
Mixture of clay, sand, silt and gravel	25 – 1000	-

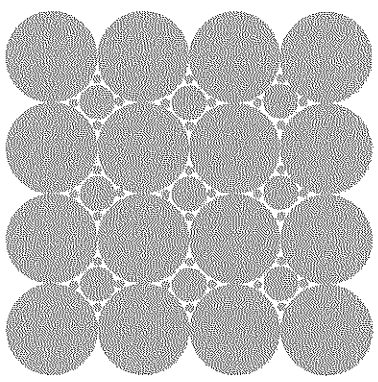
ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของเม็ดดินต่อความหนาแน่น



Uniformly Grade

(Poorly Graded)

ความหนาแน่นต่ำ



Well-graded

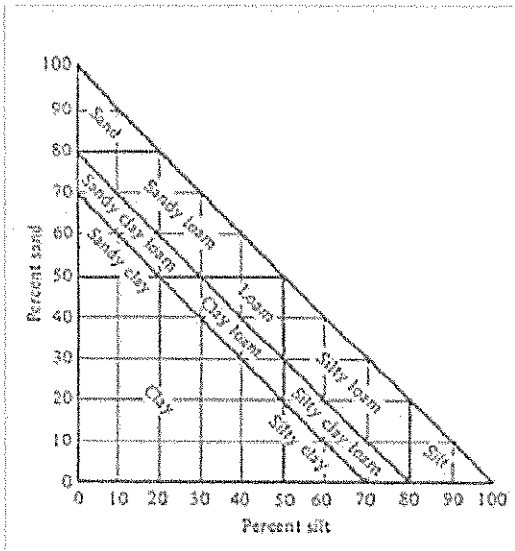
ความหนาแน่นสูง

การกระจายตัวของเม็ดดิน ต่อกำลังรับแรงแบกทานของดิน

- Well graded soil are usually preferable for bearing from an engineering standpoint, since good gradation usually results in high density and stability
- Specification for controlling the percentage of the various grain size groups required for a well-graded soil have been establish for engineering performance and testing
- By proportioning components to obtain a well-graded soil, it is possible to provide for maximum density.

การนำค่าการกระจายตัวของเม็ดดินไปใช้งาน

1) เป็นข้อมูลสำหรับการจำแนกประเภทดิน



Textural class	Percent sand	Percent silt	Percent clay
Sand	80-100	0-20	0-20
Sandy loam	50-80	0-50	0-20
Loam	30-50	30-50	0-20
Silty loam	0-50	50-80	0-20
Silt	0-20	80-100	0-20
Sandy clay	50-80	0-30	20-30
Clay loam	20-50	20-50	20-30
Silty clay loam	0-30	50-80	20-30
Sandy clay	50-70	0-20	30-50
Silty clay	0-20	50-70	30-50
Clay	0-50	0-50	30-100

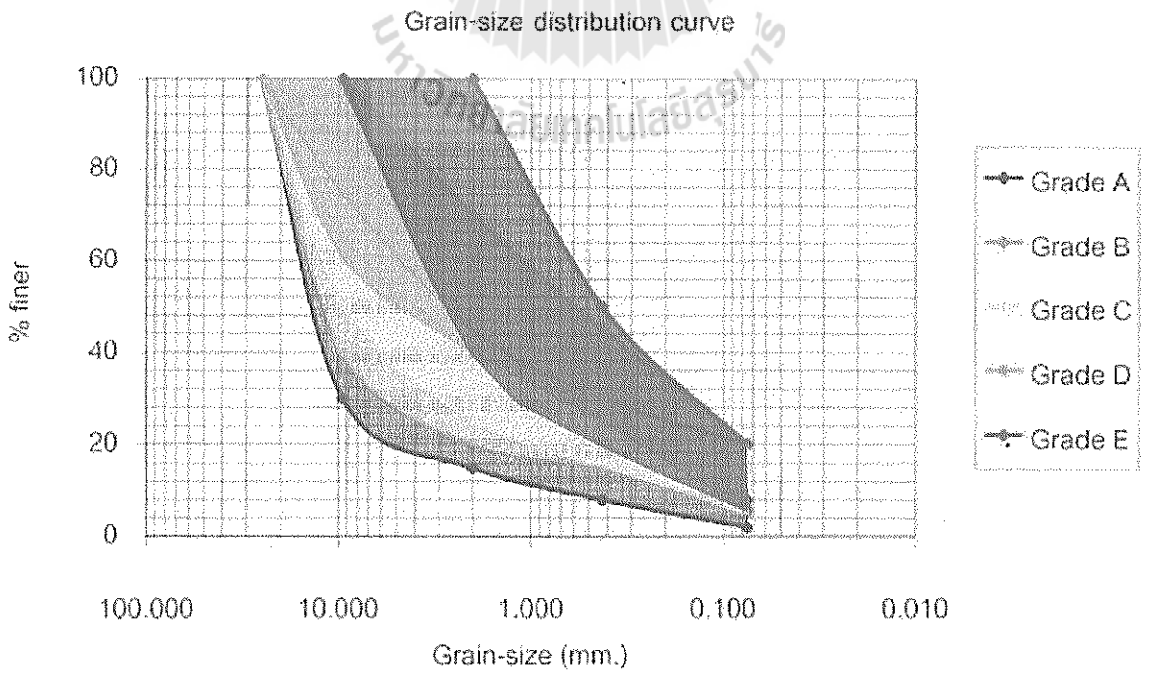
Fraction	Sieve size	Grain size, mm
Coarse sand	#10–# 60	2.0-0.25
Fine sand	#60–#270	0.25-0.05
Silt	<#270	0.05-0.005
Clay	—	<0.005

การนำค่าการกระจายตัวของเม็ดดินไปใช้งาน

2) เป็นข้อมูลสำหรับคัดเลือกวัสดุรองพื้นทาง

ขนาดช่องตะแกรง	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรง				
Grade	A	B	C	D	E
2 "	100	100	-	-	-
1"	-	-	100	100	100
3/8 "	30-65	40-75	50-85	60-100	-
No.10	15-40	20-45	20-50	40-70	10-100
No.40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
No.200	2-8	5-20	5-12	5-20	6-20

ที่มา: กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย



การนำค่าการกระจายตัวของเม็ดดินไปใช้งาน

3) เป็นข้อมูลสำหรับการหาขนาดเม็ดดินประสิทธิผล (Effective Size, D_{10}) เพื่อนำไปใช้คำนวณสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำ

Hasen 's Method (1892, 1911)

$$k = 100(D_{10})^2 \quad ,cm/s$$

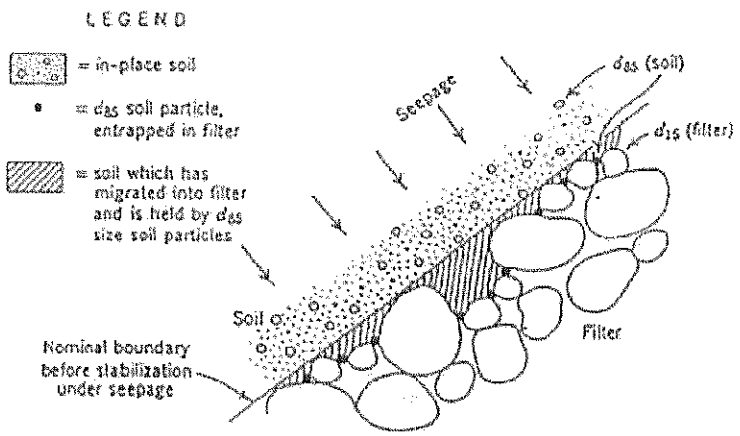
เมื่อ

D_{10} = Effective Size (cm)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การนำค่าการกระจายตัวของเม็ดดินไปใช้งาน

4) นำไปใช้ในการออกแบบชั้นกรอง (Filter Drainage) สำหรับงานเขื่อน



แสดงการเคลื่อนตัวของดินบริเวณรอยต่อของชั้นกรอง

$\frac{D_{15F}}{D_{15S}} > 5$ (Drainage Requirement)

$\frac{D_{15F}}{D_{85S}} < 5$ (Piping Requirement)

$\frac{D_{50F}}{D_{50S}} < 25$ (Piping Requirement)

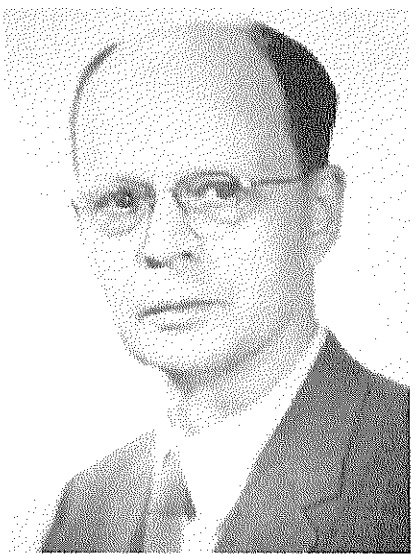
$\frac{D_{10F}}{D_{10S}} < 20$ (Piping Requirement)

(4)

สถานะของดินเหนียว (Consistency)

สถานะของดินเหนียว (Consistency)

ในปี ค.ศ. 1911 นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ *Albert Atterberg* ได้ศึกษาสถานะต่าง ๆ ของดินที่มีความเชื่อมแน่นกับปริมาณความชื้น (water content)



ในปี ค.ศ.1930, Karl Terzaghi และ Arthur Casagrande ได้นำผลงานของ Atterberg มาใช้กับงานทางด้านวิศวกรรม

ดินเหนียวโดยทั่วไปจะมีเม็ดขนาด *เล็กกว่า 0.002 mm*

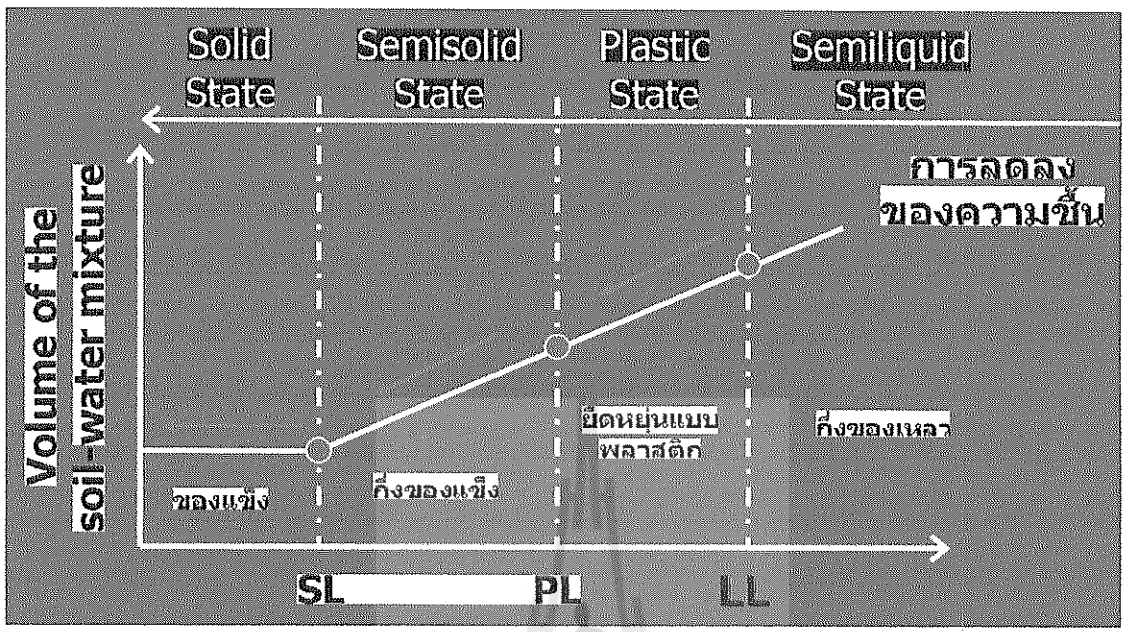
- คำนิยามของ ดินเหนียว คือ เม็ดดินที่สามารถอยู่ในสภาพพลาสติก เมื่อถูกผสม ด้วยปริมาณน้ำจำนวนหนึ่ง
- เนื่องจากเม็ด ดินมีขนาดเล็กมาก และประกอบด้วยแร่ดินเหนียวอีกทั้งยังมี รูปทรงเป็นแผ่นแบนยาว ดังนั้นมันจึงมีความพยายามจะ จับโมเลกุลของน้ำเข้ามารวมกับเม็ดดิน
- ซึ่งทำให้ดินชนิดนี้เป็น ดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive soil) และพฤติกรรมของดินนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น

สถานะของดินเม็ดละเอียด

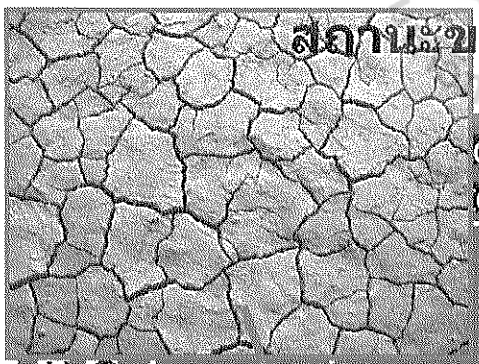
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

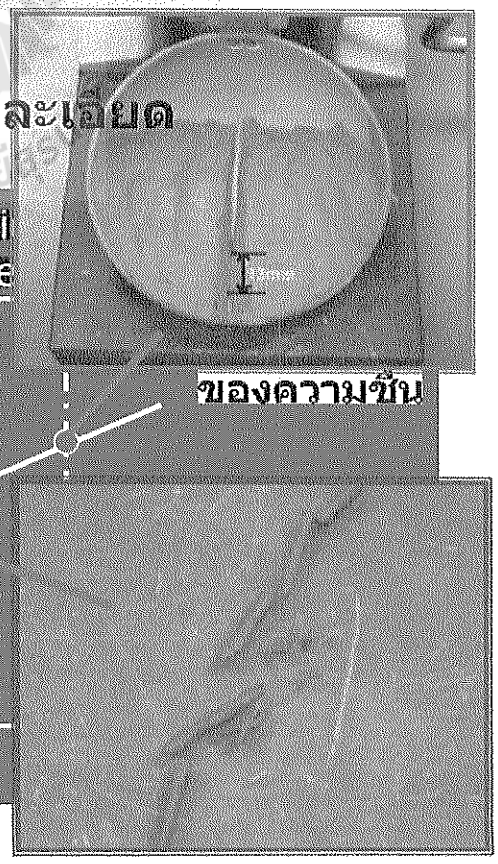
- พิกัดเหลว (Liquid limit, LL): ค่าปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดที่ดินจะอยู่ในสภาพพลาสติกได้ ก่อนจะมีสภาพเป็นกึ่งของแข็ง
- พิกัดพลาสติก (Plastic limit, PL): ค่าปริมาณความชื้นที่มากที่สุดที่ดินจะอยู่ในสภาพพลาสติกได้ ก่อนจะเป็นสภาพกึ่งของเหลว
- พิกัดหดตัว (Shrinkage limit, SL): ปริมาณความชื้นต่ำสุด ซึ่งดินมีปริมาตรน้อยที่สุด ในขณะที่ยังมีสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งมีปริมาณความชื้นสูงกว่าขีดหดตัว

สถานะของดินเม็ดละเอียด

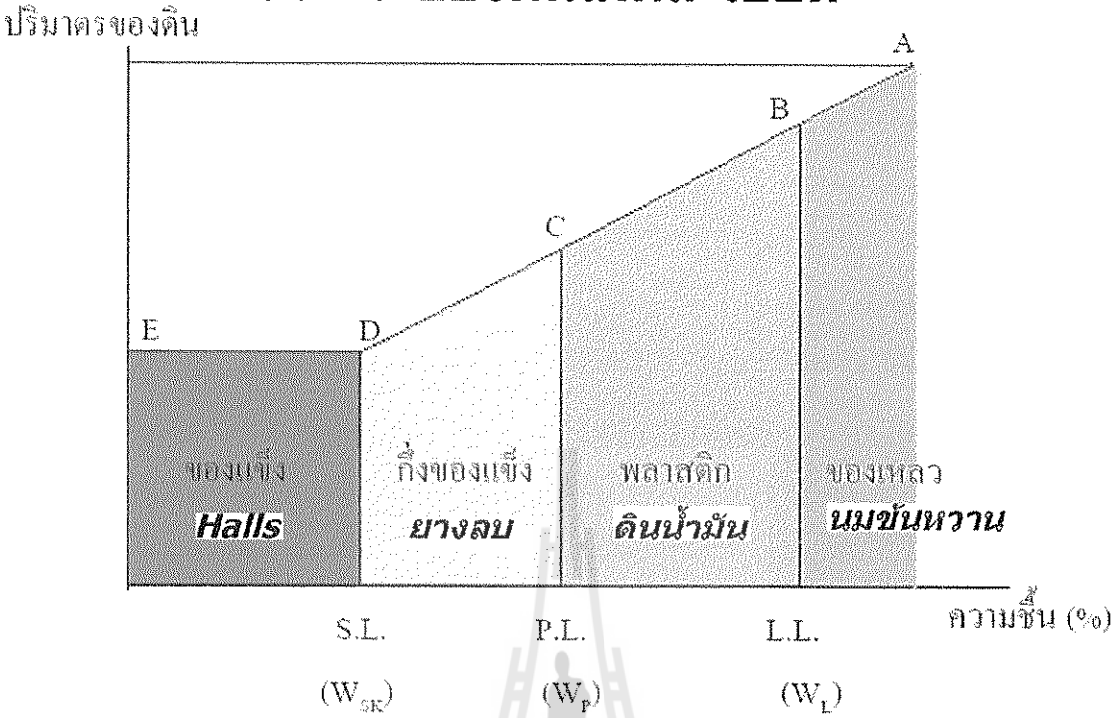


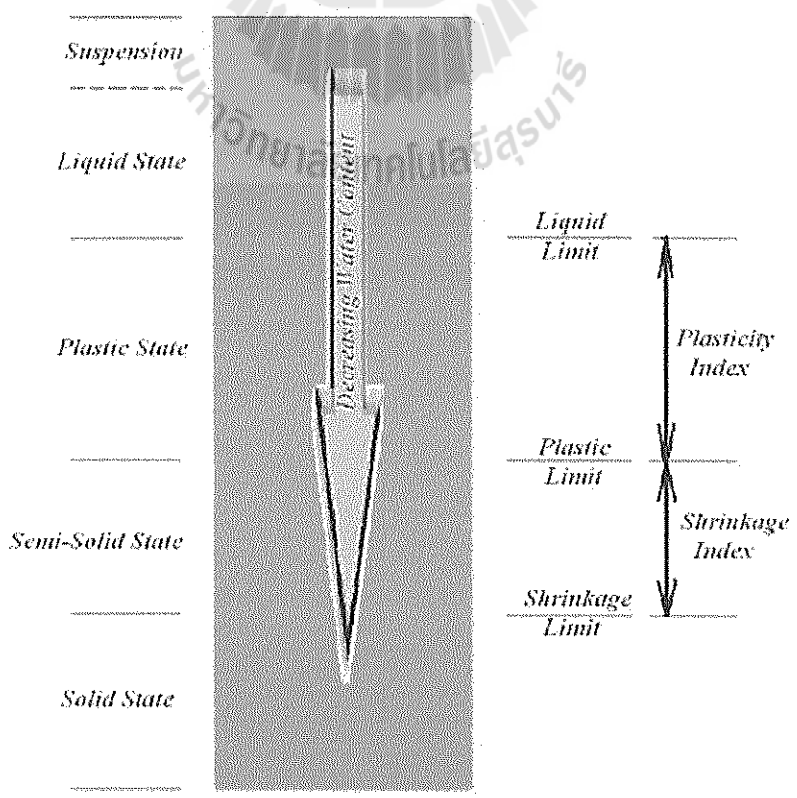
สถานะของดินเม็ดละเอียด





สถานะของดินเม็ดละเอียด





Atterberg Limits and Indices

สถานะของดินเหนียว

สามารถแบ่งได้เป็น 4 สถานะ คือ

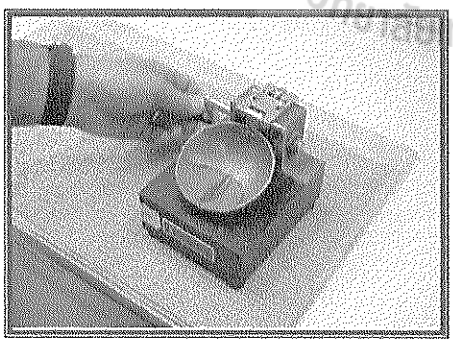
Liquid state ——→ *นมข้นหวาน*

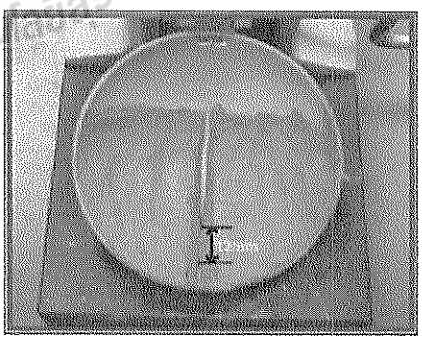
Plastic state ——→ *ดินน้ำมัน*

Semi solid state ——→ *ยางลบ*

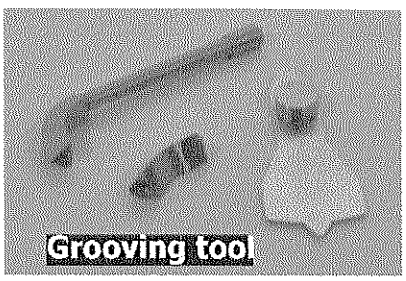
Solid state ——→ *Halls*

การหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit)

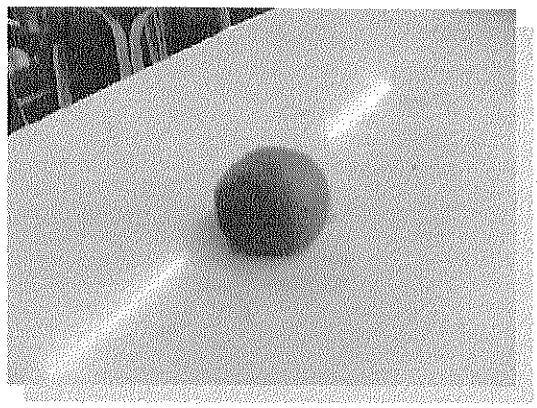




- ในการทดลองหาค่าพิกัดเหลวจะใช้ดินที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า **0.42 mm** (ผ่านตะแกรง **no. 40 sieve**): **Sand + Silt + Clay**
- ตัวอย่างดินจะถูกผสมกับน้ำแล้วป้ายลงบนถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือหาค่าพิกัดเหลวจากนั้นดินจะถูกตัดเป็นร่องด้วยเครื่องตัดร่อง **(Grooving tool)**
- ถ้วยทองเหลืองจะถูกยกขึ้นสูง **10 mm** และตกกระแทกลงบนแผ่นยางแข็ง ด้วยความเร็ว **2** รอบต่อวินาที



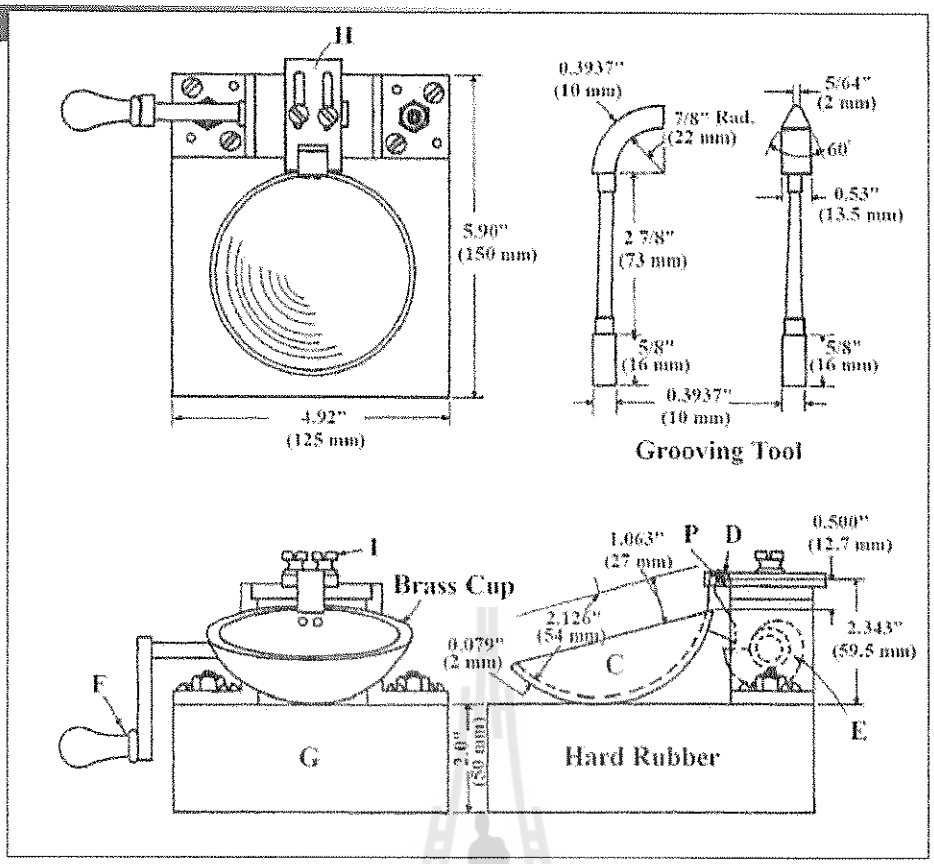
รูปที่ 4.12 แสดงปั้นดินให้เป็นก้อนกลม



รูปที่ 4.13 แสดงดินที่ปั้นคลึงจนกลม

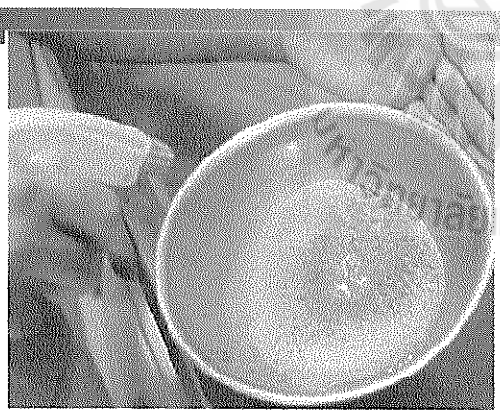
รปที่ 4.14 แสดงคลึงดินจากกลมให้เป็นเส้น

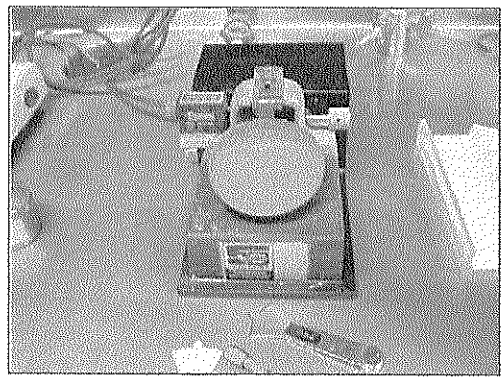
รปที่ 4.15 แสดงดินที่คลึงเป็นเส้น

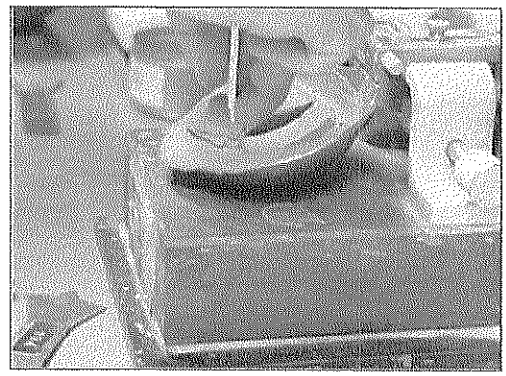


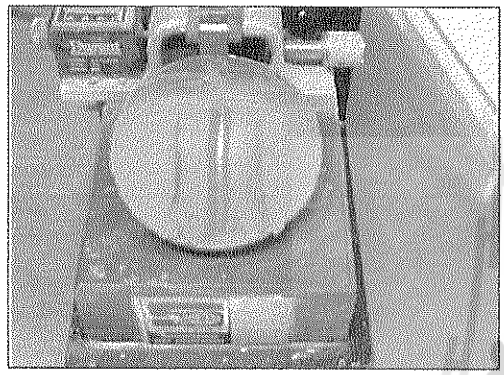
เครื่องมือทดสอบ - Casagrande's Cup

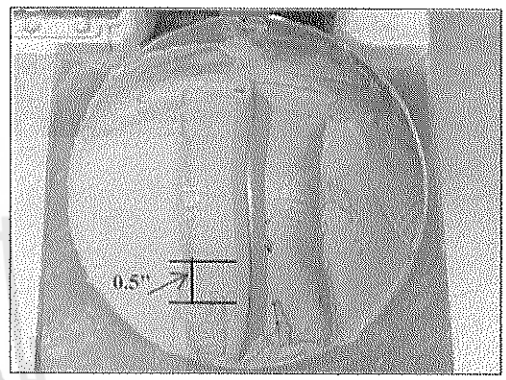
ระยะตกกระทบ 10 mm

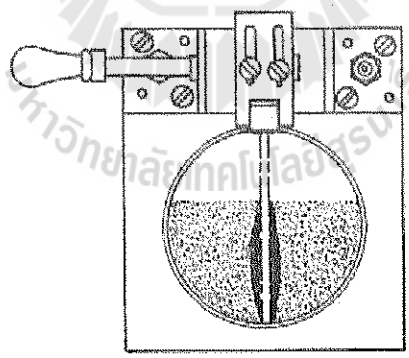










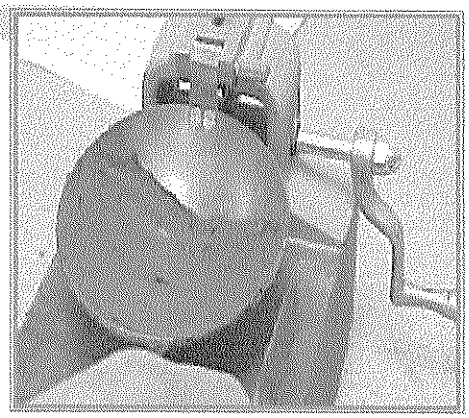


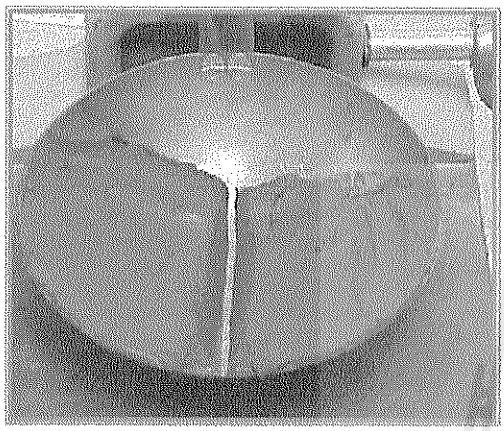
Liquid Limit Device with Soil Sample in Place

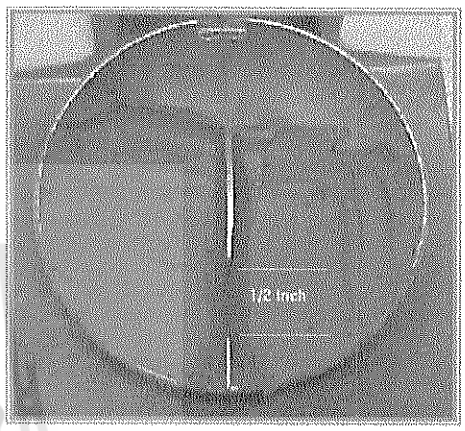
Divided Soil Cake Before Test

Soil Cake After Test

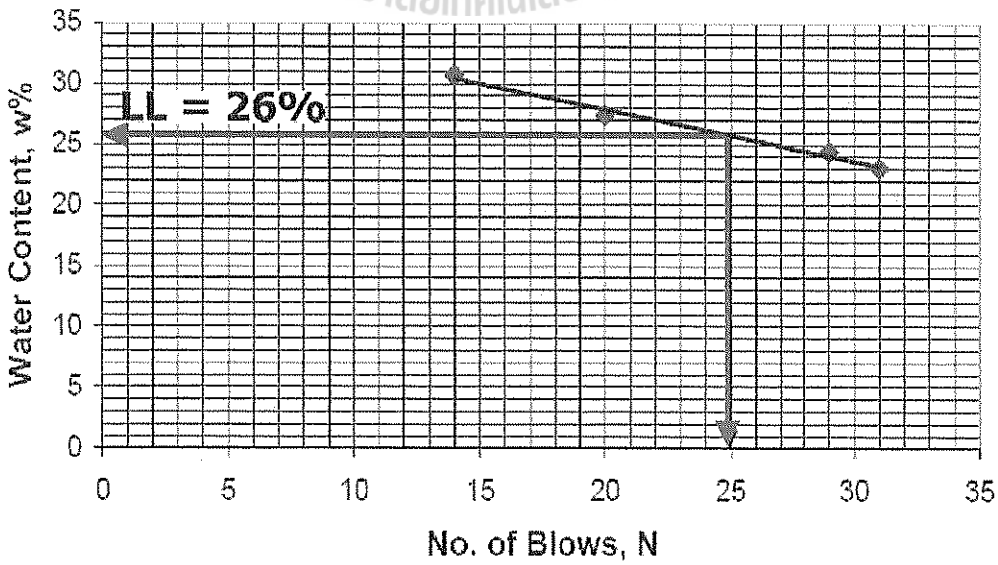
ขั้นตอนการทดสอบ







ตัวอย่างผลการทดสอบ



Example: A liquid limit test conducted on a soil sample in the cup device (Casagrande Method) gave the following results

Number of blows	10	19	23	27	40
Mass of can (g)	50.0	52.0	51.0	48.0	49.0
Mass of can + moist soil (g)	82.0	78.1	81.8	73.9	77.8
Mass of can + dry soil (g)	71.0	70.2	73.0	67.0	72.0
Mass of water (g)					
Mass of dry soil (g)					
Water content (%)					

Example: A liquid limit test conducted on a soil sample in the cup device (Casagrande Method) gave the following results

Number of blows	10	19	23	27	40
Mass of can (g)	50.0	52.0	51.0	48.0	49.0
Mass of can + moist soil (g)	82.0	78.1	81.8	73.9	77.8
Mass of can + dry soil (g)	71.0				72.0
Mass of water (g)	*11.0*				
Mass of dry soil (g)	*21.0*				
Water content (%)	*52.4*				

82.0-71.0

Example: A liquid limit test conducted on a soil sample in the cup device (Casagrande Method) gave the following results

Number of blows	10	19	23	27	40
Mass of can (g)	50.0	52.0	51.0	48.0	49.0
Mass of can + moist soil (g)	82.0	78.1	81.8	73.9	77.8
Mass of can + dry soil (g)	71.0	70.2	73.0	67.0	72.0
Mass of water (g)	*11.0*				
Mass of dry soil (g)	*21.0*				
Water content (%)	*52.4*				

71.0-50.0

Example: A liquid limit test conducted on a soil sample in the cup device (Casagrande Method) gave the following results

Number of blows	10	19	23	27	40
Mass of can (g)	50.0	52.0	51.0	48.0	49.0
Mass of can + moist soil (g)	82.0	78.1	81.8	73.9	77.8
Mass of can + dry soil (g)	71.0	70.2	73.0	67.0	72.0
Mass of water (g)	*11.0*				
Mass of dry soil (g)	*21.0*				
Water content (%)	*52.4*				

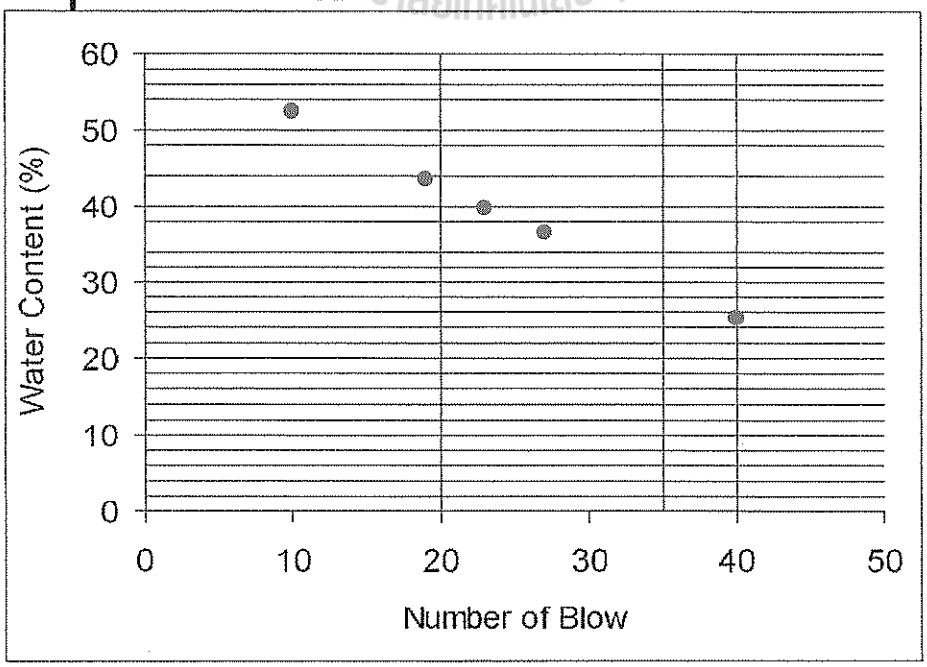
(11.0/21.0)x100

Example: A liquid limit test conducted on a soil sample in the cup device (Casagrande Method) gave the following results

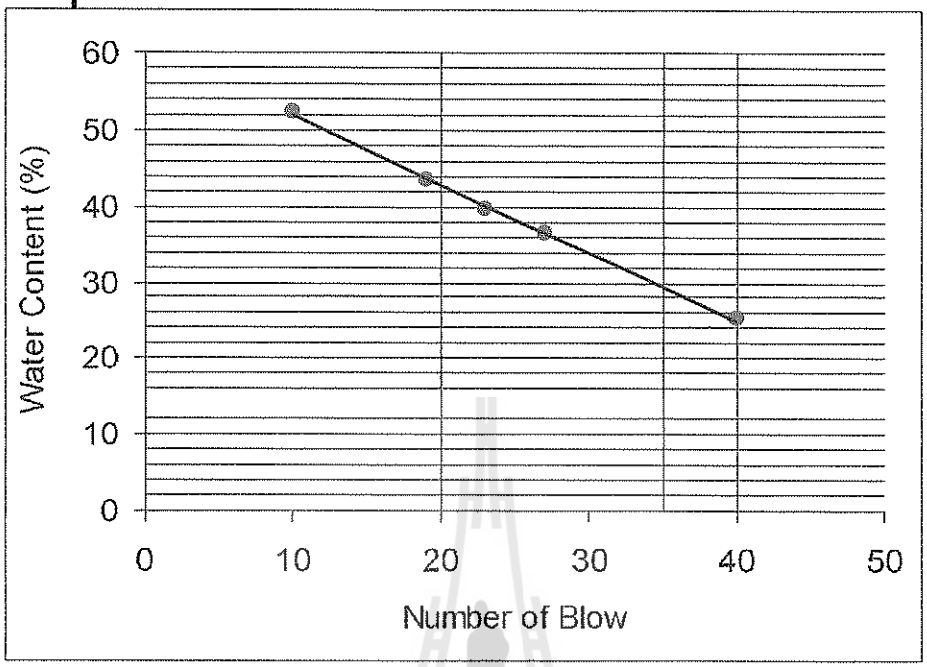
Number of blows **X-axis**	10	19	23	27	40
Mass of can (g)	50.0	52.0	51.0	48.0	49.0
Mass of can + moist soil (g)	82.0	78.1	81.8	73.9	77.8
Mass of can + dry soil (g)	71.0	70.2	73.0	67.0	72.0
Mass of water (g)	*11.0*	*7.9*	*8.8*	*6.9*	*5.8*
Mass of dry soil (g)	*21.0*	*18.2*	*22.0*	*19.0*	*23.0*
Water content (%) **Y-axis**	*52.4*	*43.6*	*39.8*	*36.5*	*25.2*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

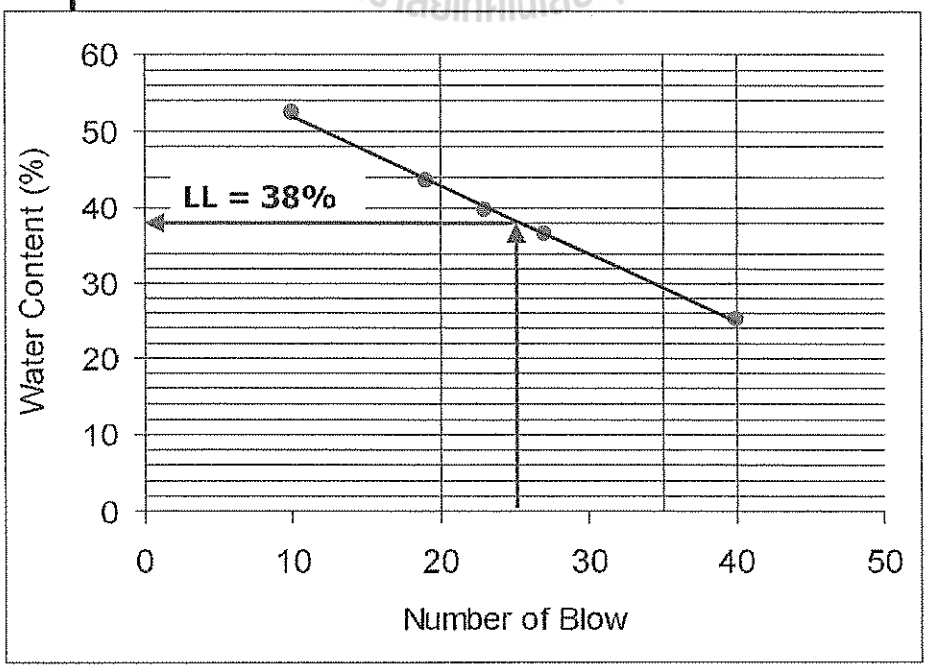
Example: Results



Example: Results



Example: Results



พิกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL)

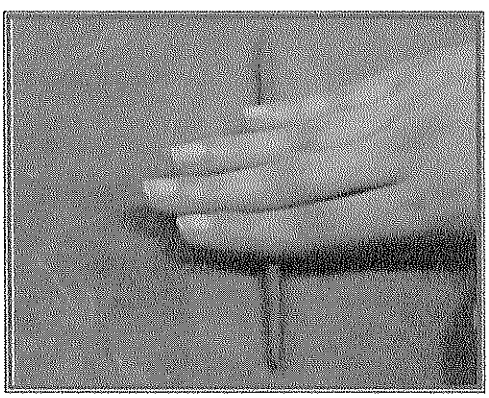
นิยาม

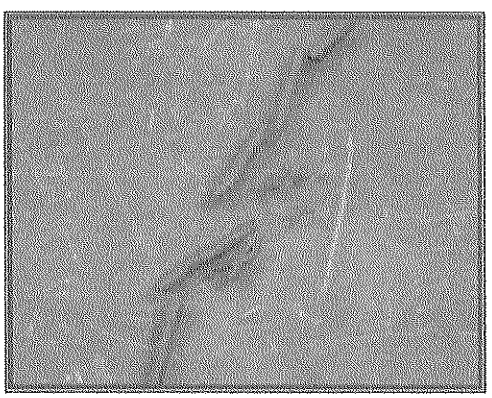
พิกัดพลาสติก คือค่าปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดที่ดินจะอยู่ในสภาพพลาสติกได้

- ❑ **ในการทดลองหาค่าพิกัดพลาสติกจะใช้ดินที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.42 mm (no. 40 sieve): Sand + Silt + Clay**
- ❑ **ตัวอย่างดินจะถูกผสมกับน้ำแล้วปั้นเป็นเส้นยาวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 mm**
- ❑ **ปริมาณความชื้นที่ดินเริ่มแตกจากกัน (Just crumbled) คือค่า *พิกัดพลาสติก***

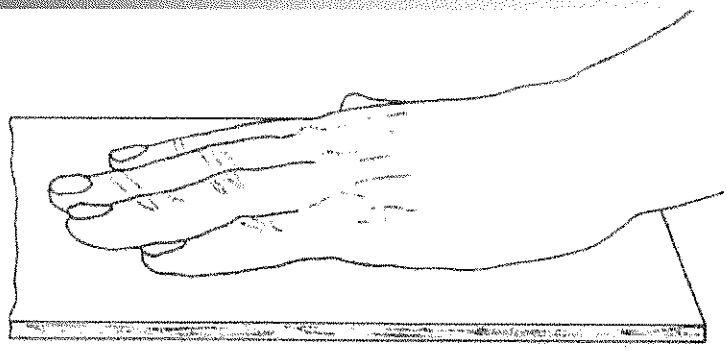
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

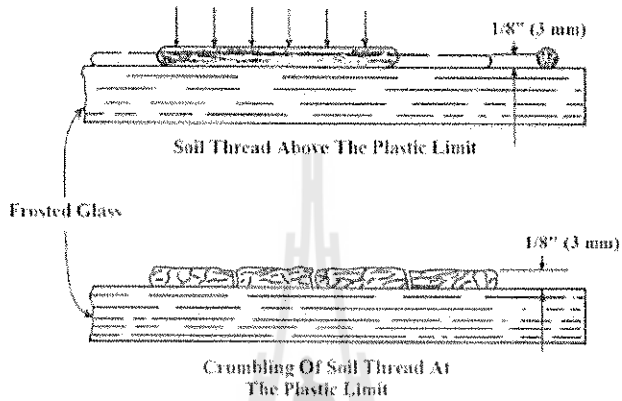
พิกัดพลาสติก

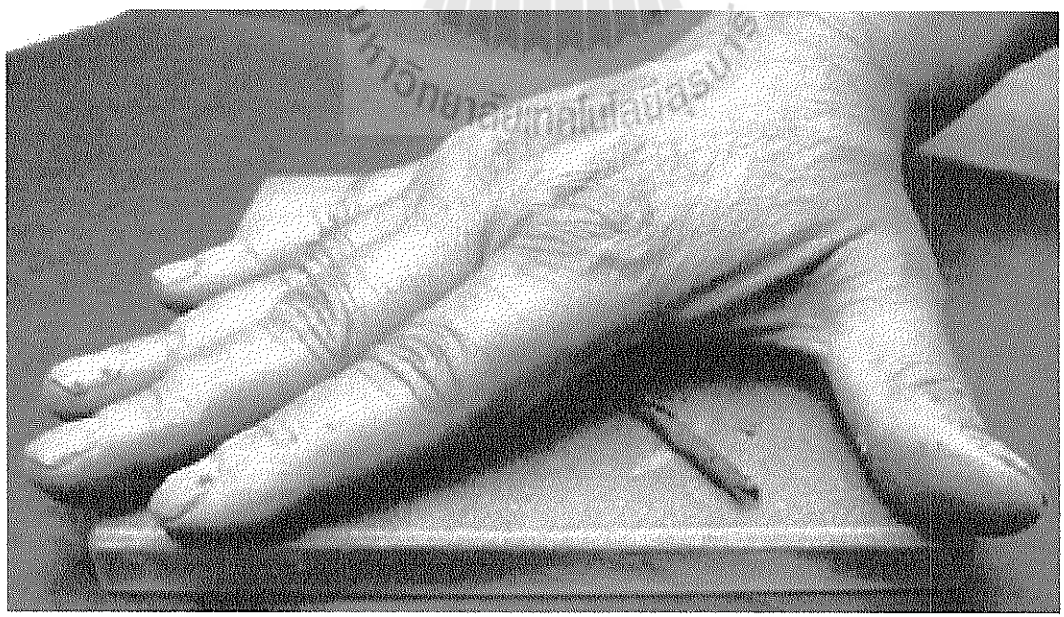


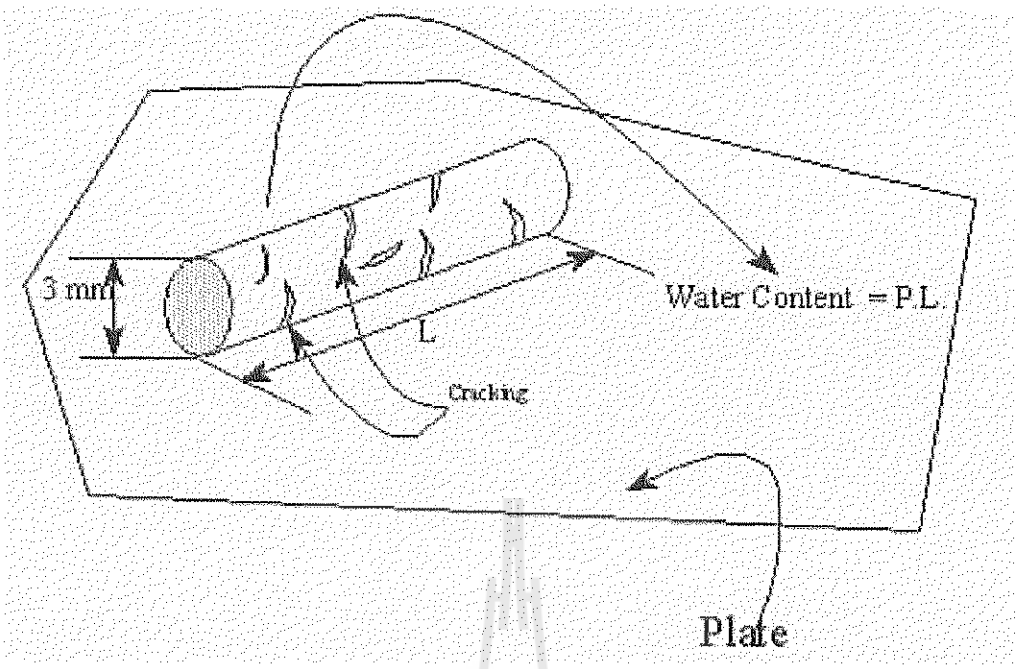


Plastic Limit (PL) is the water content, in percentage, at which a soil can no longer be deformed by rolling into 3.2 mm (1/8 inch) diameter threads without crumbling.




1/8" (3 mm)
Soil Thread Above The Plastic Limit
Frosted Glass
1/8" (3 mm)
Crumbling Of Soil Thread At
The Plastic Limit

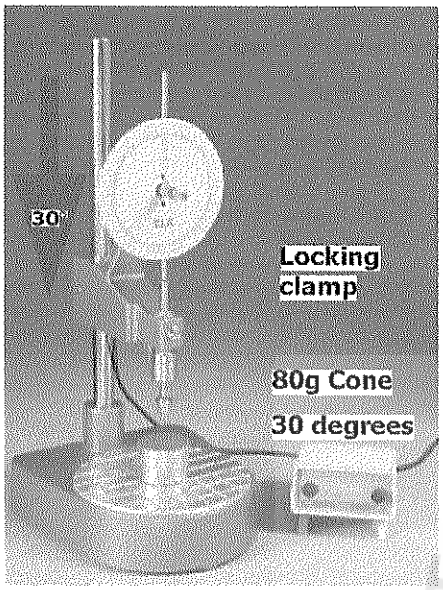


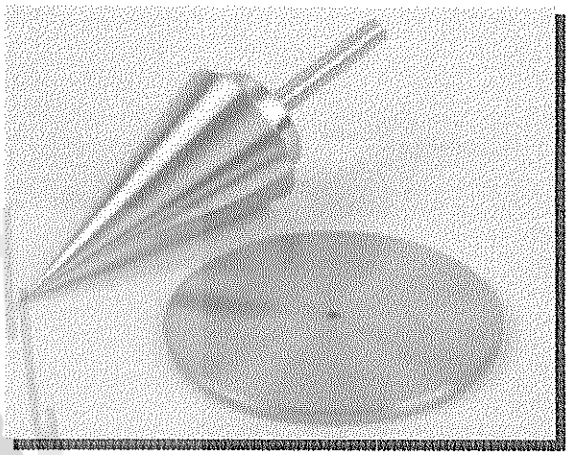


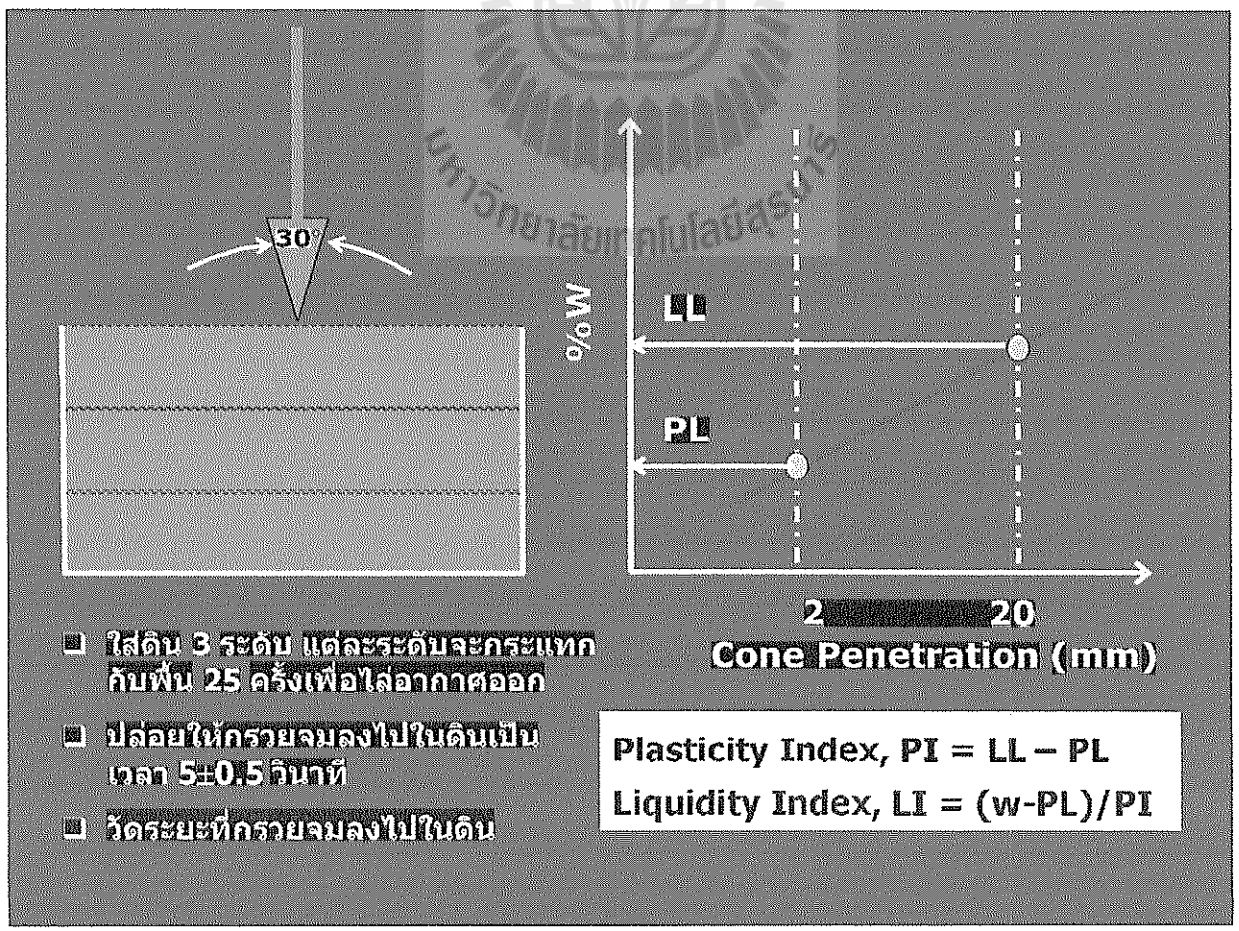
รูปที่ 4.16 แสดงนำตัวอย่างดินใส่กระป๋องอบ

รูปที่ 4.17 แสดงตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้ว

การหาค่าพิกัดเหลวและพิกัดพลาสติก โดย Cone Penetrometer Method







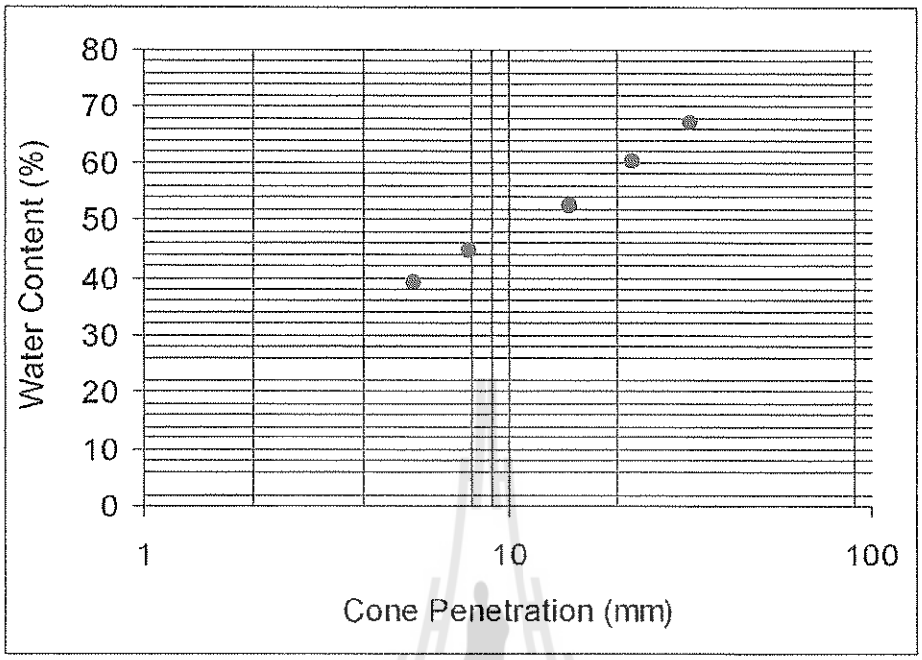
- ใส่ดิน 3 ระดับ แต่ละระดับจะกระแทกกับพื้น 25 ครั้งเพื่อไล่อากาศออก
- ปล่อยให้กรวยจมลงไปในดินเป็นเวลา 5±0.5 วินาที
- วัดระยะที่กรวยจมลงไปในดิน

Plasticity Index, PI = LL – PL

Liquidity Index, LI = (w-PL)/PI

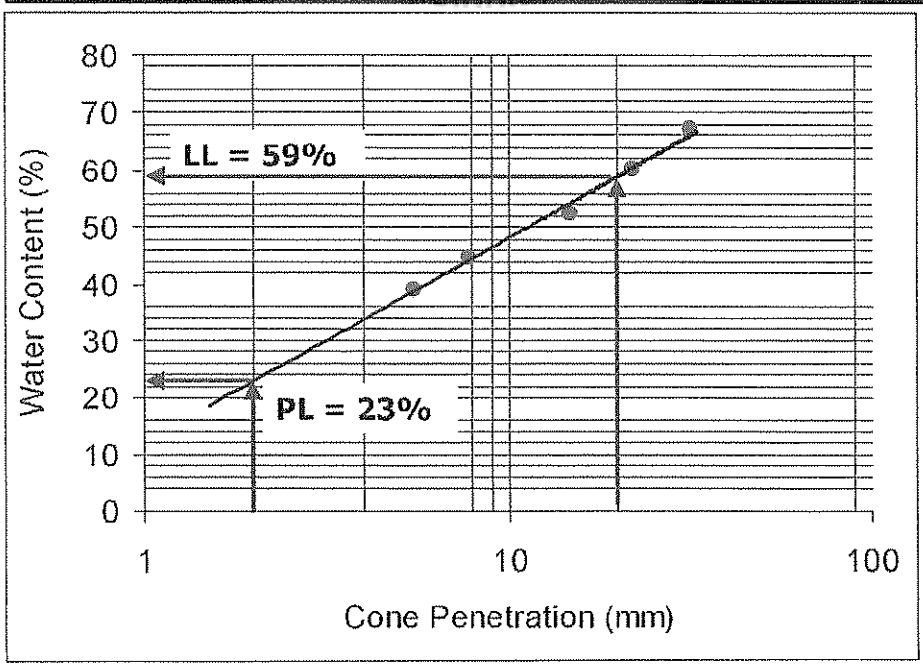
Example: The results of a fall cone test (cone penetrometer method) are shown in the table below.

Penetration (mm)	5.5	7.8	14.8	22	32
Water Content (%)	39.0	44.8	52.5	60.3	67.1



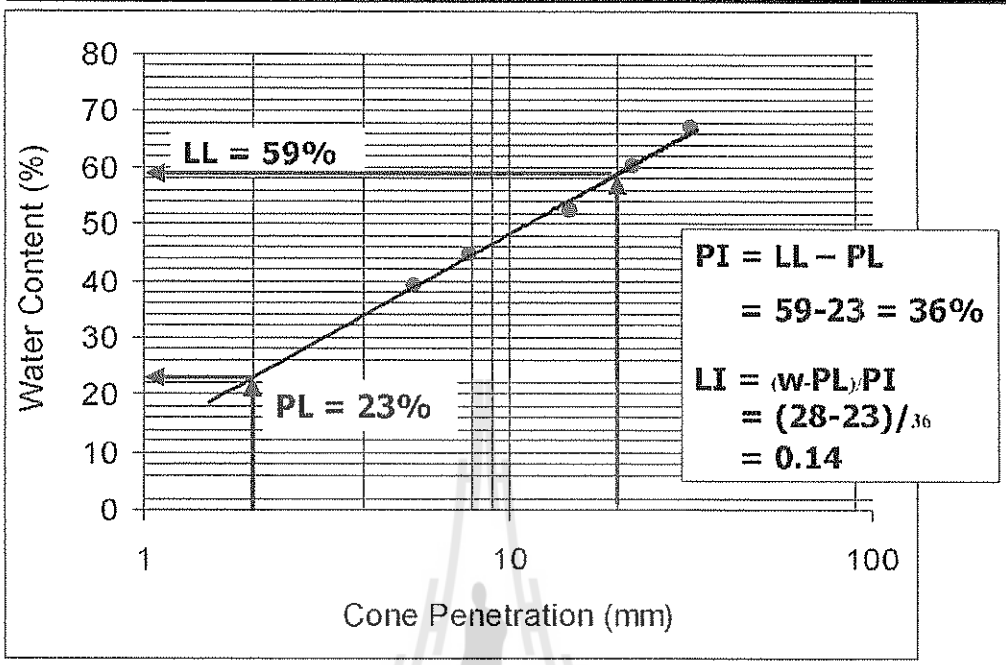
Example: The results of a fall cone test (cone penetrometer method) are shown in the table below.

Penetration (mm)	5.5	7.8	14.8	22	32
Water Content (%)	39.0	44.8	52.5	60.3	67.1



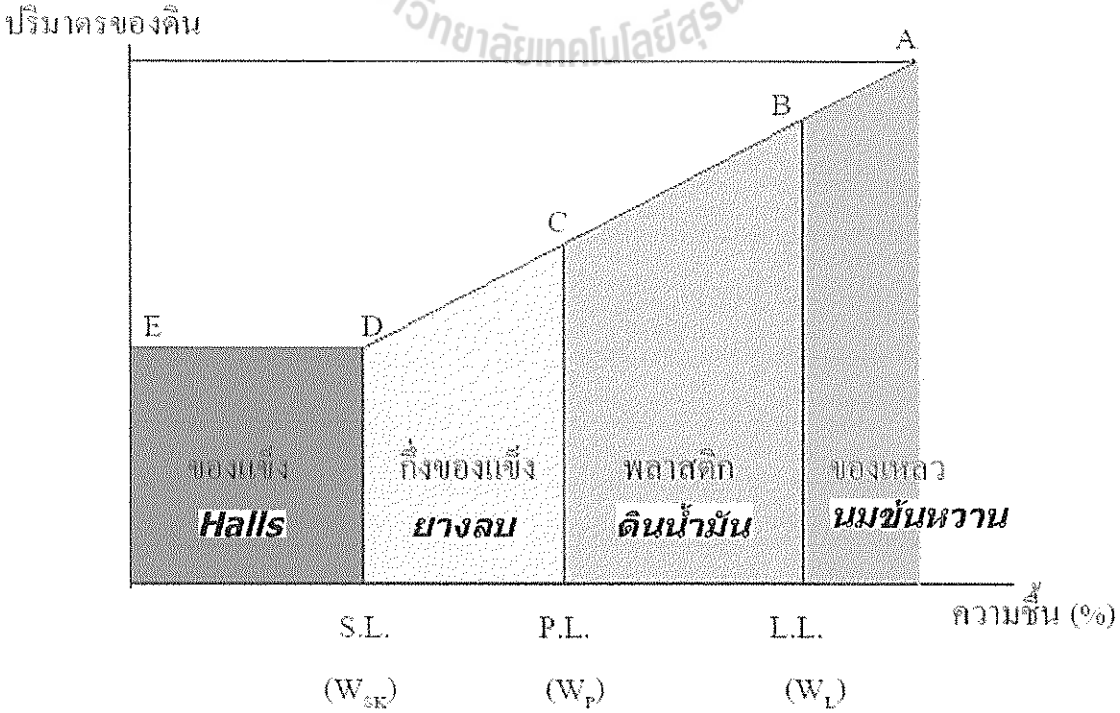
Example: The results of a fall cone test (cone penetrometer method) are shown in the table below.

Penetration (mm)	5.5	7.8	14.8	22	32
Water Content (%)	39.0	44.8	52.5	60.3	67.1



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สถานะของดินเม็ดละเอียด



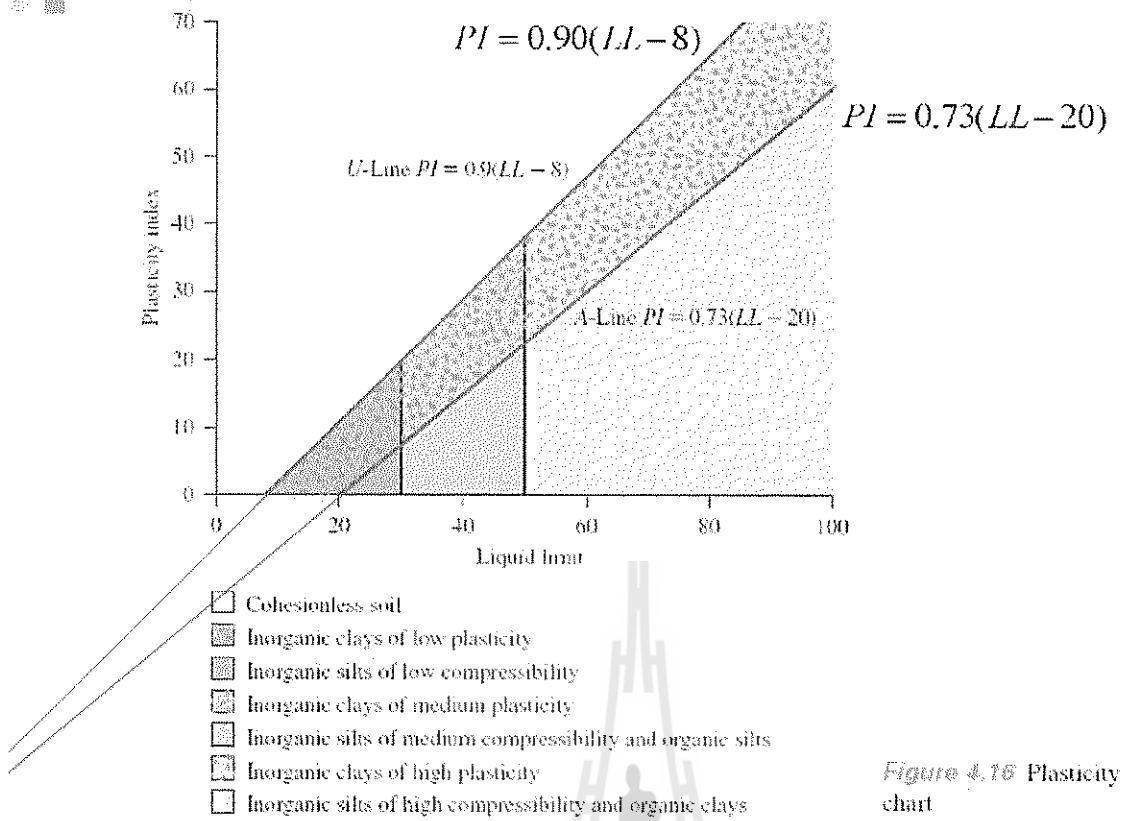
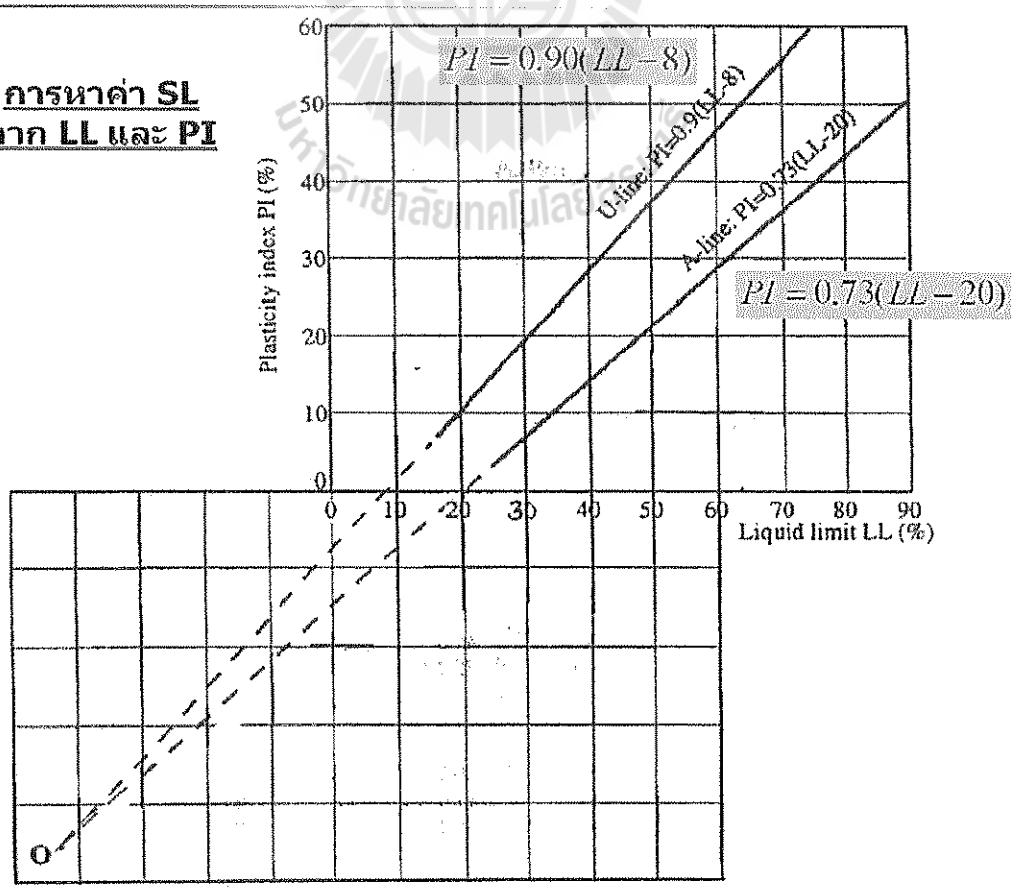
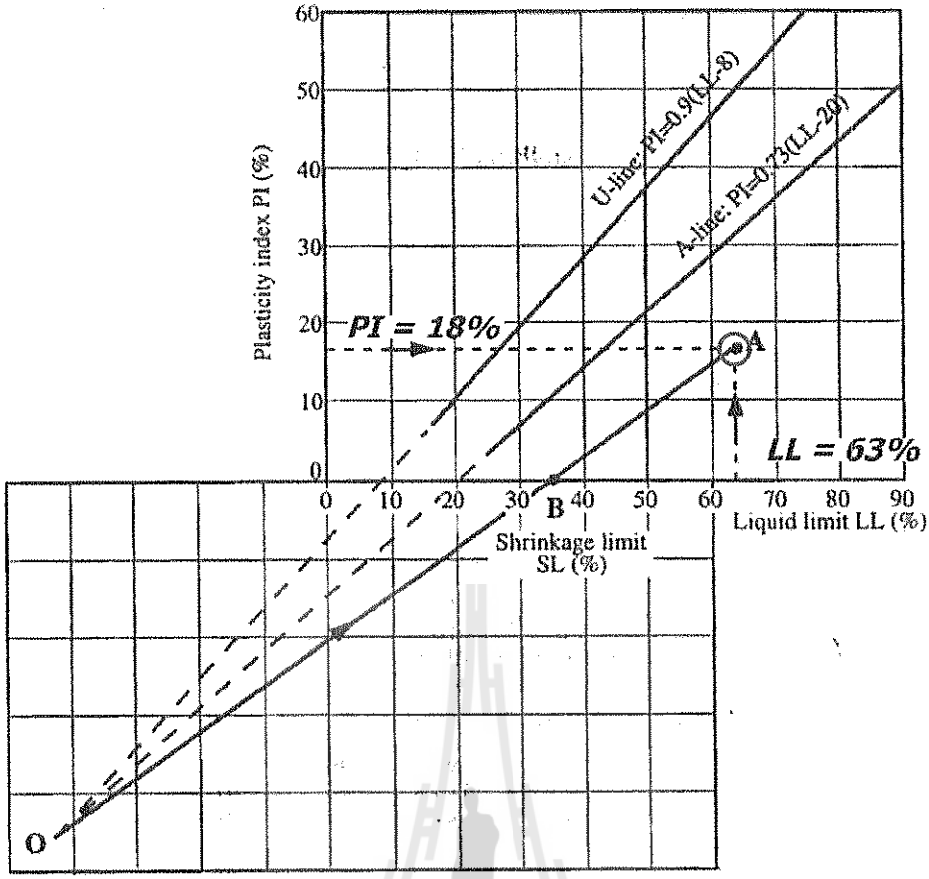
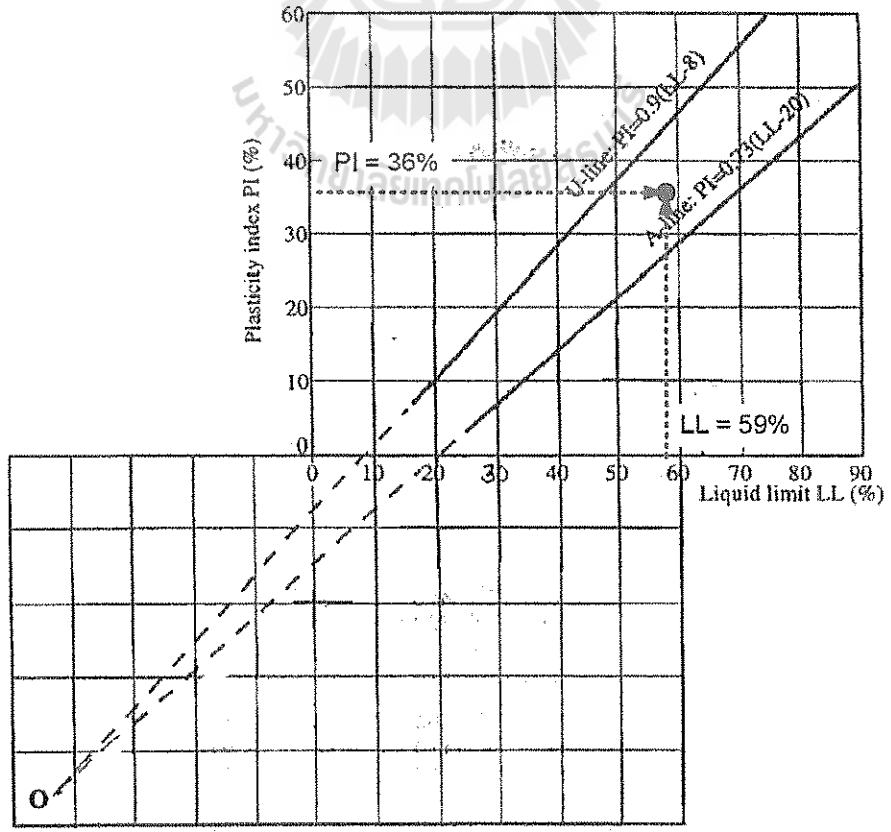


Figure 4.16 Plasticity chart

การหาค่า SL จาก LL และ PI

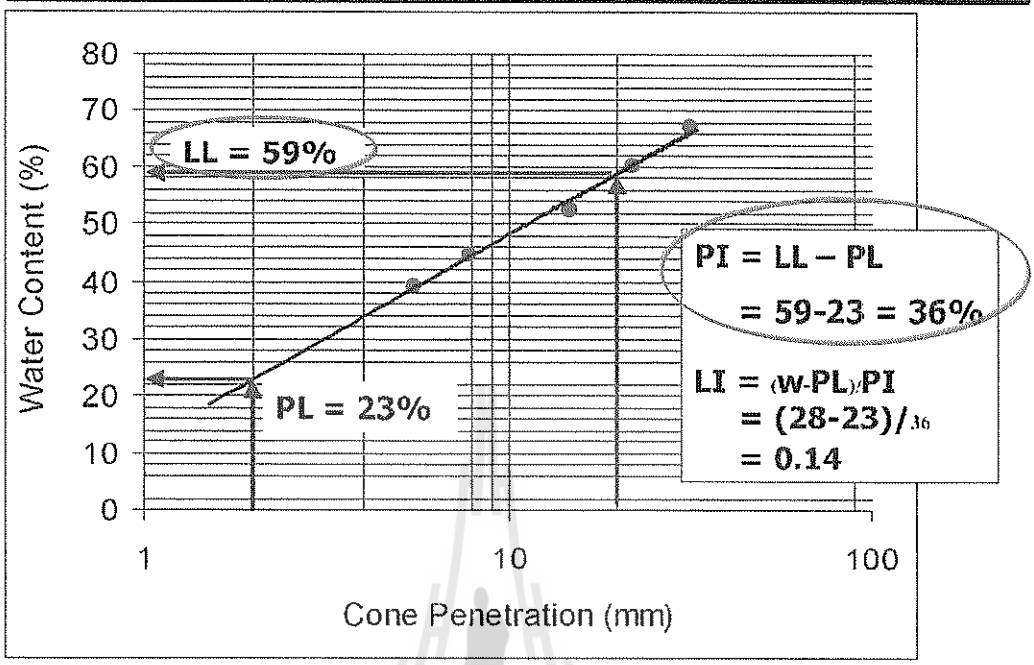


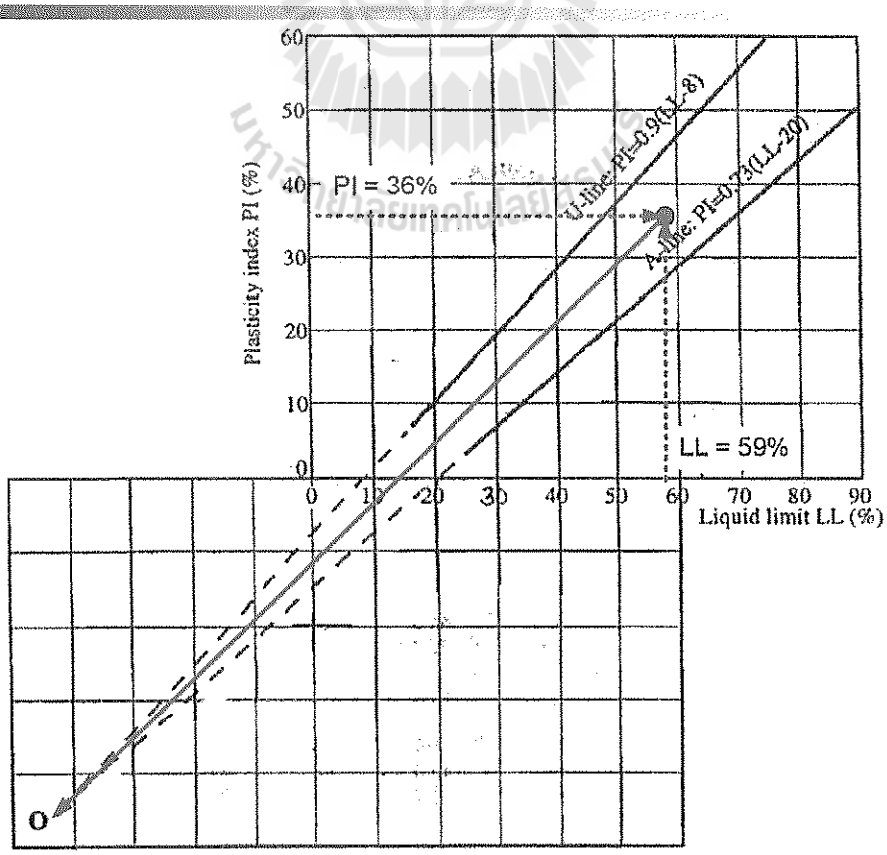

Plasticity index PI (%)
U-line: PI=0.9(LL-8)
A-line: PI=0.73(LL-20)
PI = 18%
A
LL = 63%
B
Shrinkage limit
SL (%)
Liquid limit LL (%)
O

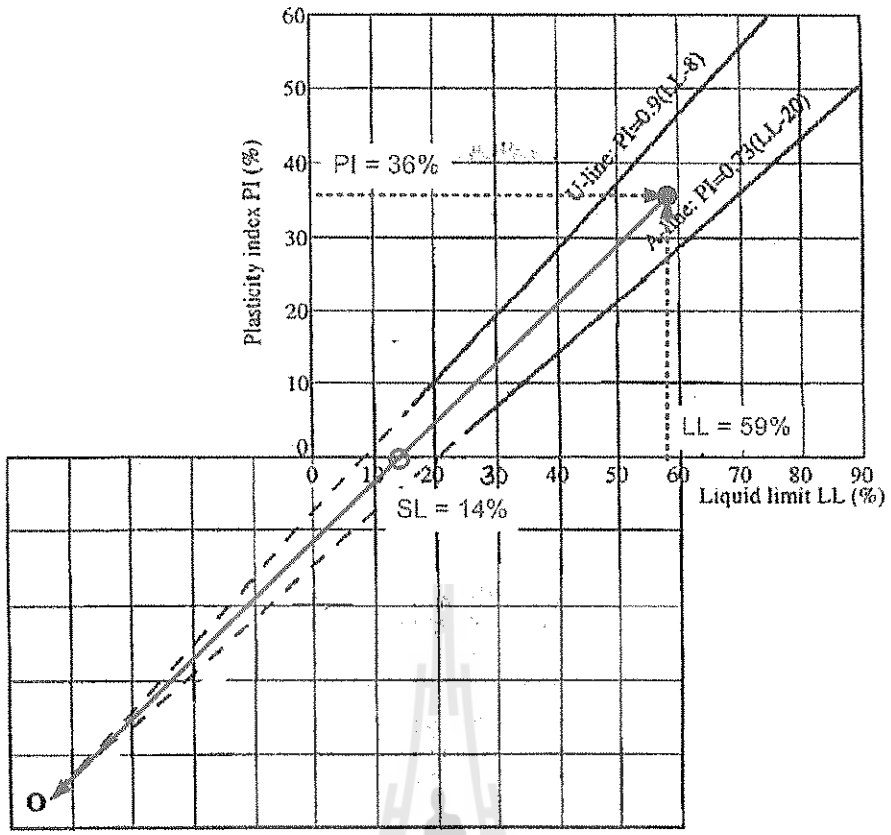

Plasticity index PI (%)
PI = 36%
U-line: PI=0.9(LL-8)
A-line: PI=0.73(LL-20)
LL = 59%
Liquid limit LL (%)
O

Example: The results of a fall cone test (cone penetrometer method) are shown in the table below.

Penetration (mm)	5.5	7.8	14.8	22	32
Water Content (%)	39.0	44.8	52.5	60.3	67.1







สรุปเกี่ยวกับสถานะของดินเหนียว

เป็นค่าที่ระบุถึงความชื้น (water content) ของดินในสภาพต่างๆ

- **Liquid Limited**, LL – ปริมาณความชื้นที่ดินเปลี่ยนจากสถานะเหลว (*นมข้นหวาน*) ไปเป็นสถานะพลาสติก (*ดินน้ำมัน*)
- **Plastic Limited**, PL – ปริมาณความชื้นที่ดินเปลี่ยนจากสถานะพลาสติก (*ดินน้ำมัน*) ไปเป็นสถานะกึ่งของแข็ง (*ยางลบ*)
- **Shrinkage Limited**, SL – ปริมาณความชื้นที่ดินเปลี่ยนจากสถานะกึ่งของแข็ง (*ยางลบ*) ไปเป็นสถานะของแข็ง (*ลูกอมฮอลล์*) เมื่อความชื้นลดต่ำกว่า SL ดินจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร
- **Plasticity Index**, PI = LL – PL
- **Liquidity Index**, LI = (w – PL)/PI

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปเกี่ยวกับสถานะของดินเหนียว...

- ค่า LL, PL และ SL ได้จากการนำดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 หรือเล็กกว่า 0.42 mm (ได้แก่ Sand + Silt + Clay) ไปทดสอบ Percussion method ตามวิธี Casagrande (1932) หรือนำไปทดสอบ Cone Penetrometer Method
- การทดสอบ Atterberg มี 2 อย่าง: การใช้ Casagrande's cupและการปั่นเป็นก้อน
- Casagrande's cup จะได้ค่า LL โดยเป็นปริมาณความชื้นที่ถ้วยตกกระทบด้วยระยะ 10 mm (ด้วยอัตราหมุน 2 ครั้งต่อวินาที) จำนวน 25 ครั้งแล้วดินไหลมาชนกัน 0.5 นิ้ว
- การปั้นเป็นเส้นจะได้ค่า PL ซึ่งเป็นความชื้นของดินที่เมื่อปั้นได้ขนาด 1/8 นิ้วแล้วดินเกิดเป็นรอยแตกขนาดเล็ก (รอยแตกขนาดเส้นผม)

สรุปเกี่ยวกับสถานะของดินเหนียว...

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

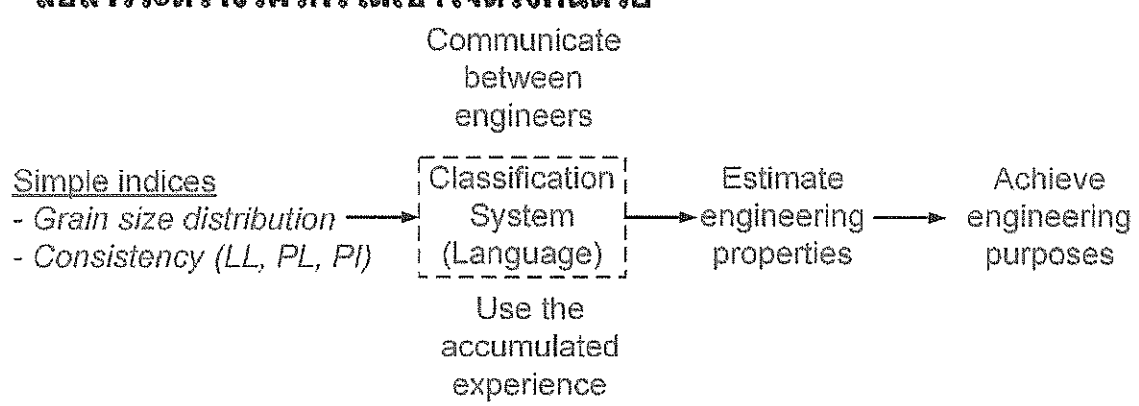
- การใช้ Cone Penetrometer Method จะได้ทั้งค่า LL และ PL
- ทดสอบดิน 3 ชั้นที่บรรจุในกระบอกทดสอบ
- ลูกดิ่งที่ใช้มีมุม 30 องศา หนัก 80 g ปล่อยให้ทะลวงดินเป็นเวลา 5 วินาที แล้ววัดระยะที่ลูกดิ่งจมลงไปในดิน
- ค่า LL เป็นความชื้นที่ลูกดิ่งทะลวงดินเป็นระยะ 20 mm
- ค่า PL เป็นความชื้นที่ลูกดิ่งทะลวงดินเป็นระยะ 2 mm
- ค่า LL และ PL จะนำไปจำแนกดินเม็ดละเอียด ประกอบกับผลการทดสอบการหาขนาดคละของเม็ดดิน

(5)

ระบบการจำแนกชนิดของดิน
(Soil Classification Systems)

จุดประสงค์การจำแนกดิน

จัดแบ่งกลุ่มดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ (ขนาดคละ) เหมือนกันและนำไปอธิบายและคาดคะเนพฤติกรรมทางด้านกลศาสตร์จากฐานข้อมูลที่มีการศึกษาไว้แล้วในอดีตว่าดินแต่กลุ่มมีพฤติกรรมอย่างไรบ้างและยังใช้สื่อสารระหว่างวิศวกรได้เข้าใจตรงกันด้วย



จุดประสงค์ของการจำแนกดิน

- จำแนกดินที่มีคุณลักษณะคล้ายกันเข้าไว้ในกลุ่มเดียวกัน โดยอาศัยข้อมูล การกระจายตัวของเม็ดดิน และ พิกัด Atterberg (ค่า LL และ PI) เป็นหลัก
- ประโยชน์ของการจำแนกคือ ผลของการจำแนกดินทำให้ทราบคุณสมบัติของดินคร่าว ๆ จากการเทียบเคียง
- สามารถอ้างอิงใช้ประการณ์ของตนเองและผู้เชี่ยวชาญในอดีตที่ทำในพื้นที่อื่น ที่เป็นดินกลุ่มเดียวกัน มาใช้กับงานที่ตนกำลังทำอยู่

ระบบการจำแนกประเภทของดิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระบบการจำแนกดินที่เป็นสากลและใช้อ้างอิงโดยทั่วไปได้แก่

- ระบบการจำแนกดินของ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official)
- ระบบการจำแนกดินของ USCS (Unified Soil Classification System: ASTM D 2488) การจำแนกดินทางด้านวิศวกรรม
- ระบบการจำแนกดินของ USDA (เพื่องานทางด้านการเกษตร)

ระบบการจำแนกแบบ USCS
Unified Soil Classification System

- ระบบ (USCS) นี้ ถูกนำเสนอโดย Casagrande และ ได้รับการปรับปรุงโดย U.S. Bureau of Reclamation และได้ใช้มาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมทั่วไป เช่นงานเจาะสำรวจดิน ออกแบบฐานราก
- เหมาะกับงานวิศวกรรมทั่วไป เช่น งานดินถมและฐานราก
- จัดแบ่งตามลักษณะขนาดของเม็ดดิน และการกระจายตัวของเม็ดดิน และแบ่งตามคุณสมบัติความเหนียวของดิน (ค่า LL และ PI)
- แบ่งดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ ดินเม็ดหยาบ (กรวดหรือทราย) ดินเม็ดละเอียด (clay และ silt) และดินที่มีสารอินทรีย์มาก

ระบบนี้จะแบ่งดินเป็น 3 กลุ่ม คือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ดินเม็ดหยาบ (Coarse grained soil)
  → ค้าง #200 มากกว่า 50 %
- ดินเม็ดละเอียด (Fine grained soil)
  → ผ่าน #200 มากกว่า 50 %
- ดินพีท (Peat)
  → LLR < 0.75

**** LLR = Liquid limit ratio อัตราส่วนของ LL ที่ใช้ตัวอย่างอบแห้งต่อตัวอย่างเปียก****

ขนาดของเม็ดดินในระบบ USCS

ชนิดของดิน		ขนาด (mm)
1) ดินเม็ดหยาบ (Coarse Grained)	กรวด (Gravel)	75 – 4.75 ค้างตะแกรง No.4
	ทราย (Sand)	4.75 – 0.075 ผ่านตะแกรง No.4 แต่ค้างตะแกรง #200
2) ดินเม็ดละเอียด (Fine Grained)	ตะกอน (Silt) และดินเหนียว (Clay)	< 0.075 ผ่านตะแกรง #200

สัญลักษณ์ของดิน 2 ตัว

ใช้อักษรภาษาอังกฤษ 2 ตัว คู่กัน ตัวแรกเป็นกลุ่มหลัก และตัวที่สองจะเป็นกลุ่มย่อยแสดงความคละและความเหนียวของดิน

สัญลักษณ์ตัวแรก		สัญลักษณ์ตัวที่สอง	
G	= กรวด (Gravel)	O	= ดินอินทรียสาร (Organic soil)
S	= ทราย (Sand)	L	= มีสภาพพลาสติกต่ำ (Low plasticity)
M	= ดินตะกอน (Silt)	H	= มีสภาพพลาสติกสูง (High plasticity)
C	= ดินเหนียว (Clay)	W	= มีขนาดคละดี (Well graded)
		P	= มีขนาดคละไม่ดี (Poorly graded)

ตัวอย่างของชนิดดิน

GW : กรวดที่มีขนาดคละดี (Well graded gravel)

SM : ดินตะกอนปนทราย (Silty sand)

MH : ดินตะกอนที่มีความเป็นพลาสติกสูง (High plastic silt)
(Elastic silt)

CL : ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ (Low plastic clay)
(Lean clay)

CH : ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง High plastic clay
(Fat clay)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สัญลักษณ์

- *คุณสมบัติความเหนียวของดิน*

Liquid limit symbols:

H: High liquid limit (LL>50)

L: Low liquid limit (LL<50)

- *การกระจายตัวของเม็ดดิน*

Gradation symbols:

W: Well-graded

$1 < Cc < 3$ และ $Cu \geq 4$ สำหรับกรวดคละดี

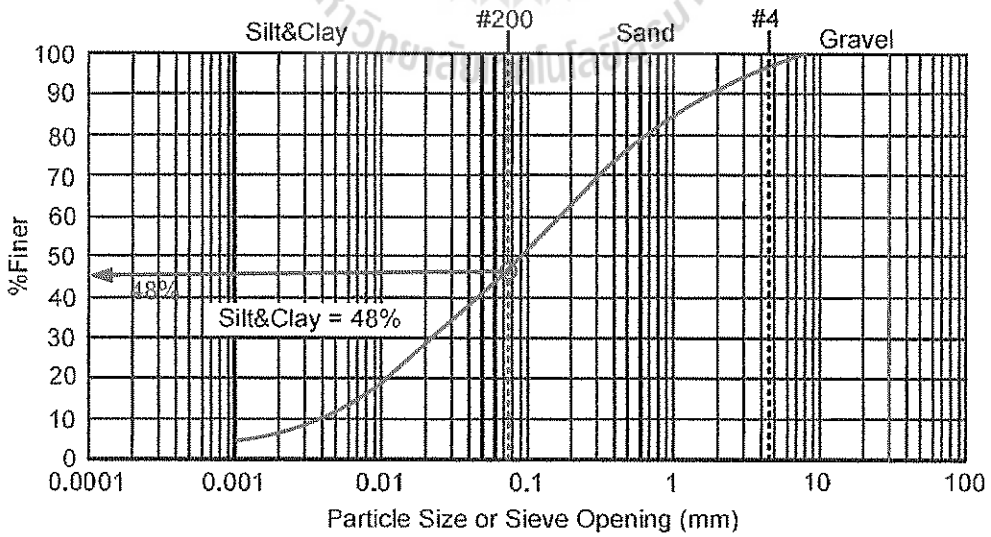
$1 < Cc < 3$ และ $Cu \geq 6$ สำหรับทรายคละดี

P: Poorly-graded

USCS: ดินเม็ดหยาบ (Coarse Grained Soils) ได้แก่ Sand และ Gravel

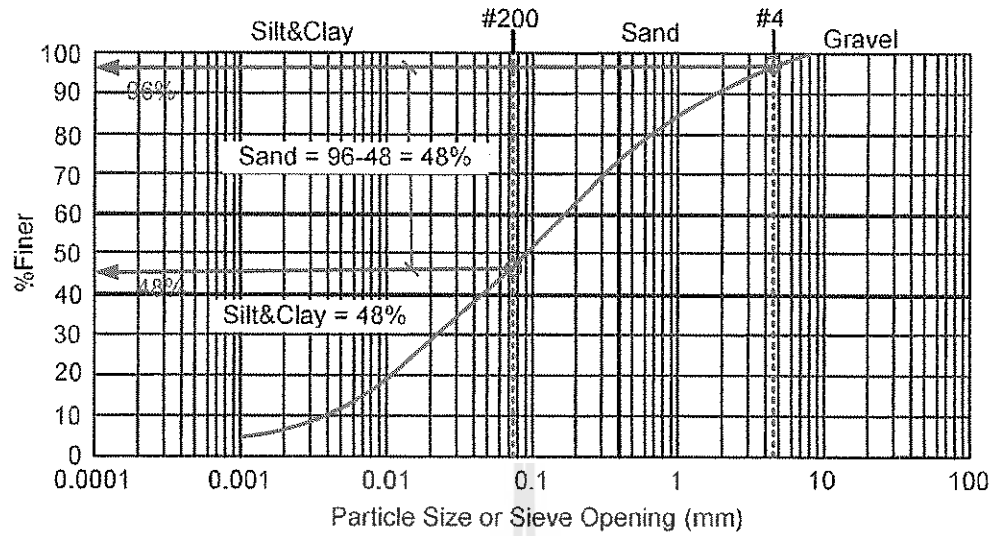
Major divisions: > 50% retained on No.200 sieve		Group symbol	Group name
Gravel > 50% of coarse fraction retained on No.4 (4.75 mm) sieve	clean gravel	GW	well graded gravel, fine to coarse gravel
		GP	poorly graded gravel
	gravel with >12% fines	GM	silty gravel
		GC	clayey gravel
Sand ≥ 50% of coarse fraction passes No.8 sieve	clean sand	SW	well graded sand, fine to coarse sand
		SP	poorly-graded sand
	sand with >12% fines	SM	silty sand
		SC	clayey sand

ตัวอย่างการจำแนกดิน



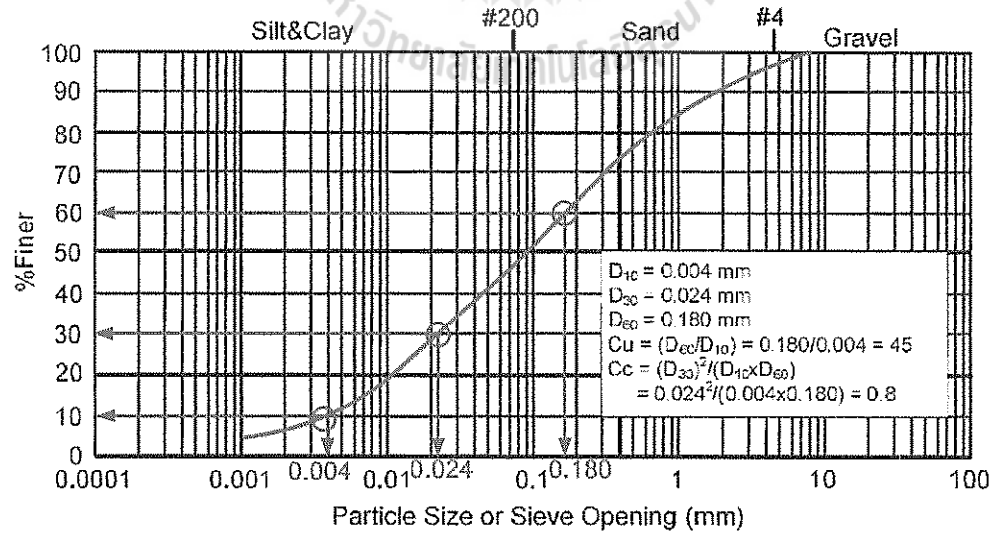
1) ระบุก่อนว่าเป็นดินเม็ดหยาบหรือดินเม็ดละเอียดโดยดูสัดส่วนว่ามีดินเม็ดหยาบหรือเม็ดละเอียดมากกว่ากัน (พิจารณาตะแกรง#200 หรือ 0.075 mm) ตัวอย่างดินนี้มีดินเม็ดละเอียด 48% ดังนั้นมีดินเม็ดหยาบอยู่ 52% ดังนั้นจึงจำแนกได้ว่าเป็น "ดินเม็ดหยาบ"

ตัวอย่างการจำแนกดิน



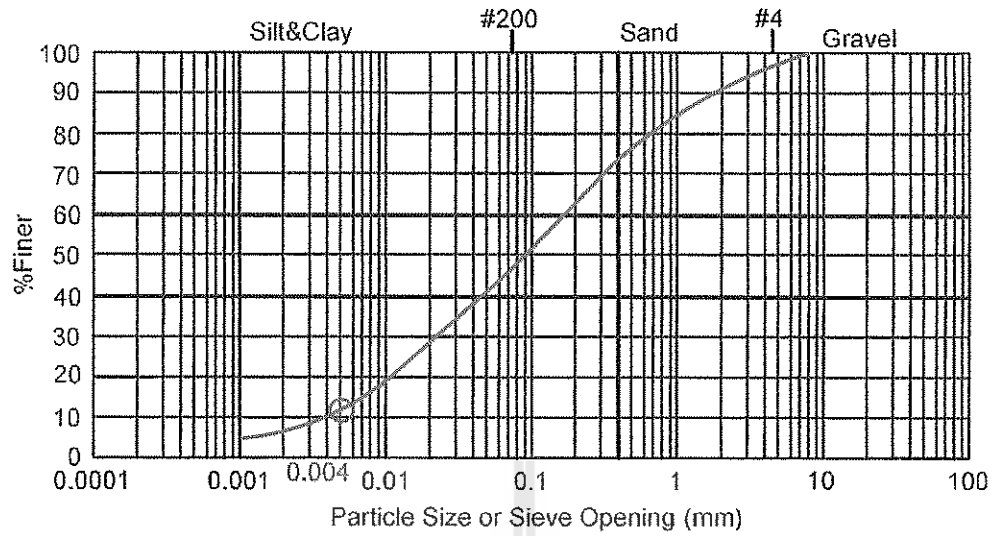
2) เมื่อรู้ว่าเป็นดินเม็ดหยาบก็ต้องระบุว่าเป็นกรวด (Gravel) หรือ ทราย (Sand) โดยดูสัดส่วนใน 52% ของดินเม็ดหยาบนี้เป็น กรวด หรือ ทราย %Finer ของ siveve#4 (ซึ่งใช้แยกระหว่างกรวดกับทราย) เท่ากับ 96% เพราะฉะนั้นเป็นกรวดเท่ากับ 100-96 = 4% และเป็นทรายเท่ากับ 52-4 = 48% คิดเป็น (48÷52)x100 = 92.3% ของดินเม็ดหยาบ ดังนั้นจำแนกได้เป็น "ทราย (Sand)"

ตัวอย่างการจำแนกดิน



3) เมื่อรู้ว่าเป็นดินเม็ดหยาบแบบทราย (Sand) ให้ไประบุความคละขนาดของเม็ดดินว่าคละดี (Well Graded) หรือคละไม่ดี (Poorly graded) จากค่า Cu และ Cc จากรูป C_u = 45 (ซึ่งมากกว่า 6) และ C_c = 0.8 (อยู่ในช่วง 1 ถึง 3) แสดงว่ามีความคละดี (Well Graded) เรียกดินนี้ว่า Well-Graded Sand (SW)

ตัวอย่างการจำแนกดิน



4) เนื่องจากมี Silt และ Clay ผสมอยู่มากกว่า 12% (นั่นคือ 54%) ซึ่งอาจจะเป็นซึ่งคิดเป็น Well-graded sand with silt (SW-SM) หรือ Well-graded sand with clay (SW-SC) จากกราฟ Silt = 12% ดังนั้นเป็น Clay = 42% จึงถูกเรียกชื่อว่า **"Well-graded sand with clay (SW-SC)"**

สรุปดินตัวอย่างนี้

%Finer #200 = 48% (52% plus#200) — **Coarse-Grained Soil**

48% silt + clay — **(Gravel or Sand???)**

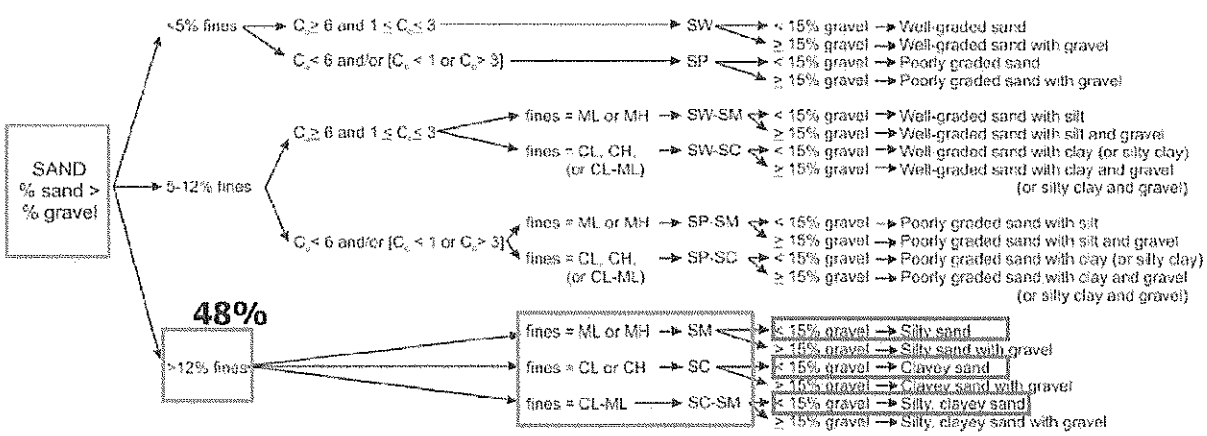
%Finer #4 = 96%

4% Gravel (96 – 4)

48% Sand (100 – 48 – 4) — **Sand (S)**

$C_u = 45$

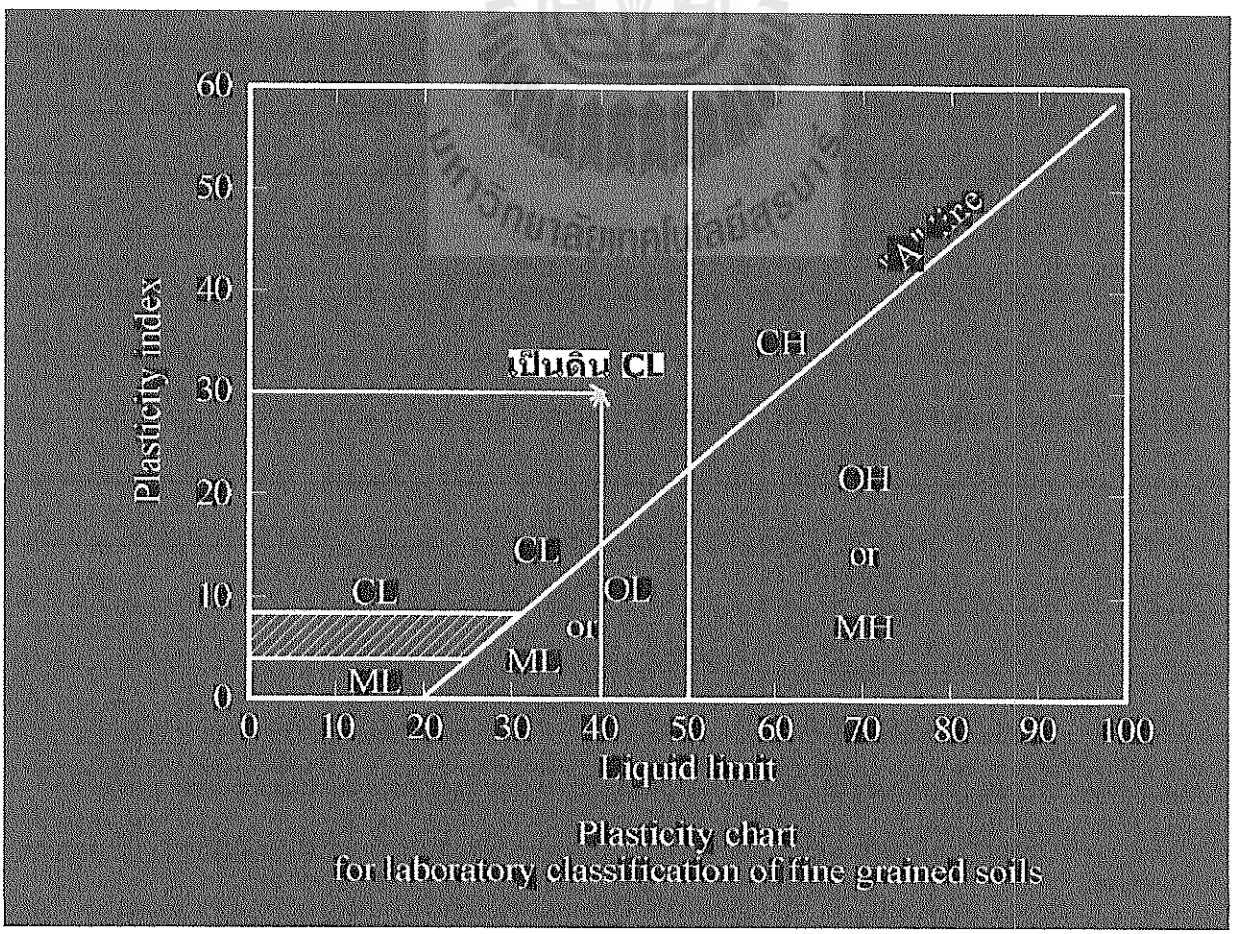
$C_c = 0.8$



ต้องหาค่า PL และ LL ก่อน

USCS: ดินเม็ดละเอียด (Fined Grained Soils) ได้แก่ Silt และ Clay

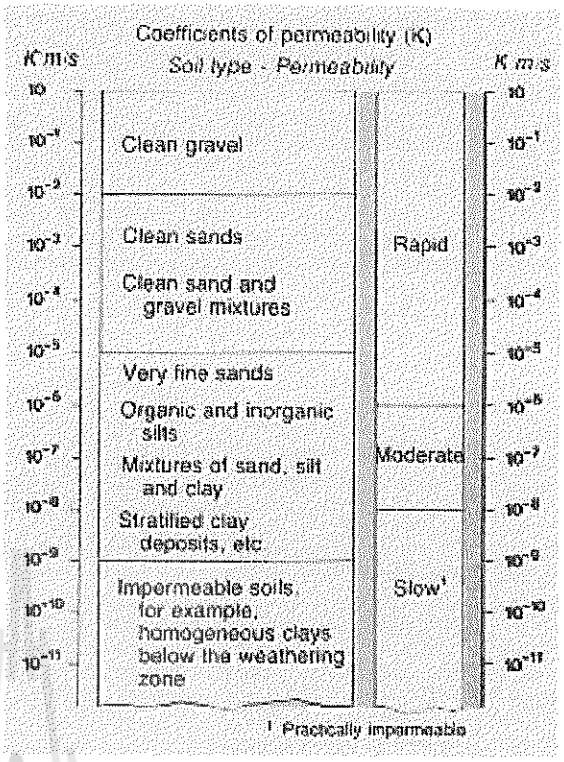
Major divisions: ≥ 50% passes on No.200 sieve		Group symbol	Group name
Silt and Clay Liquid limit < 50	Inorganic	ML	silt
		CL	clay
	organic	OL	organic silt, organic clay
Silt and Clay Liquid limit ≥ 50	inorganic	MH	silt of high plasticity, elastic silt
		CH	clay of high plasticity, fat clay
High organic soil		Pt	peat



คุณสมบัติของดินทางด้านกลศาสตร์และชลศาสตร์

Soil Types	Friction Angle (degrees)	Cohesion
Sand	30° to 45° (36°)	0
Gravel	35° to 50° (40°)	0
Clay	10° to 20° (14°)	0 to large, "Typically" 15 to 1000 kPa

การต้านแรงเฉือน (Shear Strength)



ค่าความซึมผ่าน

AASHTO Soil classification system

- AASHTO ย่อมาจาก American Association of State Highway and Transportation Official
- จัดตามความสามารถในการรับน้ำหนักได้ใกล้เคียงกันรวมเป็นกลุ่มเดียว เพื่อจะพิจารณาเาคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้เป็นดินต้นทางในงานถนน
- การจำแนกใช้ผลการกระจายตัวของเม็ดดินและพิกัดAtterberg (ค่า LL และ PI) เหมือนกับระบบ USCS
- ดินประกอบด้วย 7 กลุ่มหลัก คือ A-1, A-2, …., A-7
- ดินที่ดีที่สุดในการใช้เป็นดินถมคันทาง คือ ดินกลุ่ม A-1 ดินที่เลวที่สุดคือกลุ่ม A-7
- ค่าดัชนีกลุ่ม (Group Index, GI) จะเขียนกำกับไว้ในวงเล็บท้ายชื่อกลุ่ม เช่น A-2-6 (3) ค่า GI ต่ำหมายถึงดินดีเหมาะนำมาใช้งาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดัชนีกลุ่ม (Group Index)

นอกจากนี้ ในการจำแนกดิน ยังต้องมี Group index วงเล็บไว้ข้างหลังกลุ่มด้วย โดยที่ค่า GI สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$GI = 0.2A + 0.005A.C + 0.01B.D$$

$$GI = (F-35)[0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01(F-15)(PI-10)$$

A = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 35% = (F -35)

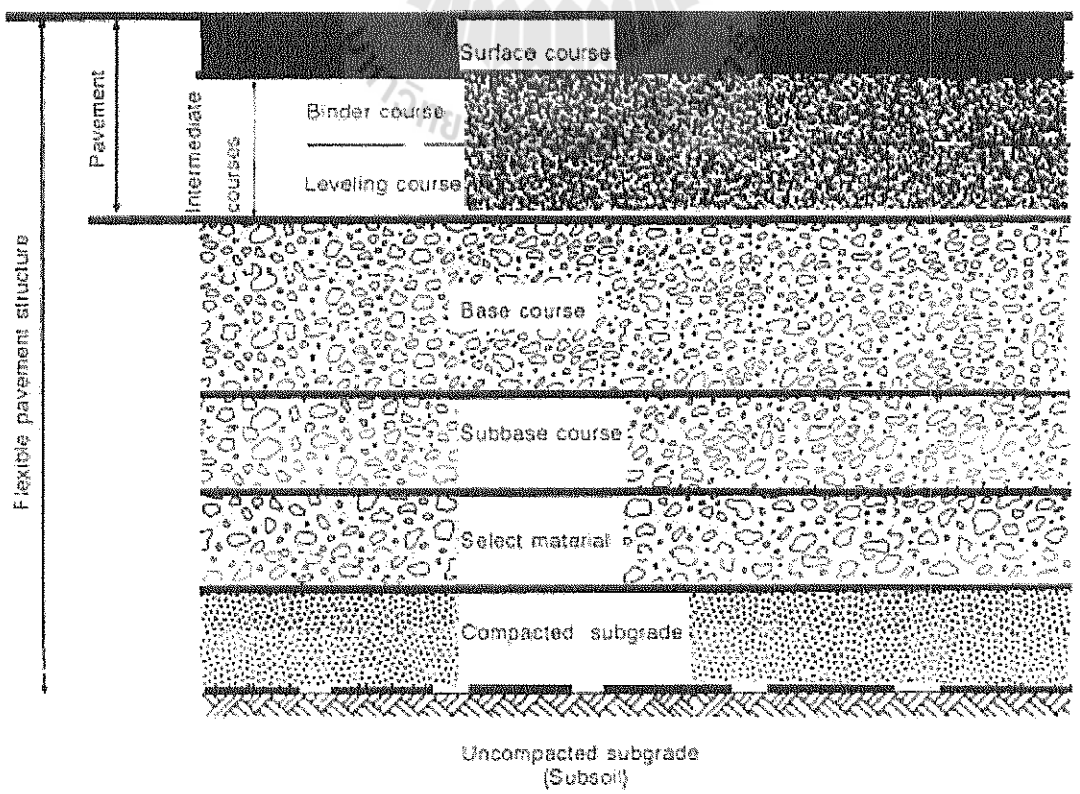
B = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 15% = (F -15)

C = ค่า LL. ที่มากกว่า 40% = (LL-40)

D = ค่า PI. ที่มากกว่า 10% = (PI-40)

F = Percent finer sieve#200

ค่า GI ต่ำหมายถึงดินดีเหมาะนำมาใช้งาน



ระบบจำแนกดิน AASHTO จะแบ่งดินออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- ❑ ดินเม็ดหยาบ (Granular material)
  - → ผ่าน #200 น้อยกว่า 35 %
  - → *A-1 ถึง A-3*

  } A-1a, A-1b; A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7; A-3

- ❑ ดินเม็ดละเอียด (Silt – Clay material)
  - → ผ่าน #200 มากกว่า 35 %
  - → *A-4 ถึง A-7*

  } A-4; A-5; A-6; A-7-5, A-7-6

- ❑ ดินอินทรีย์สาร
  - → *A-8*

  } A-8

ขนาดของเม็ดดินในระบบ AASHTO

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชนิดของดิน		ขนาด, mm
ดินเม็ดหยาบ (Granular material) ผ่านตะแกรง#200 น้อยกว่า 35%	กรวด (Gravel)	75.0 – 2.00
	ทราย (Sand)	2.00 – 0.05
ดินเม็ดละเอียด (Silt-Clay material) ผ่านตะแกรง#200 มากกว่า 35%	ดินตะกอน (Silt)	0.05 – 0.002
	ดินเหนียว (Clay)	< 0.002

General Classification	*Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)*							*Silty-Clay Material More than 35% passing 0.075 mm)*			
Group Classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Sieve Analysis Percent passing:											**
2.00 mm	50 max										
0.42 mm	30 max	50 max	51 min								
0.075 mm	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of Fraction passing 0.42 mm											
Liquid Limit				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plastic Index	6 max	6 max	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Usual types of significant constitutent materials	Stone Fragments - gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to poor			

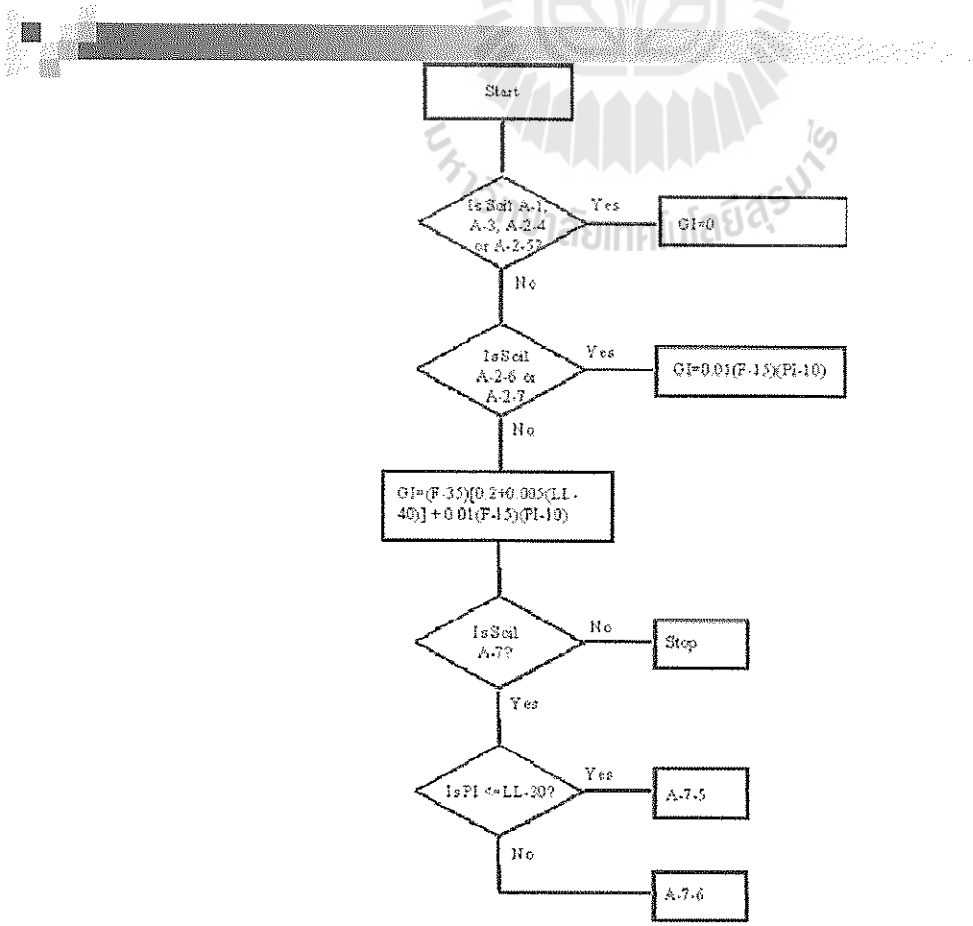
** A-7-5 – PI <= LL - 30
A-7-6 – PI > LL - 30

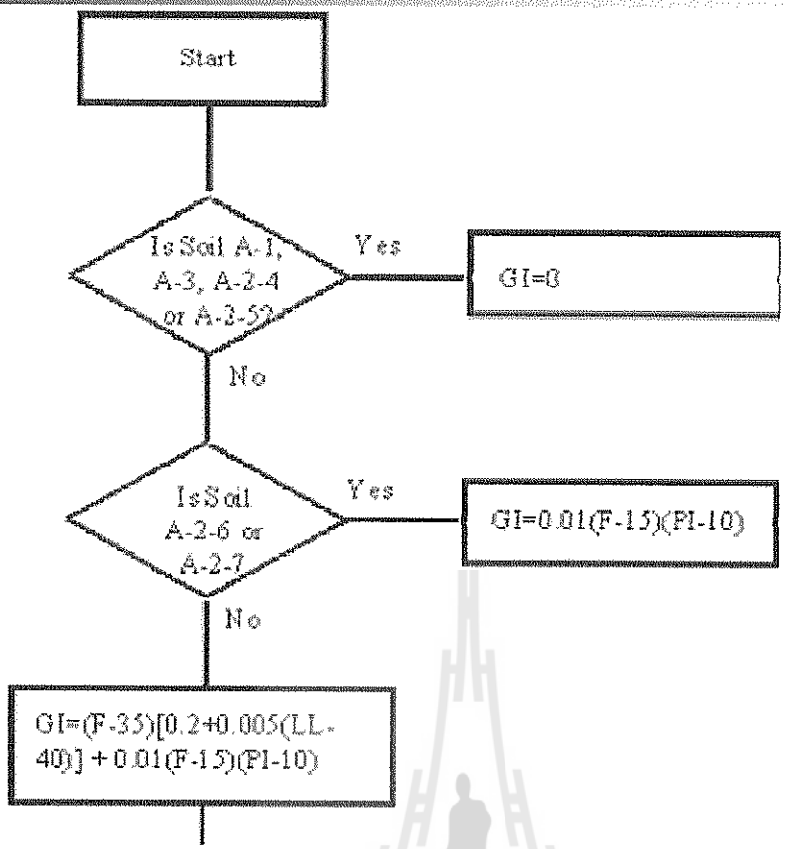
GI = (F - 35)[0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)

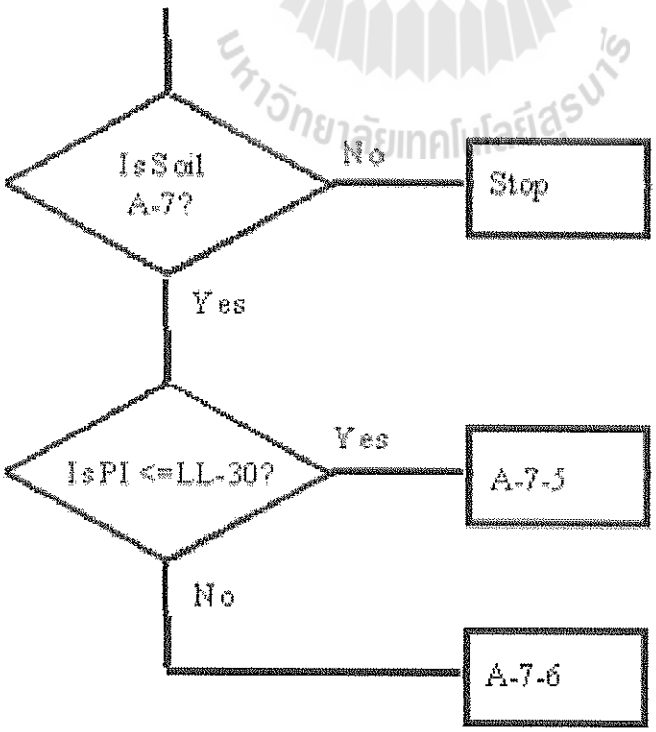
General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing no. 200)						
	A-1			A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percent passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing no. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						

General classification	Silt-clay materials (More than 35% of total sample passing no. 200)			
Group classification	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5[a] A-7-6[b]
Sieve analysis (percent passing) No. 10 No. 40 No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing no. 40 Liquid limit Plasticity index	40 max. 10 max.	41 min. 10 max.	40 max. 11 min.	41 min. 11 min.
Usual types of significant constituent materials	Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor			

[a] For A-7-5, $PI \leq LL - 30$
[b] For A-7-6, $PI > LL - 30$




Start
Is Soil A-1, A-3, A-2-4 or A-2-5?
Yes
GI=0
No
Is Soil A-2-6 or A-2-7
Yes
GI=0.01(F-15)(PI-10)
No
GI=(F-35)[0.2+0.005(LL-40)] + 0.01(F-15)(PI-10)


Is Soil A-7?
No
Stop
Yes
Is PI <=LL-30?
Yes
A-7-5
No
A-7-6

Example#1

4.75 #4	2.00 #10	0.425 #40	0.075 #200	D_{60}	D_{30}	D_{10}	C_u	C_z	LL	PL	PI
92%	90%	85%	64%						23	17	6

Solution: >35% Passing no#200: Silt and clay material (A4 - A7)

Class.	Criterion	Test Limit	Actual Values	Answer
A-1-a	2.00 mm (#10)	50% max	90%	No
A-1-b	0.42 mm (#40)	50% max	85%	No
A-3	0.42 mm (#40)	51% min	85%	Yes
	0.075 mm(#200)	10% max	64%	No
A-2	0.075mm (#200)	35% max	64%	No
A-4	LL	40 max	23	Yes
	PI	10 max	6	Yes

"Soil is an A-4"

Example#2

4.75 #4	2.00 #10	0.425 #40	0.075 #200	D_{60}	D_{30}	D_{10}	C_u	C_z	LL	PL	PI
85%	68%	38%	16%						36	14	22

Solution: <35% Passing no#200: Granular material (A1 – A3)

Class.	Criterion	Test Limit	Actual Values	Answer
A-1-a	2.00 mm	50% max	68%	No
A-1-b	0.42 mm	50% max	38%	Yes
	0.075 mm	25% max	16%	Yes
	PI	6 max	22%	No
A-3	0.42 mm	51 min	38%	Yes
	0.075 mm	10 max	16%	Yes
	PI	NP	22%	No
A-2-4	0.075 mm	35 max	16%	Yes
	LL	40 max	36%	Yes
	PI	10 max	22%	No

Example#2...

4.75 #4	2.00 #10	0.425 #40	0.075 #200	D_{60}	D_{30}	D_{10}	C_u	C_z	LL	PL	PI
85%	68%	38%	16%						36	14	22

Solution: <35% Passing no#200: Granular material (A1 – A3)

Class.	Criterion	Test Limit	Actual Values	Answer
A-2-5	0.075 mm	35 max	16%	Yes
	LL	41 min	36%	No
	PI	10 max	22%	No
A-2-6	0.075 mm	35 max	16%	Yes
	LL	40 max	36%	Yes
	PI	11 min	22%	Yes
A-2-7	0.075 mm	35 min	16%	Yes
	LL	41 min	36%	No
	PI	11 min	22%	Yes

"Soil is an A-2-6"

ดัชนีกลุ่ม (Group Index)

นอกจากนี้ ในการจำแนกดิน ยังต้องมี Group index วงเล็บไว้ข้างหลังกลุ่มด้วย โดยที่ค่า GI สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$GI = 0.2A + 0.005A.C + 0.01B.D$$

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

A = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 35% = (F -35)

B = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 15% = (F -15)

C = ค่า LL. ที่มากกว่า 40% = (LL-40)

D = ค่า PI. ที่มากกว่า 10% = (PI-40)

F = Percent finer sieve#200

ค่า GI ต่ำหมายถึงดินดีเหมาะนำมาใช้งาน

ดัชนีกลุ่ม (Group Index)...

- *สำหรับดินกลุ่ม* A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 และ A-3 ค่า GI จะเท่ากับ *ศูนย์* เสมอ
- ค่า GI จะเป็นเลขจำนวนเต็มบวก มีค่าตั้งแต่ศูนย์เป็นต้นไป
- ค่า GI จะเป็นตัวช่วยจำแนกดินให้ละเอียดมากขึ้น ซึ่งถ้าดินในกลุ่มเดียวกัน มีค่า GI ต่างกัน
- ดินที่มีค่า GI น้อย จะเหมาะสมในการทำชั้น Subgrade มากกว่า

ดัชนีกลุ่ม (Group Index)...

- ค่า GI ของดินกลุ่ม A-1, A-3, A-2-4 และ A-2-5 มีค่าเท่ากับ 0
- ถ้าเป็นดินกลุ่มเป็น A-2-6 และ A-2-7 GI สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$GI = 0.01B.D = 0.01\,(F-15)(PI-10)$$

A = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 35% = (F -35)

B = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 15% = (F-15)

C = ค่า Liquid Limit ที่มากกว่า 40% = (LL-40)

D = ค่า Plastic Index ที่มากกว่า 10% = (PI -10)

F = Percent finer sieve#200

ค่า GI ต่ำหมายถึงดินดีเหมาะนำมาใช้งาน

ดัชนีกลุ่ม (Group Index)...

- ถ้าเป็นดินกลุ่มเป็น A-4 และ A-7 GI สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$GI = 0.2A + 0.005A.C + 0.01B.D$$

$$GI = (F-35)[0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01(F-15)(PI-10)$$

A = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 35% = (F-35)

B = % ผ่านตะแกรง #200 ที่มากกว่า 15% = (F-15)

C = ค่า Liquid Limit ที่มากกว่า 40% = (LL-40)

D = ค่า Plastic Index ที่มากกว่า 10% = (PI-10)

F = Percent finer sieve#200

ค่า GI ต่ำหมายถึงดินดีเหมาะนำมาใช้งาน

Example#3

4.75 #4	2.00 #10	0.425 #40	0.075 #200	D_{60}	D_{30}	D_{10}	C_u	C_z	LL	PL	PI
85%	68%	38%	16%						36	14	22

Solution: A-2-6

Class.	Criterion	Test Limit	Actual Values	Answer
A-2-6	0.075 mm	35 max	16%	Yes
	LL	40 max	36%	Yes
	PI	11 min	22%	Yes

GI = 0.01B.D = 0.01 (F-15)(PI-10)

GI = 0.01 (16-15)(22-10) = 0.12

Soil type: A-2-6 (0.12) ค่าต่ำเหมาะสำหรับ Subgrade

เปรียบเทียบดินที่จัดกลุ่ม ตาม AASHTO กับ ASCS

	ระบบ AASHTO	ระบบ Unified
เหมาะสมมากที่สุด	A-1a	GW, GP, SW, GM
	A-1b	SW, SP, SM, GC
	A-3	SP
	A-2-4	CL, ML
	A-2-5	CL, ML, CH, MH
	A-2-6	CL, ML
	A-2-7	CL, ML, CH, MH
	A-4	CL, ML
	A-5	CL, ML, CH, MH
	A-6	CL, ML
	A-7	CL, ML, CH, MH
ไม่เหมาะสม	A-8	Peat and Muck or Organic

Table 5.5 Comparison of the Unified System with the AASHTO System*

Soil group in Unified system	Comparable soil groups in AASHTO system		
	Most probable	Possible	Possible but improbable
GW	A-1-a	—	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4	A-4, A-6, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4	A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
CL	A-6, A-7-6	A-4	—
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
MH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	—
OH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
Pt	—	—	—

*After Liu (1967)

Source: From A Review of Engineering Soil Classification Systems. In Highway Research Record 156. Highway Research Board. National Research Council. Washington, D.C., 1967. Table 6, p. 17. Reproduced with permission of the Transportation Research Board.

6. Classify the following soils according to the AASHTO classification system:

Soil	Sieve Analysis (%finer)			Atterberg Limit	
	No.10	No.40	No.200	LL.	P.L.
A	92	81	51	29	16
B	61	44	22	--	NP
C	100	84	71	55	21
D	95	69	30	42	24

❑ **ตรวจสอบว่าเป็นดินเม็ดหยาบ (Granular material) หรือ ดินเม็ดละเอียด (Silt-Clay Material):**

มากกว่า 35% (51%) ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แสดงว่าเป็น Silt-Clay Material

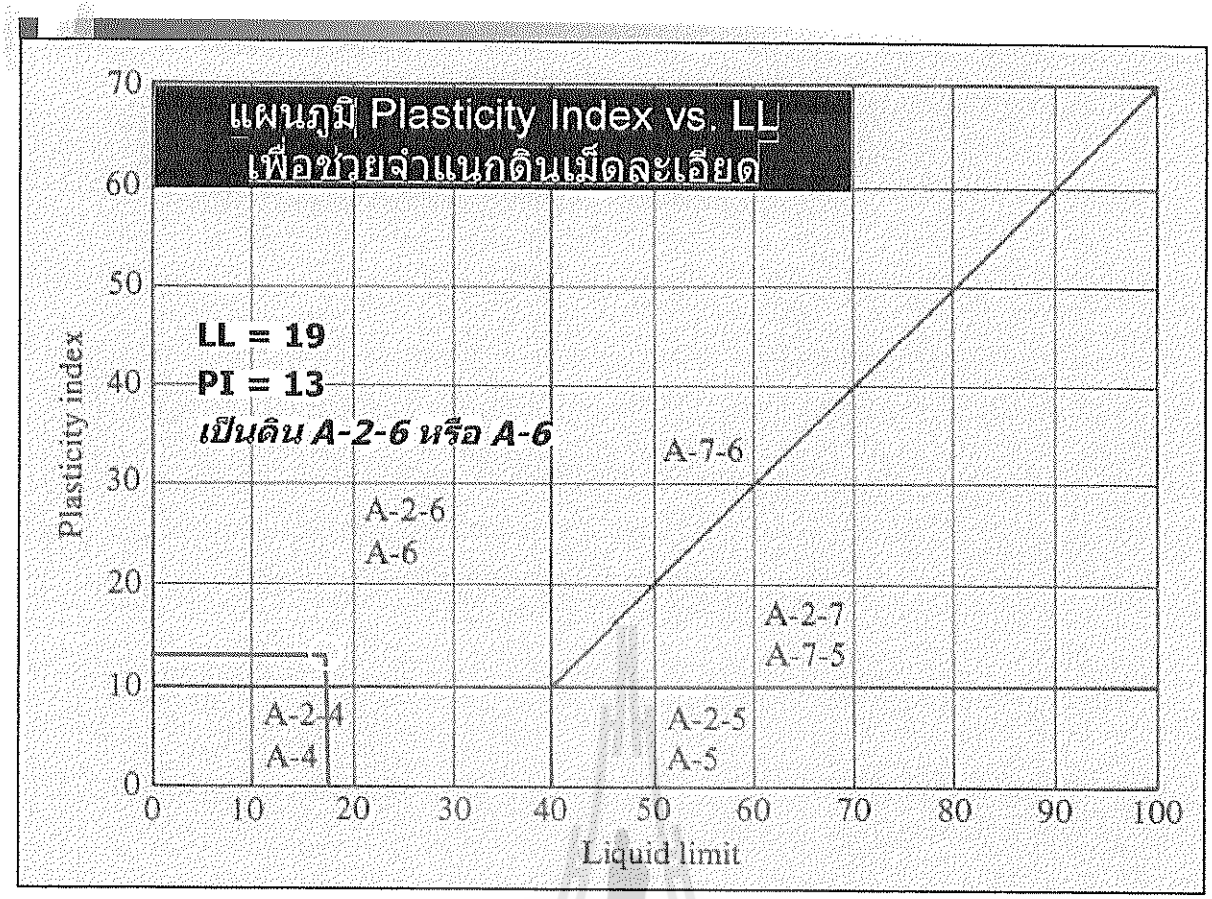
*****(อาจจะเป็น A-4 หรือ A-5 หรือ A-6 หรือ A-7-5 และ A-7-6)*****

Soil	Sieve Analysis (%finer)			Atterberg Limit	
	No.10	No.40	No.200	LL.	P.L.
A	92	81	51	29	16

b) ให้เริ่มตรวจสอบเงื่อนไขว่าสอดคล้องกับดินกลุ่มใดตั้งตารางนี้

Class. (กลุ่มดิน)	Criterion (หลักเกณฑ์)	Test Limit (ข้อจำกัด)	Actual Values (ค่าจริงที่ทดสอบได้)	Answer (คำตอบที่พิจารณา)
A-4	0.075 mm #200	36% min	51%	Yes
	LL	40% max	19%	Yes
	PI	10% max	29%-16% = 13%	No
A-5	0.075 mm #200	36% min	51%	Yes
	LL	41% min	19%	No
	PI	10% max	29%-16% = 13%	No
A-6	0.075 mm #200	36% min	51%	Yes
	LL	41% max	19%	Yes
	PI	10% mm	29%-16% = 13%	Yes

c) แสดงว่าดิน "A" คือดินในกลุ่ม A-6



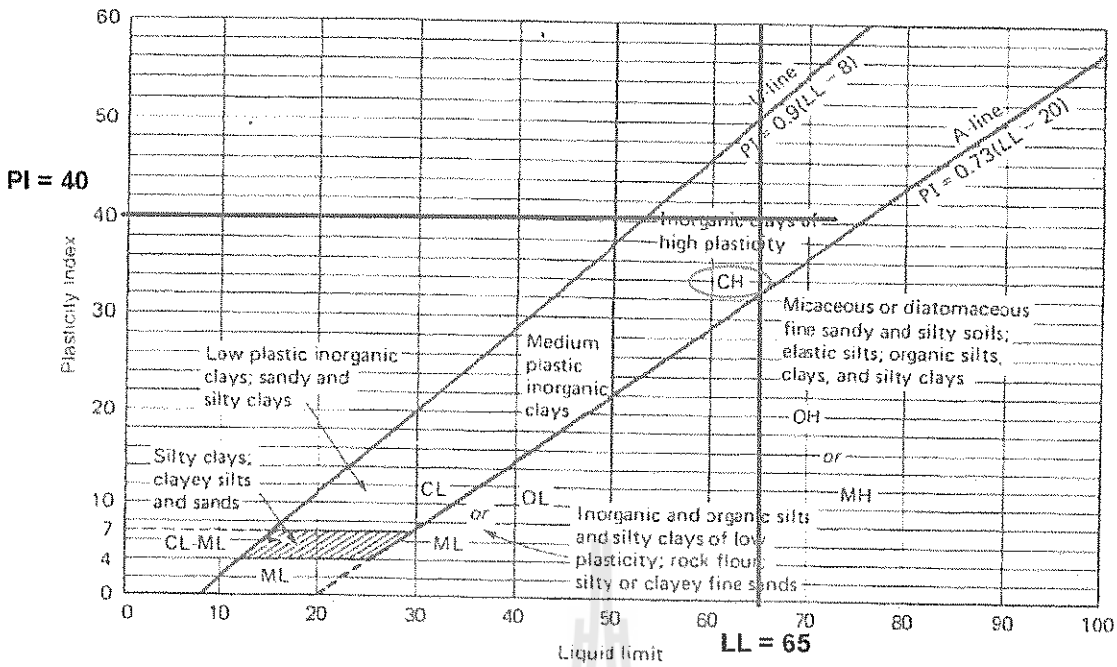
0.075	4.75	2.00	0.425	D_{60}	D_{30}	D_{10}	C_u	C_z	LL	PL	PI
72%	98%								65	25	40

72% pass #200 (>50%): Fine Grained Soil

Soil Classification Chart

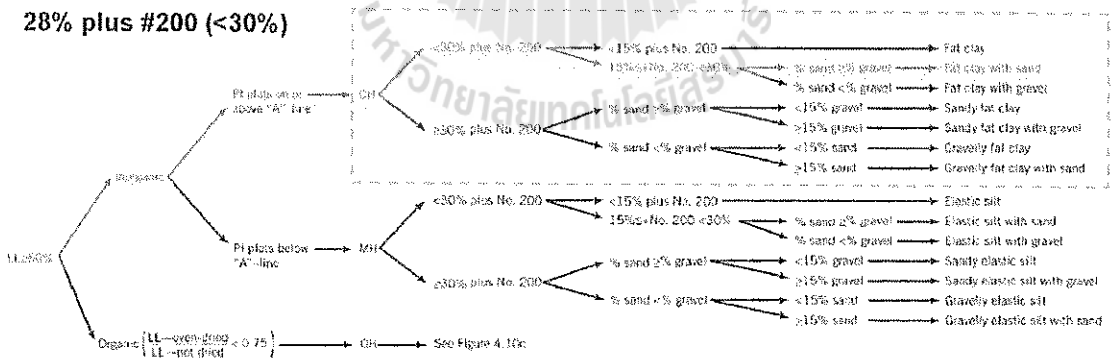
Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests[A]				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name[B]
COARSE-GRAINED SOILS More than 50% retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_z \leq 3^E$	GW	Well-graded gravel[F]
		Less than 5% fines[C]	$C_u < 4$ and/or $C_z > 3^E$	GP	Poorly graded gravel[F]
		Gravels with Fines	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel[F,G,H]
		More than 12% fines[C]	Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel[F,G,H]
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_z \leq 3^E$	SW	Well-graded sand[I]
		Less than 5% fines[D]	$C_u < 6$ and/or $1 > C_z > 3^E$	SP	Poorly graded sand[I]
		Sands with Fines	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand[G,H,I]
		More than 12% fines[D]	Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand[G,H,I]
FINE-GRAINED SOILS 50% or more pass the No. 200 sieve	Silts and Clays Liquid limit less than 50	inorganic	PI > 7 and plots on or above "A" line[J]	CL	Lean clay[K,L,M]
			PI < 4 or plots below "A" line[J]	ML	Silt[K,L,M]
		organic	Liquid limit — oven dried / Liquid limit — not dried < 0.75	OL	Organic clay[K,L,M,N] / Organic silt[K,L,M,O]
72% #200	Silts and Clays Liquid limit 50 or more	inorganic	**PI = 40** PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay[K,L,M]
	LL = 65		PI plots below "A" line	MH	Elastic silt[K,L,M]
		organic	Liquid limit — oven dried / Liquid limit — not dried < 0.75	OH	Organic clay[K,L,M,P] / Organic silt[K,L,M,Q]
HIGHLY ORGANIC SOILS	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			PT	Peat

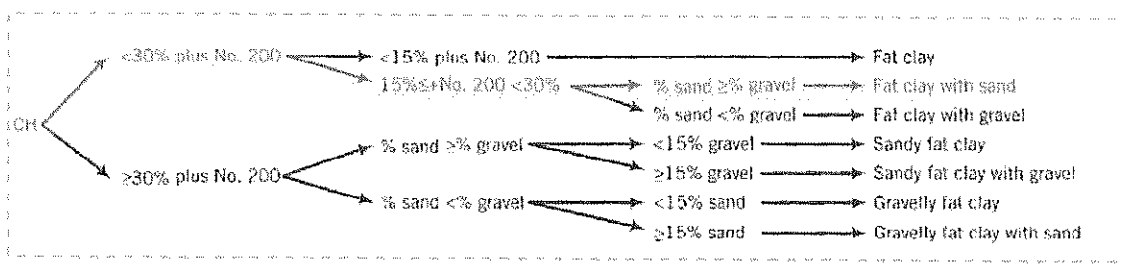
$1 > C_z > 3$



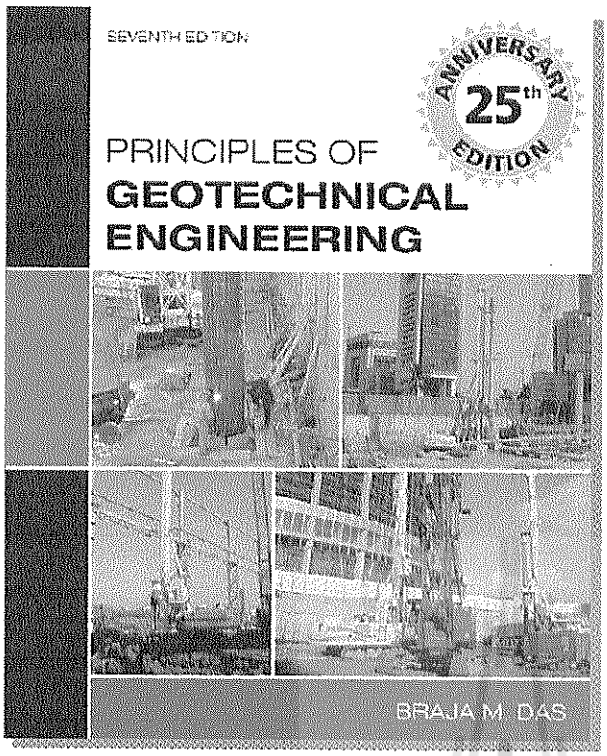
72% pass #200 (>50%): Fine Grained Soil

28% plus #200 (<30%)





http://wwweng.uwyo.edu/classes/sp2013/ce3600/3_classify/classify3a.htm



1 Geotechnical Engineering—A Historical Perspective
2 Origin of Soil and Grain Size
3 Weight–Volume Relationships
4 Plasticity and Structure of Soil
5 Classification of Soil
6 Soil Compaction
12 Shear Strength of Soil
7 Permeability
8 Seepage

การบดอัดดิน (Soil Compaction)

กล่าวนำ

<u>คุณสมบัติขั้นพื้นฐาน (Basic Soil Properties</u>

1) ปริมาณความชื้น (Water Content)
2) อัตราส่วนโพรงหรืออัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio)
3) ระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)
4) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
5) ขนาดและลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Gain Size Distribution)
6) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density)
7) พิกัด Atterberg (Atterberg Limits) – สถานะดินเม็ดละเอียด

การบดอัดดิน (Soil Compaction)

กล่าวนำ

<u>คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม (Engineering Properties)</u>

1) ด้านกำลังรับน้ำหนัก (Bearing Capacity)
2) ด้านกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength)
3) ด้านความสามารถในการไหลซึมของน้ำผ่านดิน (Seepage)
4) ด้านการเคลื่อนตัวของดิน

⇒ ในการออกแบบและวิเคราะห์งานที่เกี่ยวข้องกับดินจะต้องทราบทั้งคุณสมบัติขั้นพื้นฐานและทางด้านวิศวกรรมของดิน

⇒ คุณสมบัติของดินทางวิศวกรรมจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของดิน ดังนั้น <u>ในบางครั้งต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของดิน</u>

การปรับปรุงคุณภาพของดิน

การปรับปรุงคุณภาพของดินเป็นกระบวนการที่ทำให้ดินตามธรรมชาติ มีความทนทานต่อการสึกกร่อน สามารถรับน้ำหนักหรือการจราจรภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

โดยอาจใช้การบดอัด การทำให้แน่นด้วยเทคนิคเฉพาะ การควบคุมการทดลอง หรือการใช้สารผสมเพิ่มซึ่งอาจอยู่ในรูปของของเหลวหรือเป็นผงมาเติมลงในดิน

ปัจจัยหลักที่เราต้องพิจารณาคือ ขนาดคละและปริมาณความชื้นในมวลดินที่ให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Hogentoger, 1938)

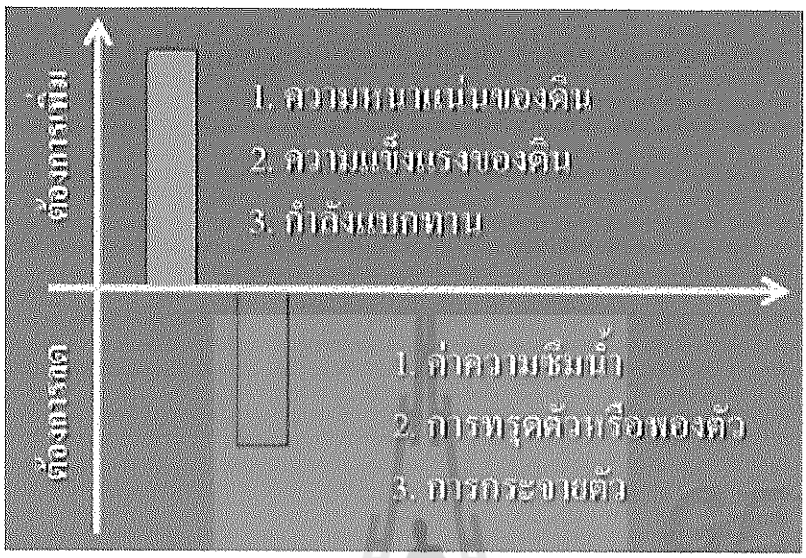
ทำไมต้องปรับปรุงคุณภาพดิน????

- เพื่อเพิ่มความหนาแน่น (Density) ของดิน
- เพิ่มกาลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ทำให้เพิ่มกำลังแบกทาน (Bearing Capacity) ของดิน
- เพิ่มโมดูลัสความเค้น-ความเครียด (หรือสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น) ทั้งนี้เพื่อลดการทรุดตัวทันทีทันใด (Immediate Settlements)
- เพิ่ม Stiffness ของดิน จึงลดการทรุดตัวในระยะยาว (Long-term Settlements)
- ลดช่องว่างระหว่างดิน (Void ratio) และการซึมผ่านน้ำ (Permeability)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทำไมต้องปรับปรุงคุณภาพดิน???

การบดอัดดินเป็นวิธีการหนึ่งของการปรับปรุงคุณภาพของดิน



การบดอัดดิน (Soil Compaction)

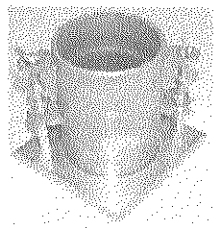
การให้พลังงานบดอัด (Compactive Effort) และความชื้น (Water Content) ที่พอเหมาะแก่มวลดิน เพื่อให้เนื้อดินเขามาเรียงตัวชิดแน่นขึ้น ทำให้เกิดผลดี คือ

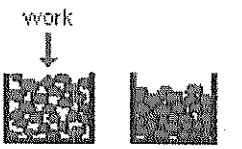
1. ลดช่องว่างในเนื้อดิน ⇒ ความหนาแน่นสูงขึ้น ⇒ ทรุดตัวน้อยลง
2. เพิ่มกำลังและแรงเสียดทาน ⇒ มั่นคงและรับน้ำหนักได้มากขึ้น
3. ลดความซึมผ่านน้ำของมวลดิน ⇒ ทึบน้ำและปิดกันการรั่วซึม
4. ลดการยืด-หดตัวของมวลดิน ⇒ การทรุดตัวน้อยภายใต้แรงสูง

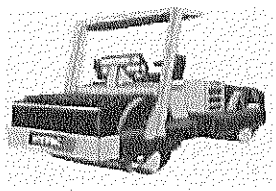
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

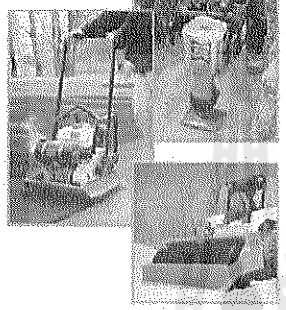
การบดอัดดิน (Soil Compaction)

- บดอัดในห้องปฏิบัติการ
  - Standard Proctor Test
  - Modified Proctor Test



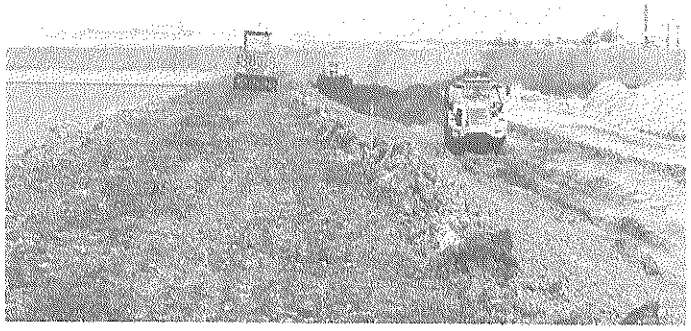






- บดอัดในสนามโดยใช้เครื่องจักร

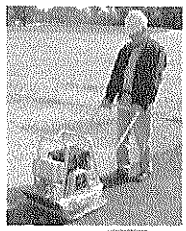
การบดอัดดินในภาคสนาม



การบดอัดดินในภาคสนาม

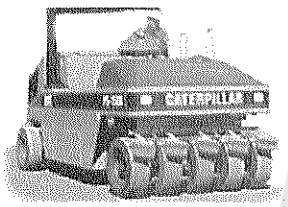
1- Rammers

2- Vibratory Plates



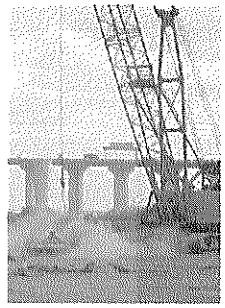
3- Smooth Rollers

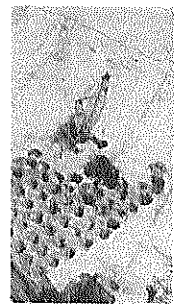
4- Rubber-Tire



5- Sheep foot Roller

6- Dynamic Compaction

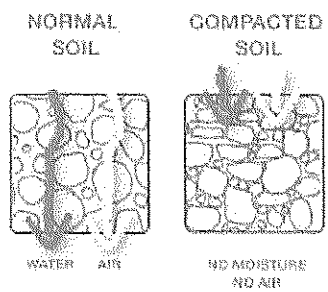




เครื่องจักรแต่ละประเภท
เหมาะกับดินที่ต่างกัน

สาระสำคัญ

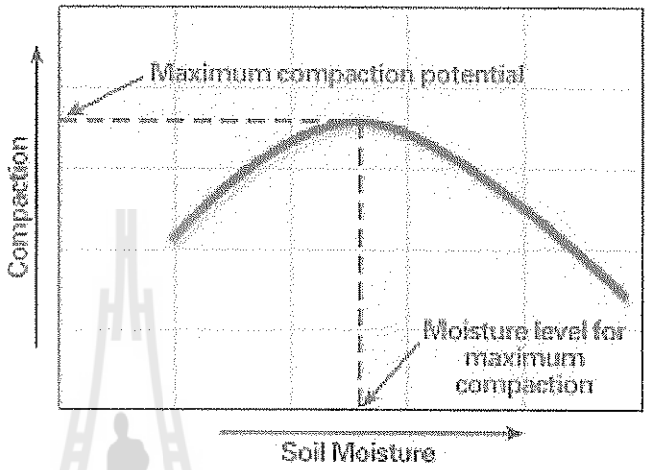
- การบดอัดดินมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ความแน่นสูง ตามความต้องการหรือตามจุดประสงค์ของการใช้งาน จะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวประสานเชื่อม
- ถ้าน้ำมีอยู่มากเกินไป น้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบๆ มวลดิน ทำให้อณูของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกัน
- ถ้ามีน้ำอยู่น้อยเกินไป การประสานเชื่อมไม่ดีพอที่จะช่วยให้การบดอัดเม็ดดินเบียดชิดกันเท่าที่ควร



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาระสำคัญ

- ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว R.R. Proctor (1933) ได้กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (water content) กับความแน่น (density) ของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ
- วิธีการดังกล่าวต่อมาได้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทดสอบการบดอัดดินในงานก่อสร้างโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีทดสอบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)



สาระสาคัญ

- โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ฯลฯ
- ในปัจจุบัน ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้วิวัฒนาการมีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย
- จึงได้มีการกำหนดวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้นเพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูง รับน้ำหนักได้มาก เรียกว่า วิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

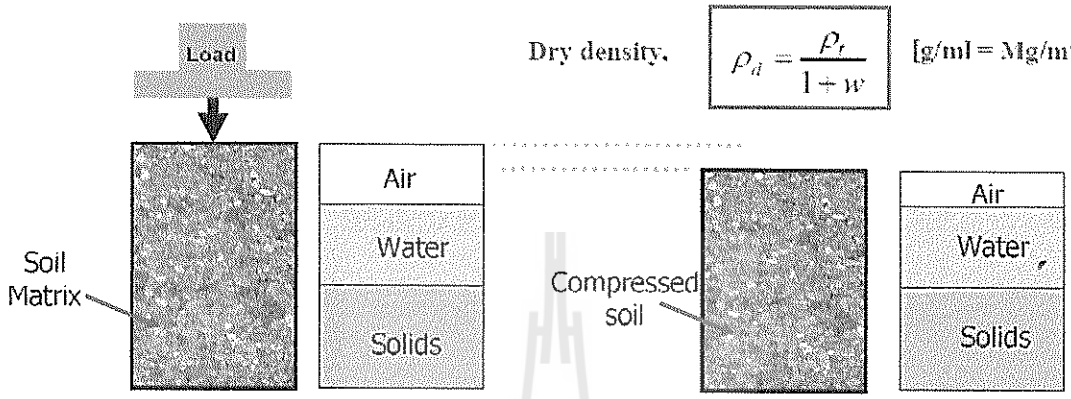
Definition:

Soil compaction is defined as the method of mechanically increasing the density of soil by reducing volume of air.

$$\gamma_{soil(1)} < \gamma_{soil(2)}$$

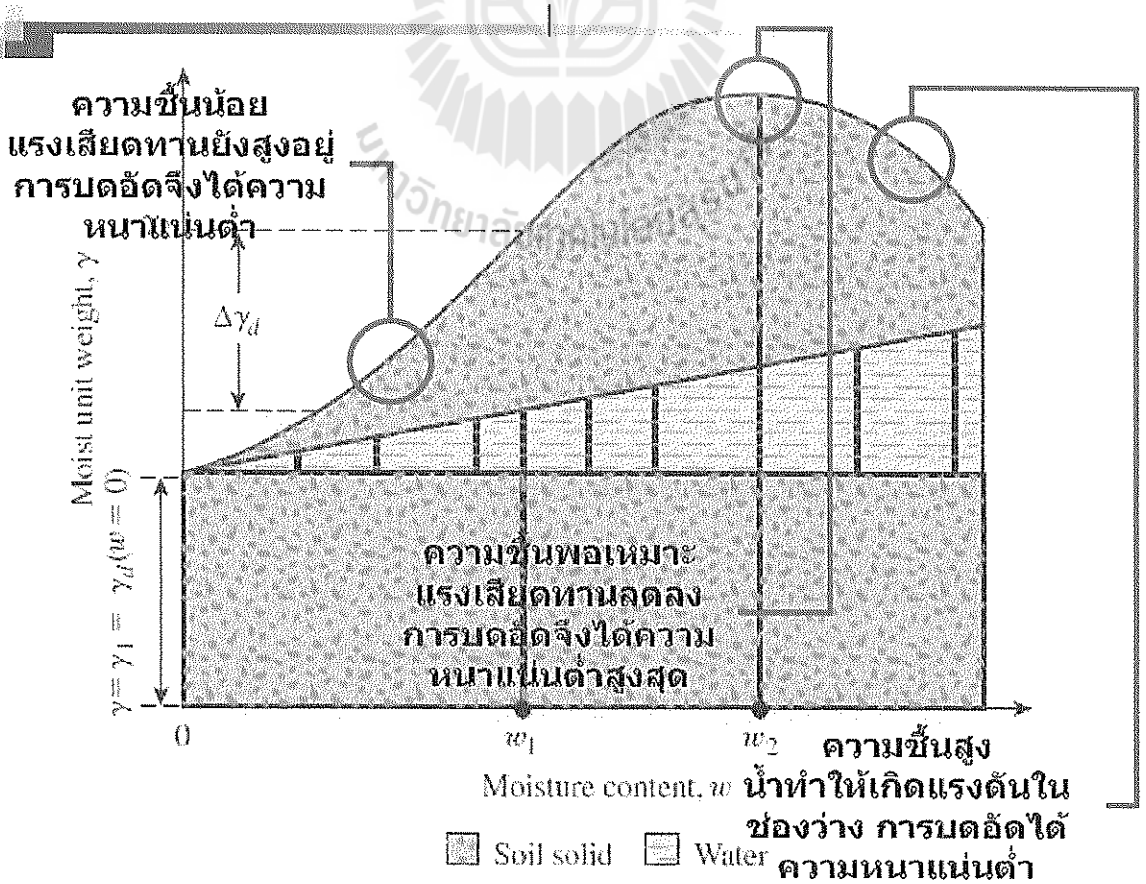
Total density, $\rho_t = \frac{M}{V}$ [g/ml = Mg/m^3]

Dry density, $\rho_d = \frac{\rho_t}{1+w}$ [g/ml = Mg/m^3]



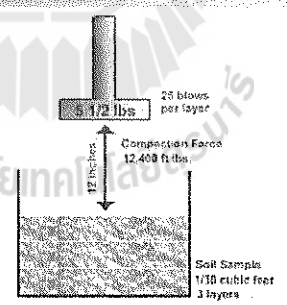
$$\gamma_{soil(1)} = \frac{W_{t(1)}}{V_{t(1)}}$$

$$\gamma_{soil(2)} = \frac{W_{t(2)}}{V_{t(2)}}$$

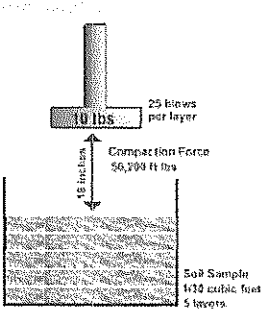


Soil Compaction in the Lab:

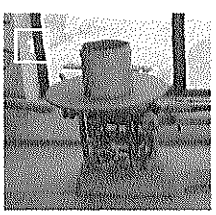
1- Standard Proctor Test
2- Modified Proctor Test
3- Gyratory Compaction

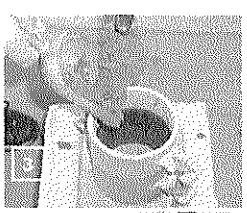


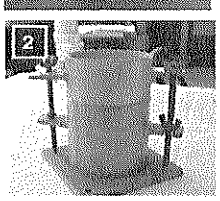
Standard Proctor Test

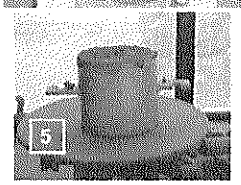


Modified Proctor Test







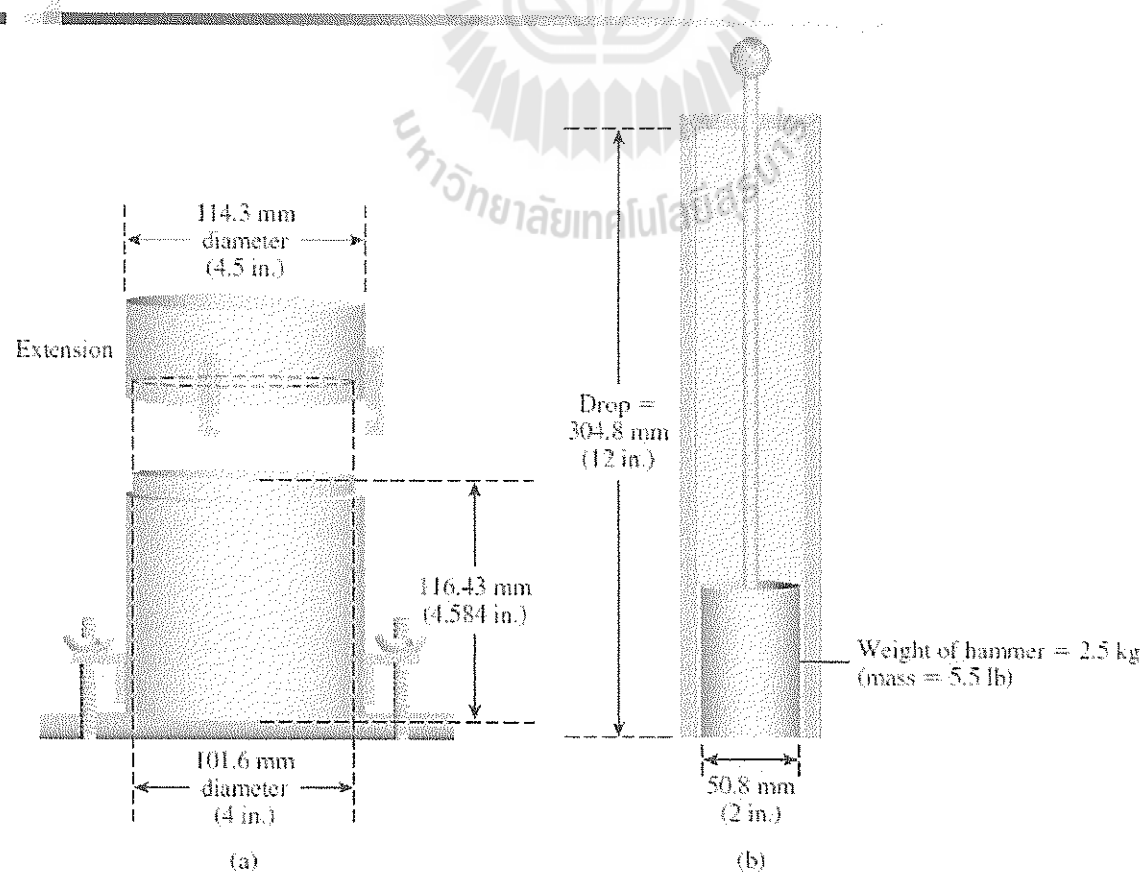


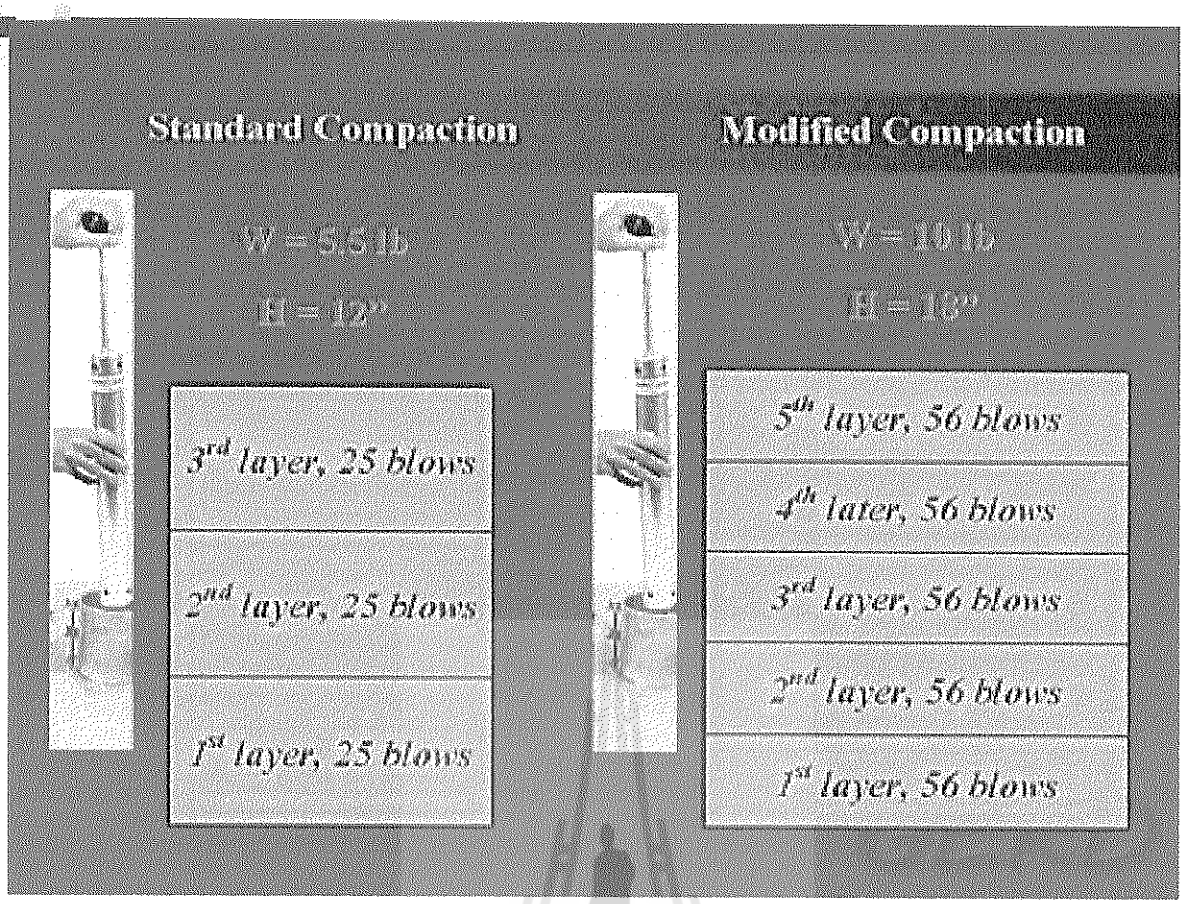
Gyratory Compaction

สาระสาคัญ

- สำหรับพื้นที่จริงพลังงานที่ใช้ในการบดอัดเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่เครื่องจักรบดอัดวิ่งผ่าน
- สำหรับในห้องปฏิบัติการทดลองจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการกระทุ้งตามวิธีการทดลองของ Proctor โดยค่าพลังงานในการบดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของค้อนกระทุ้ง ความสูงของระยะปล่อย จำนวนชั้นของการบดอัด จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น และปริมาตรของโมล

$$E = \frac{\begin{pmatrix}\text{Number}\\ \text{of blows}\\ \text{per layer}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Number}\\ \text{of}\\ \text{layers}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Weight}\\ \text{of}\\ \text{hammer}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Height of}\\ \text{drop of}\\ \text{hammer}\end{pmatrix}}{\text{Volume of mold}}$$





Test	Mold size	Wt. Of hammer (lb.)	No. of layer	height of drop (in.)	No. of blow per layer	energy / vol. ft – lb/ft^3
Standard	∅ 4.0" x 4.6"	5.5	3	12	25	12,400
Proctor	∅ 6.0" x 5.0"	5.5	3	12	56	12,400
Modified	∅ 6.0" x 5.0"	10	5	18	56	56,000
Proctor	∅ 4.0" x 4.6"	10	5	18	25	56,300

$$E = \frac{\begin{pmatrix}\text{Number}\\ \text{of blows}\\ \text{per layer}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Number}\\ \text{of}\\ \text{layers}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Weight}\\ \text{of}\\ \text{hammer}\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}\text{Height of}\\ \text{drop of}\\ \text{hammer}\end{pmatrix}}{\text{Volume of mold}}$$

or, in SI units,

$$E = \frac{(25)(3)\left(\frac{2.5 \times 9.81}{1000}\ \text{kN}\right)(0.305\ \text{m})}{944 \times 10^{-6}\ \text{m}^3} = 594\ \text{kN-m/m}^3 \approx 600\ \text{kN-m/m}^3$$

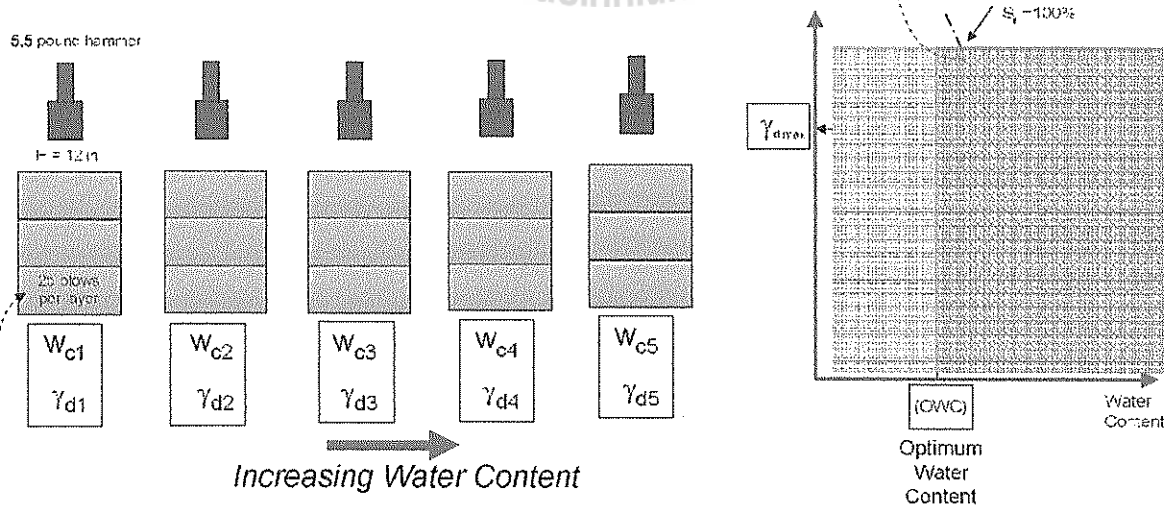
In English units,

$$E = \frac{(25)(3)(5.5)(1)}{\left(\frac{1}{30}\right)} = 12{,}375\ \text{ft-lb/ft}^3 \approx 12{,}400\ \text{ft-lb/ft}^3$$

Soil Compaction in the Lab:

$$\rho_{dry} = \frac{G_s \rho_w}{1 + \frac{wG_s}{S_r}}\ (\text{g/cm}^3 \text{or lb/ft}^3)$$

1- Standard Proctor Test



$$\rho_{bulk} = \frac{W_t}{V_t}\ (\text{g/cm}^3 \text{or lb/ft}^3) \qquad \rho_{dry} = \frac{\rho_{bulk}}{1 + w}\ (\text{g/cm}^3 \text{or lb/ft}^3)$$

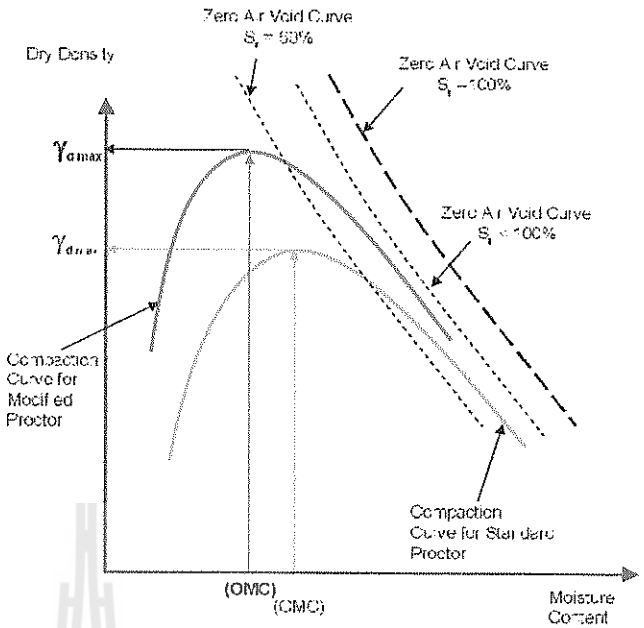
Soil Compaction in the Lab:

1- Standard Proctor Test
ASTM D-698 or AASHTO T-99

Energy = 12,375 foot-pounds per cubic foot

2- Modified Proctor Test
ASTM D-1557 or AASHTO T-180

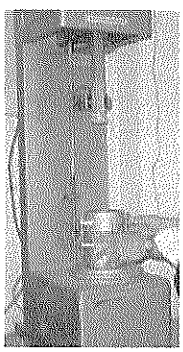
Energy = 56,520 foot-pounds per cubic foot



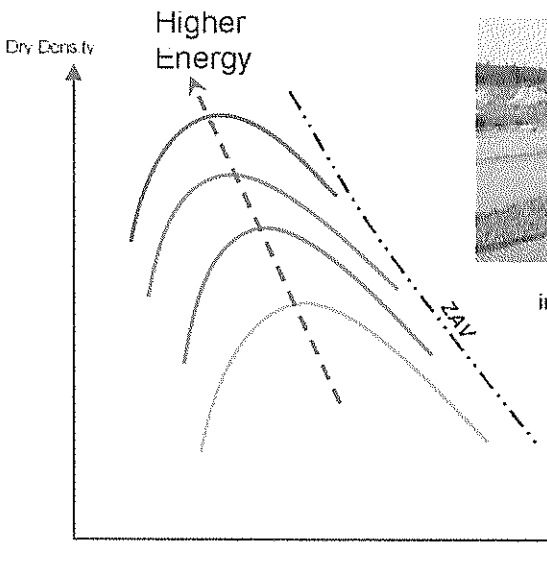
$$\text{Energy} = \frac{\text{Number of blows per layer} \times \text{Number of layers} \times \text{Weight of hammer} \times \text{Height of drop hammer}}{\text{Volume of mold}}$$

Effect of Energy on Soil Compaction

Increasing compaction energy ⟶ Lower OWC and higher dry density



In the lab
increasing compaction energy
= increasing number of blows



In the field
increasing compaction energy
= increasing number of
passes or reducing lift depth

การคำณวณ

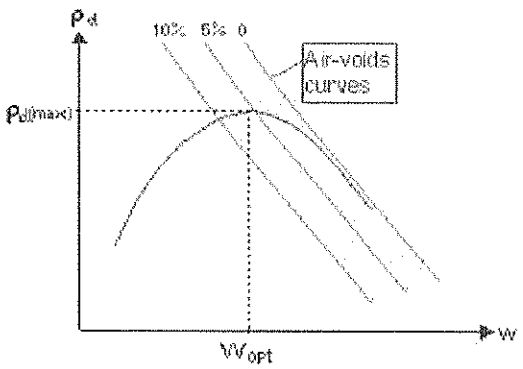
Total density, $\rho_t = \frac{M}{V}$ [g/ml = Mg/m^3]

Dry density, $\rho_d = \frac{\rho_t}{1+w}$ [g/ml = Mg/m^3]

การคำณวณ...

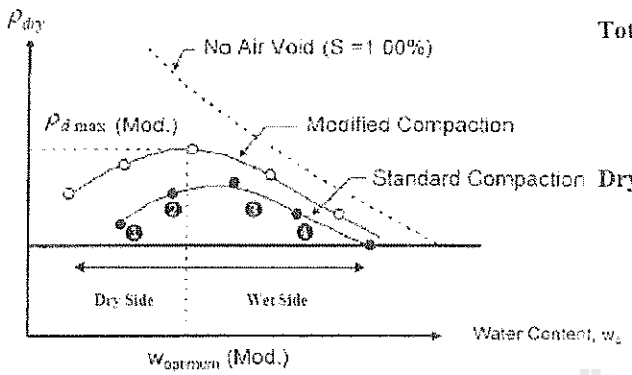
Air-voids content,

$$A_v = \frac{\text{Volume of air}}{\text{Total volume}}$$



Dry density, $\rho_d = \frac{G\rho_w}{1+wG}(1-A_v)$

ผลการทดสอบการบดอัดดินในห้องทดลอง



Total density, $\rho_t = \frac{M}{V}$ [g/ml = Mg/m^3]

Dry density, $\rho_d = \frac{\rho_t}{1+w}$ [g/ml = Mg/m^3]

$$\rho_d = \frac{G}{1+e}(\rho_w) = \frac{G}{1+\left[\frac{wG}{S_r}\right]}\rho_w$$

Example:

The laboratory test for a standard proctor is shown below. Determine the optimum water content and maximum dry density. If the G_s of the soil is **2.70**, draw the ZAV curve.

Volume of Proctor Mold (ft^3)	Weight of moist soil in the mold (lb)	Water Content (%)
1/30	3.88	12
1/30	4.09	14
1/30	4.23	16
1/30	4.28	18
1/30	4.24	20
1/30	4.19	22

$$\rho_{bulk} = \frac{W_t}{V_t} \ (\text{g/cm}^3 \text{or lb/ft}^3)$$

$$\rho_{dry} = \frac{\rho_{bulk}}{1+w} \ (\text{g/cm}^3 \text{or lb/ft}^3)$$

$$\rho_{ZAV} = \frac{G_s\rho_w}{1+\frac{wG_s}{S_r}} \ (\text{g/cm}^3 \text{or lb/ft}^3)$$

Example:

The laboratory test for a standard proctor is shown below. Determine the optimum water content and maximum dry density. If the G_s of the soil is **2.70**, draw the ZAV curve.

$$\rho_{bulk} = \frac{3.88 lbs}{(1/30)ft^3} = 116.4 \frac{lbs}{ft^3}$$

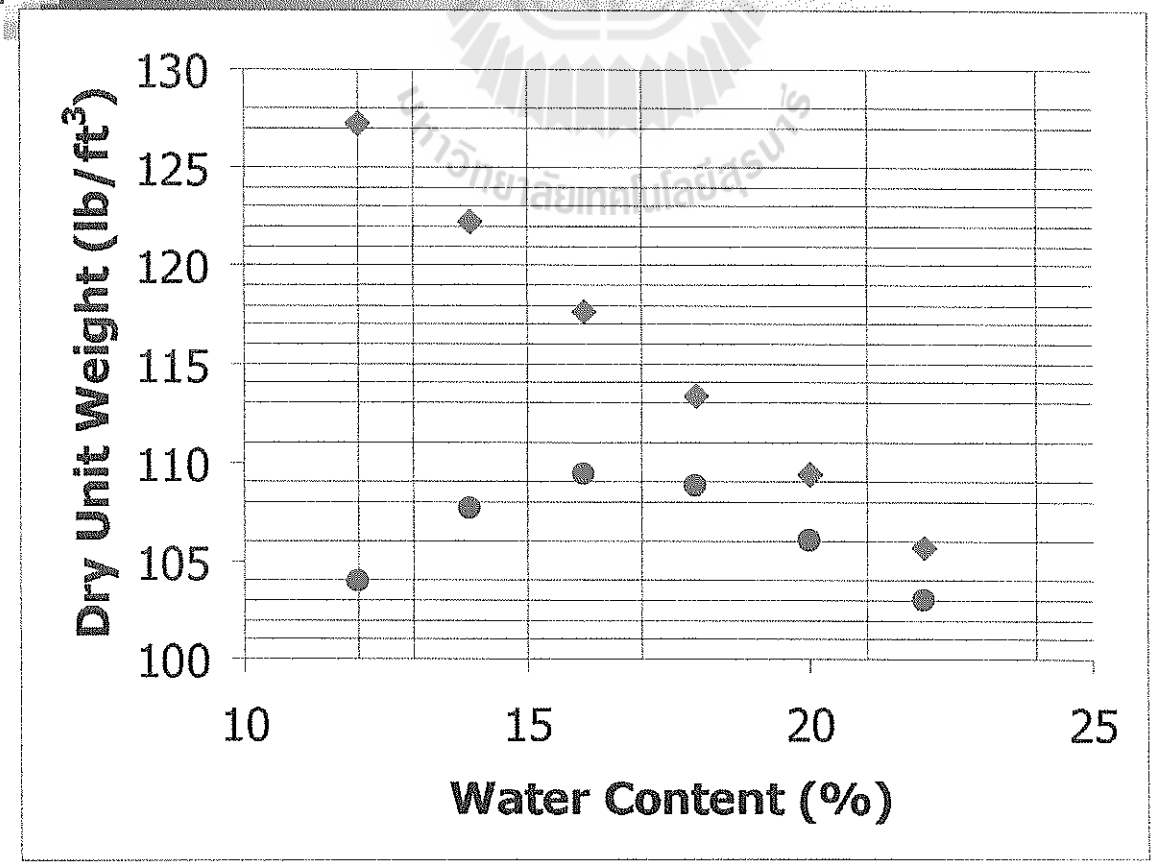
$$\rho_{ZAV} = \frac{2.7 \times 62.4}{1 + \frac{0.12 \times 2.7}{1.0}}$$

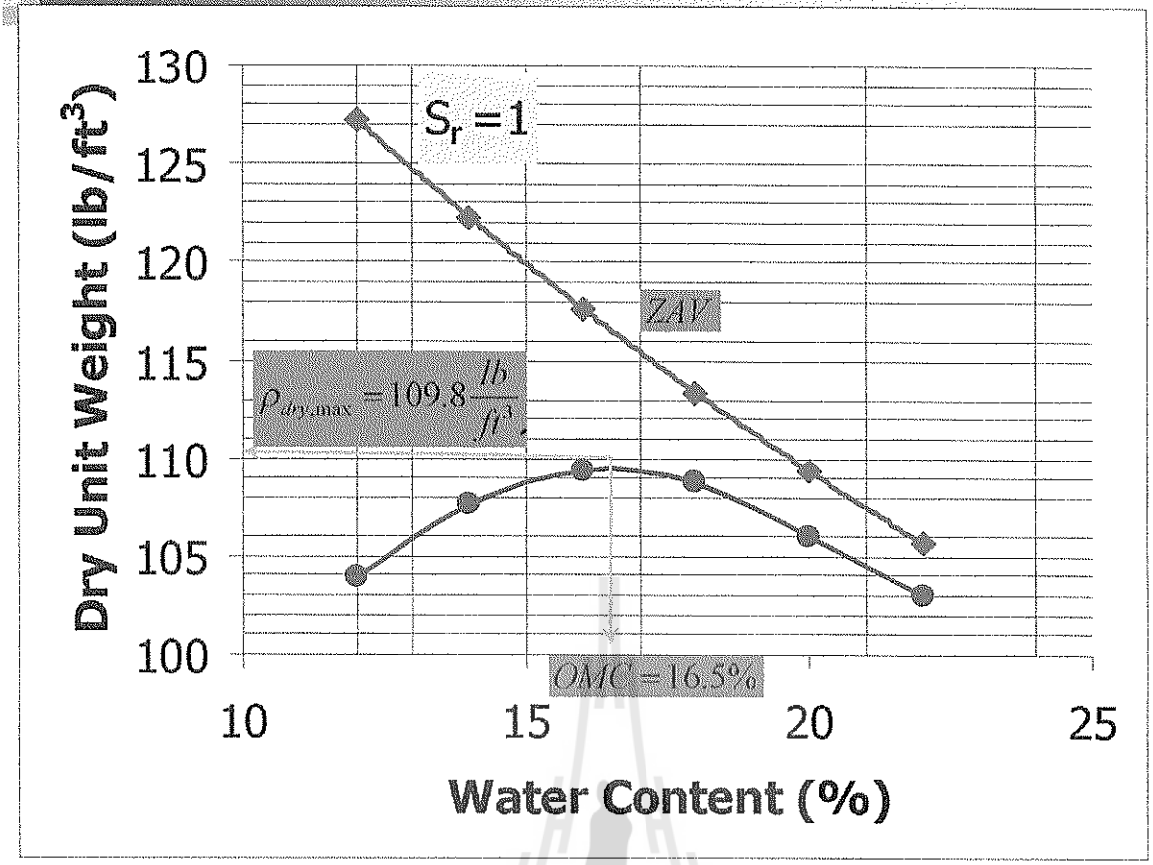
Volume of Proctor Mold (ft^3)	Weight of Soil in Proctor Mold (ft^3)	Water Content (%)	Bulk Unit Weight (lb/ft^3)	Dry Unit Weight (lb/ft^3)	Zero Air Void Unit Weight (lb/ft^3)
1/30	3.88	12	116.4	103.9	127.3
1/30	4.09	14	122.7	107.6	122.3
1/30	4.23	16	126.9	109.4	117.7
1/30	4.28	18	128.4	108.8	113.4
1/30	4.24	20	127.2	106.0	109.4
1/30	4.19	22	125.7	103.0	105.7

$$\rho_{bulk} = \frac{W_t}{V_t} \ (g/cm^3 \text{or } lb/ft^3) \qquad \rho_{ZAV} = \frac{G_s \rho_w}{1 + \frac{wG_s}{S_r}} \ (g/cm^3 \text{or } lb/ft^3)$$

$$\rho_{dry} = \frac{\rho_{bulk}}{1+w} \ (g/cm^3 \text{or } lb/ft^3)$$

$$\rho_{dry} = \frac{116.4 \frac{lbs}{ft^3}}{1+0.12} = 103.9 \frac{lbs}{ft^3}$$





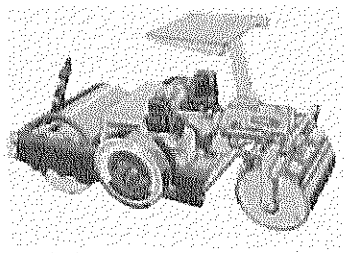
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบดอัดดิน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประกอบไปด้วย

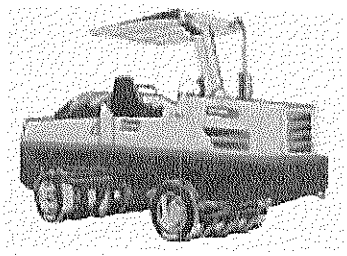
- ประเภทและชนิดของดิน เช่น ดินทราย หรือดินเหนียว ขนาดคละ และพลาสติกซิตี้ของดิน
- ปริมาณความชื้นในขณะที่บดอัดดิน
- สภาพแวดล้อมในสถานที่ก่อสร้าง เช่น อากาศ ประเภทของงาน ความหนาของชั้นดินที่บดอัด
- กาลังในการบดอัด (น้ำหนัก จำนวนรอบบดอัด)

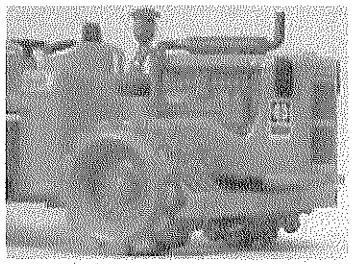
ประเภทเครื่องจักร



• Smooth Wheel Rollers

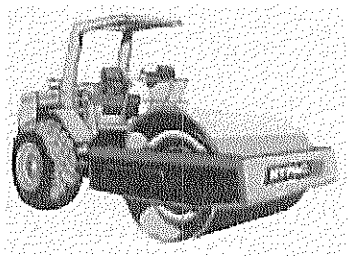
• Pneumatic Tire Rollers



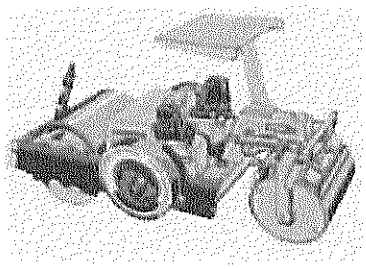


• Sheepsfoot Rollers

• Vibratory Rollers



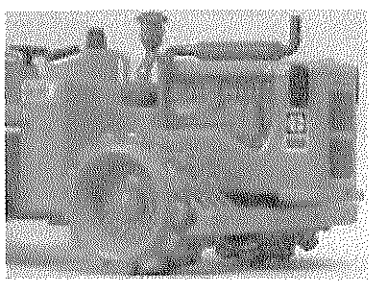
รายละเอียดของเครื่องจักร



• ล้อบดเหล็กหนัก 2-20 tonnes

• เหมาะสำหรับดินประเภท Well-graded sands และ Gravels silts และ Clays of low plasticity

• ไม่เหมาะกับ Uniform sands, silty sands, soft clays

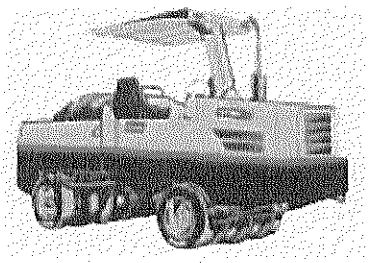


• น้ำหนักประมาณ 5-8 tonnes

• เหมาะสำหรับ Fine grained soils, sand, gravels with > 20% fines

• ไม่เหมาะกับ Very coarse soils, uniform gravels

รายละเอียดของเครื่องจักร

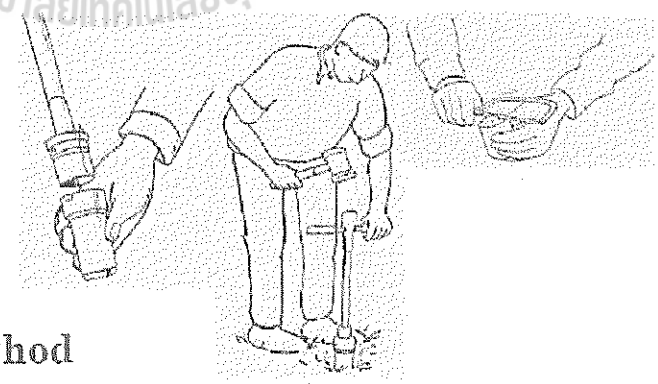


- ล้อหน้าและหลังเรียงสลับกัน เพื่อบดอัดได้เต็มพื้นที่
- ถ่วงน้ำหนักให้ได้ประมาณ 12-40 tonnes
- เหมาะทั้งกับดินเม็ดหยาบ และดินเม็ดละเอียด
- ไม่เหมาะกับ Very soft clay

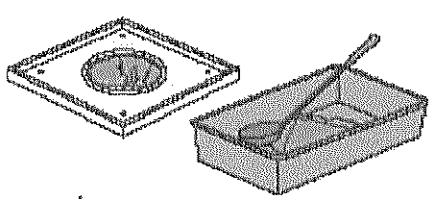
- เหมาะกับดินเม็ดหยาบ

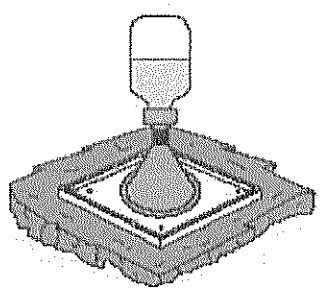
การวัดความหนาแน่นของดินในสนาม

- Core Cutter Method

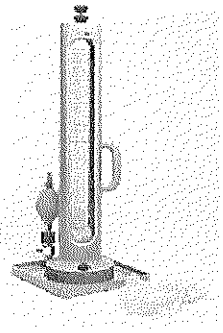


- Sand Replacement Method



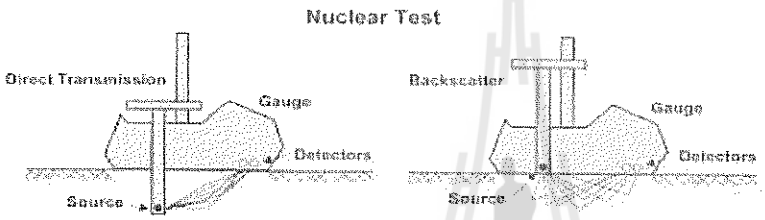


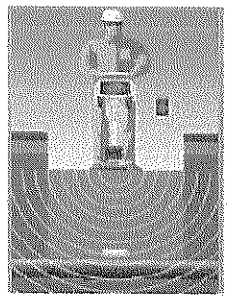
การวัดความหนาแน่นของดินในสนาม...



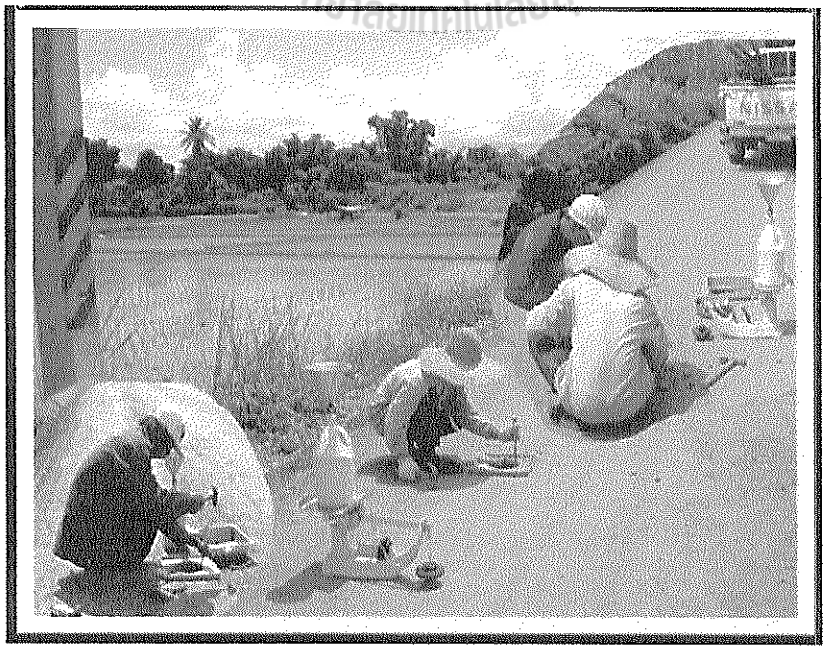
- Rubber-Balloon Method

- Nuclear Moisture-Density Method

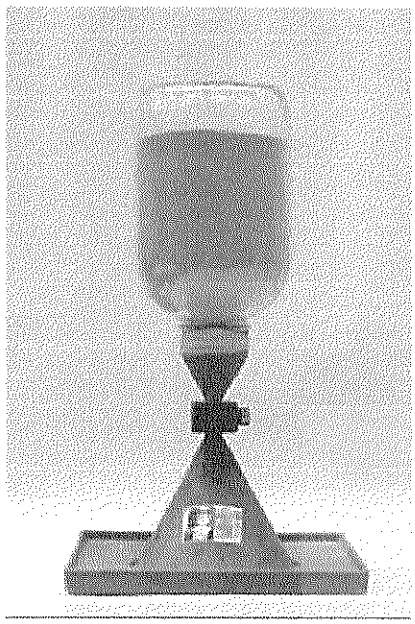


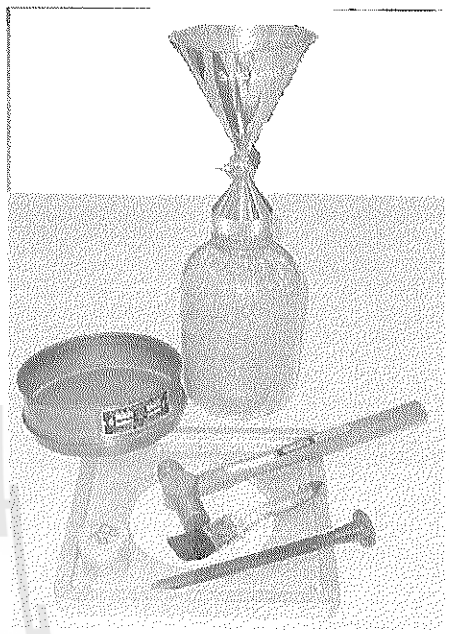


การทดลองหาความหนาแน่นของดินในสนาม (Field Density Test)

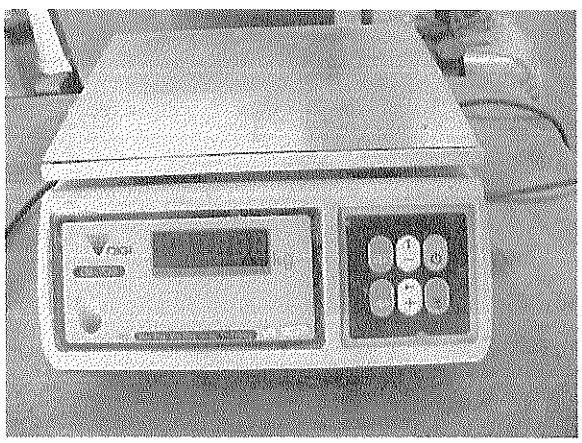


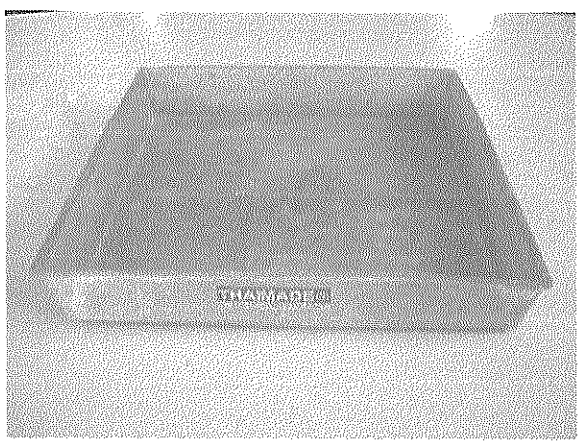
อุปกรณ์การทดสอบ

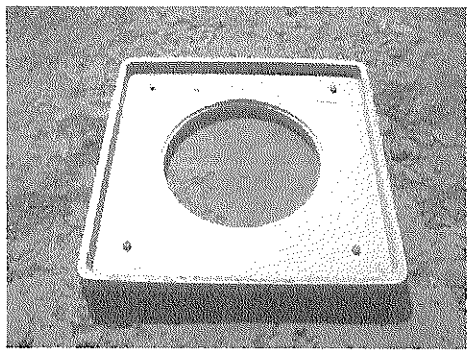


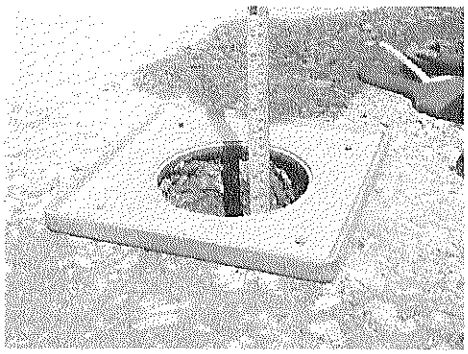


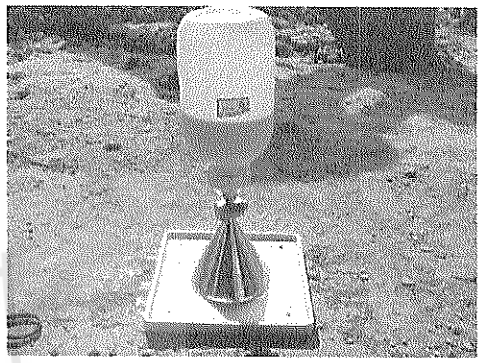
อุปกรณ์การทดสอบ...



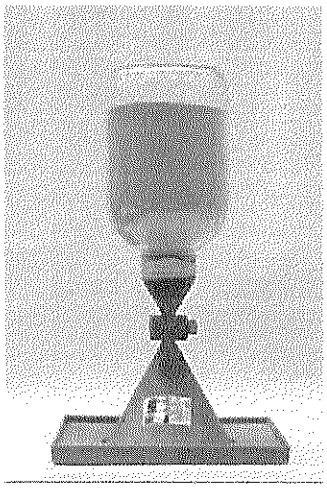






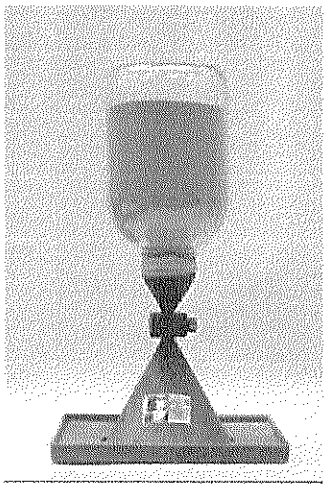


1) ตารางการปฏิบัติการทดลอง



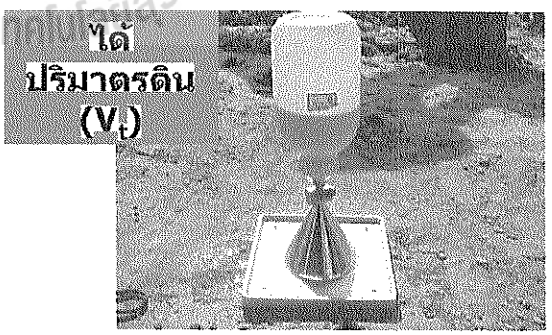
ครั้งที่	1	2	3
น้ำหนักขวด + ทราย ก่อนคว่ำ (g)	7,300	5,925	4,557
น้ำหนักขวด + ทราย หลังคว่ำ (g)	5,925	4,557	3,185
น้ำหนักทรายใน กรวย (g)	1,375	1,368	1,372
เฉลี่ยน้ำหนักทราย ในกรวย (g)	1,371.7		

2) ตารางความหนาแน่นของทรายที่ใช้ในการทดสอบ



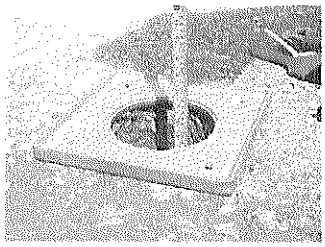
ครั้งที่	1	2	3
ปริมาตรกรวด (cm^3)	890	890	890
น้ำหนักทรายในกรวย (g)	1,375	1,368	1,372
ความหนาแน่นทรายที่ใช้ทดสอบ (g/cm^3)	1.545	1.537	1.542
เฉลี่ยความหนาแน่นของทรายที่ใช้ทดสอบ (g/cm^3)	1.54		

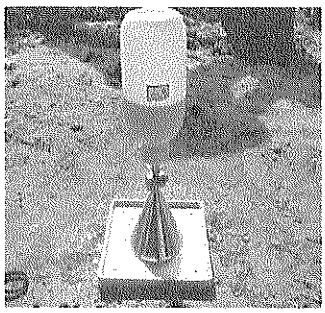
3) การทดสอบหาความหนาแน่น



- ❑ ปรับหน้าดินให้เรียบได้ระดับ
- ❑ เอาแผ่นรองวาง พร้อมตอกหมุดไม่ให้เคลื่อนตัวได้
- ❑ ขุดหลุมลึกประมาณ 10 cm
- ❑ เก็บตัวอย่างดินทั้งหมดชั่งน้ำหนักและหาความชื้น
- ❑ คว่ำกรวยทรายให้ทรายไหลลงจนเต็มช่องที่ขุดไว้
- ❑ วัดน้ำหนักทรายที่หายไป
- ❑ คำนวณปริมาตรช่องขุดจากปริมาตรทรายที่หายไปและความหนาแน่นที่ทดสอบไว้ในตอนแรก

3) ตารางการคำนวณความหนาแน่นดิน





รายการ	ผลการบันทึก	
ความหนาแน่นทราย (g/cm^3)	1.54	
น้ำหนักขวด + ทราย ก่อนคว่ำ (g)	6,700	
น้ำหนักขวด + ทราย หลังคว่ำ (g)	3,460	
น้ำหนักทรายที่หายไป (g)	3,240	$=6700-3460$
น้ำหนักทรายในกรวย (g)	1,371.7	
น้ำหนักทรายในหลุม (g)	1,868.3	$=3240-1371.7$
ปริมาตรของหลุม, V_t (cm^3)	1,213.2	$=\frac{1868.3}{1.54}$
น้ำหนักดินจากหลุม, W_t (g)	2,700.6	
ความหนาแน่นของดิน (g/cm^3)	2.23	$=\frac{2700.6}{1213.2}$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

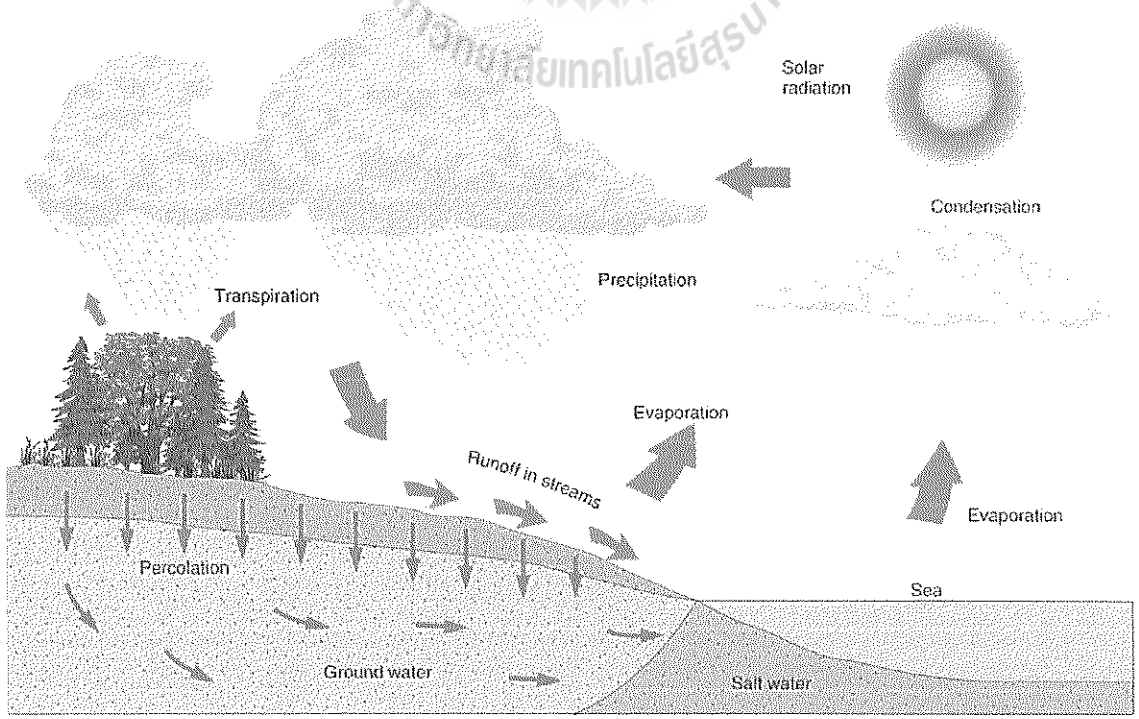
บทที่ 3
อุทกธรณีวิทยา (Geohydrology)

หัวข้อนำเสนอ

- ผลกระทบของน้ำต่องานด้านวิศวกรรมธรณี
- ชนิดของชั้นน้ำบาดาล
- ความเร็วในการไหลของน้ำใต้ดิน - Darcy's Law
- การทดสอบหาค่าความซึมผ่าน
  - การใช้สูตร
  - การใช้สารติดตาม
  - การทดสอบหาค่าความซึมผ่านในห้องปฏิบัติการ
  - การทดสอบหาค่าความซึมผ่านในภาคสนาม
- โครงข่ายการไหล (Flow Net)

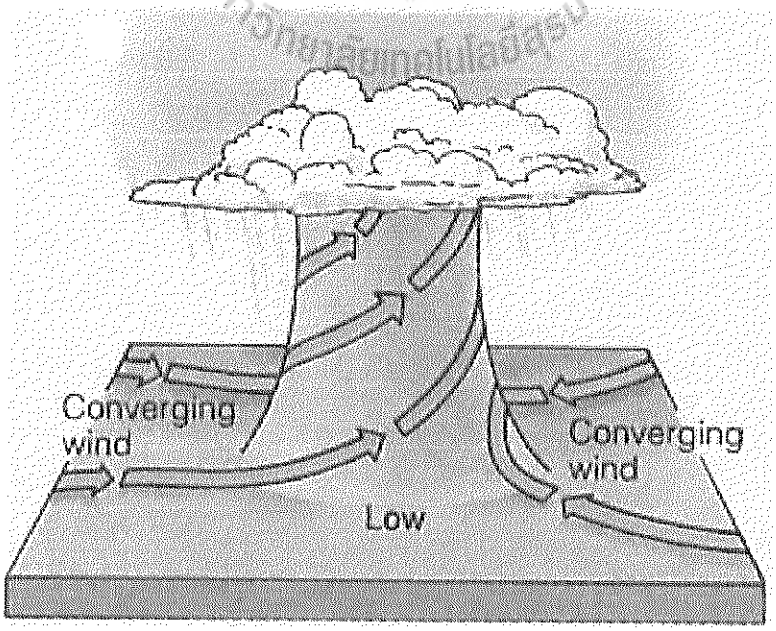
1) ผลกระทบของน้ำ ต่องานด้านวิศวกรรมธรณี

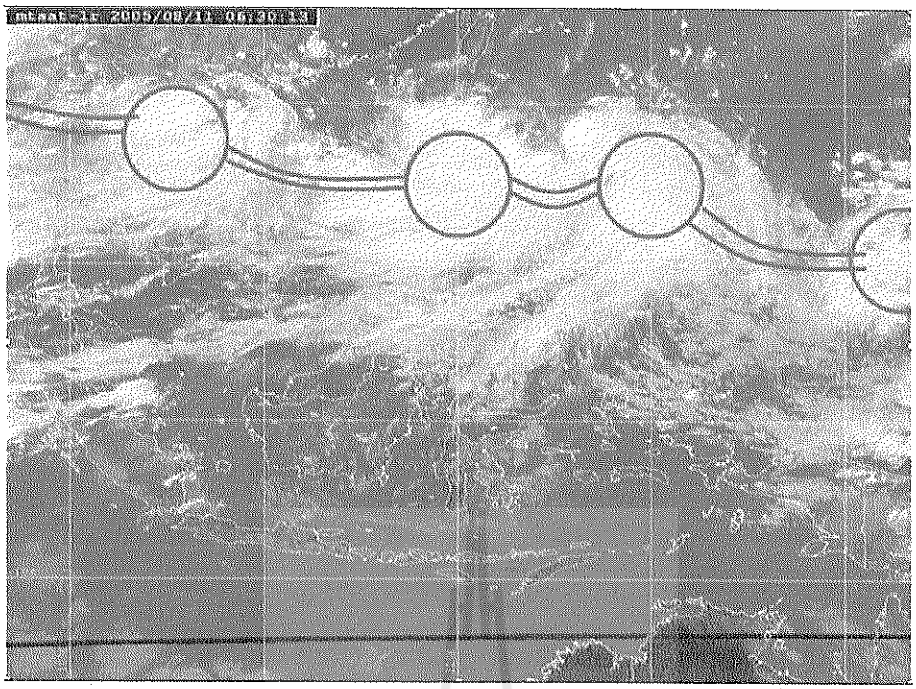
วัฏจักรน้ำ (Hydrologic Cycle)



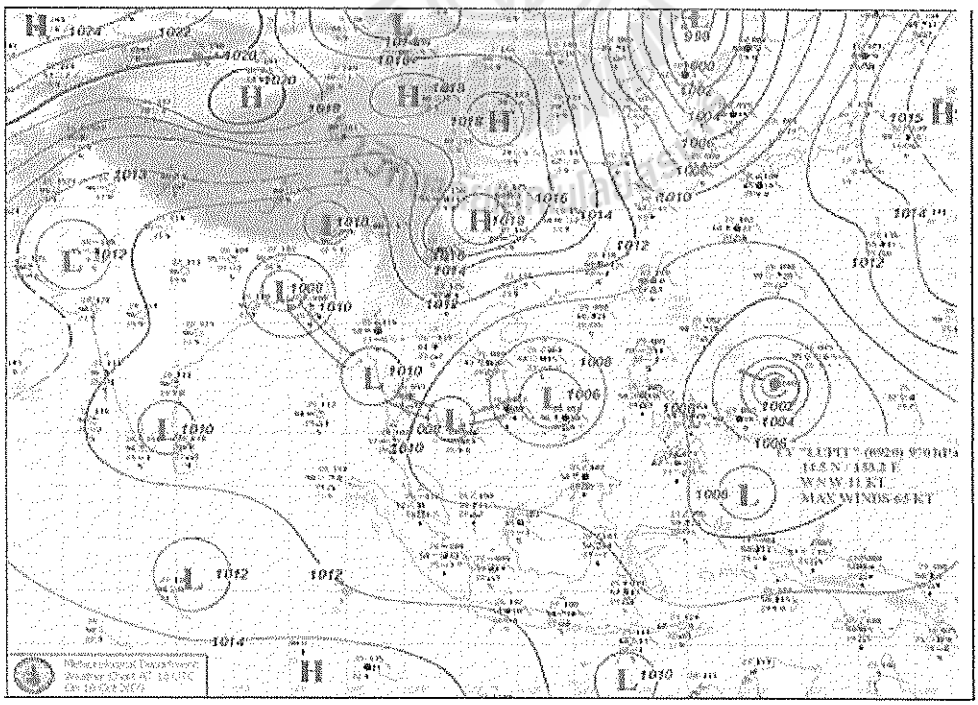
สมมติว่าบริเวณหนึ่งมีอากาศร้อนกว่าบริเวณโดยรอบ

เนื่องจากอากาศร้อนเบา จึง ลอยตัวสูงขึ้น
(คิดถึงควันไฟซึ่งร้อนและลอยขึ้นเสมอ)
ความกดอากาศบริเวณนี้จึงต่ำกว่าความกดอากาศโดยรอบ
ทำให้เรียกว่า **หย่อมความกดอากาศต่ำ**
หากบริเวณนี้มีไอน้ำอยู่มาก ไอน้ำก็จะลอยสูงขึ้นไปด้วย
แต่ **"ยิ่งสูง...ยิ่งหนาว"**
ดังนั้น ไอน้ำจึงควบแน่นกลายเป็นเมฆลอยอยู่เหนือบริเวณนั้น
(ดูภาพข้างบนได้)
หากเม็ดน้ำในเมฆใหญ่และหนักมากขึ้น
ก็อาจจะตกลงมากลายเป็นฝน
ฝนที่ตกนี้จะกระจายไปโดยรอบศูนย์กลางของหย่อม





รูปที่ 3. แสดงการวางตัวของเมฆ (สีขาว) ตามแนวร่องความกดอากาศต่ำ (เส้นสีแดง)



รูปที่ 2. แสดงตัวแปรต่าง ๆ หย่อมความกดอากาศต่ำ (L) ความกดอากาศสูง (H)

พายุหมุนเขตร้อน ( ) และร่องความกดอากาศต่ำ (=) ในแผนที่ผิวพื้น

The Ideal Gas Equation of State

- อธิบายคุณสมบัติของก๊าซในความสัมพันธ์ของ ความดัน (P), ปริมาตร (V) และอุณหภูมิ (T) → Thermodynamics

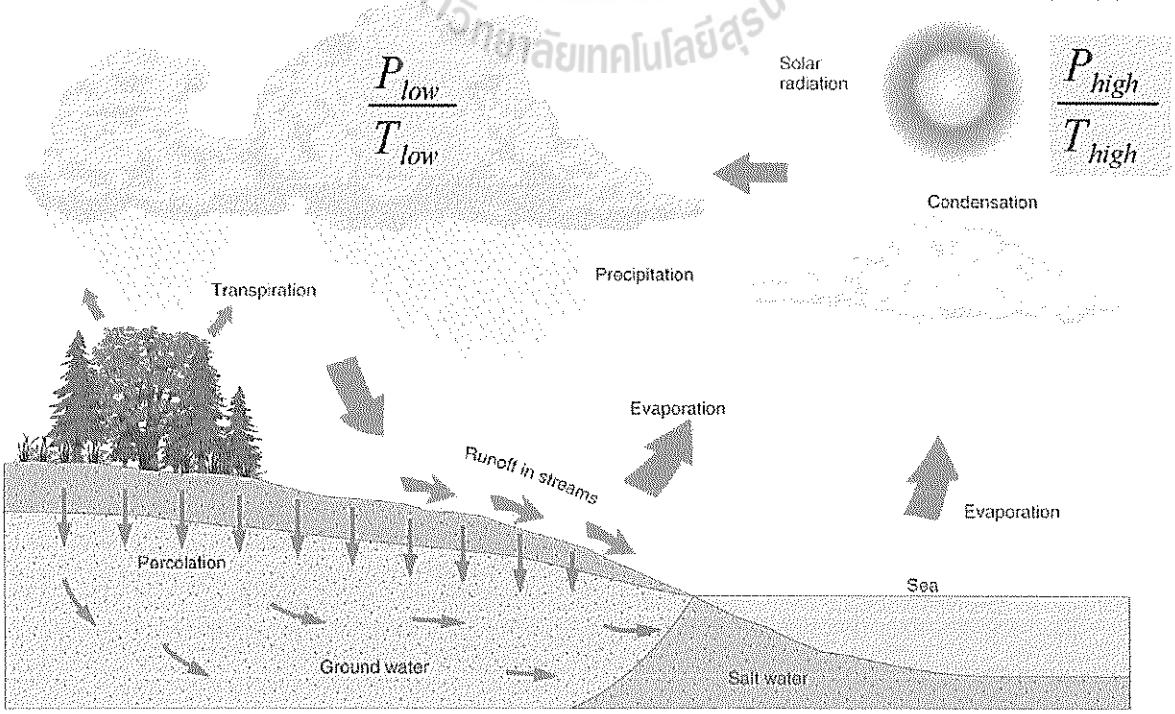
$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

- ในชั้นบรรยากาศจะพิจารณาว่า $V_1 = V_2$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

- จากพยากรณ์อากาศจะเกิดฝนในบริเวณความกดอากาศต่ำ ใช้หลักการข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

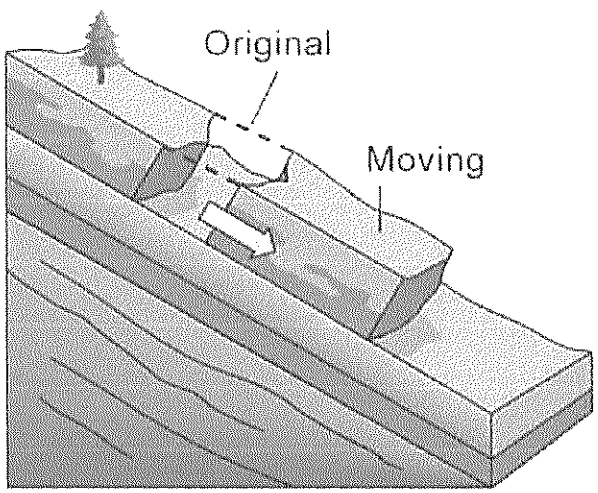
หลักการทาง Thermodynamics

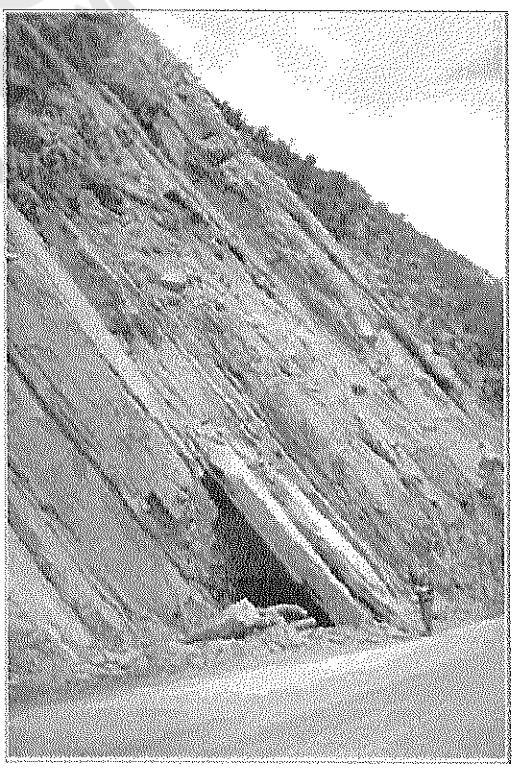


1) ผลกระทบของน้ำ ต่องานทางด้านวิศวกรรมธรณี

1) **แรงดันน้ำ (Water pressure)** ทำให้เสถียรภาพของความลาดชันลดลง กล่าวคือ แรงดันน้ำจะไปลดค่าความต้านทานแรงเฉือนบริเวณที่จะเกิดการวิบัติ (Failure surface) และน้ำในรอยแตกแบบดึง (Tension crack) บนความลาดชันจะเพิ่มแรงขับเคลื่อน (Driving force) ให้มวลหินเกิดการเลื่อนไถลได้ง่ายขึ้น
2) **ความชื้น (Water content)** ในดินหรือมวลหินที่มีความชื้นอยู่สูงจะทำให้น้ำหนักของดินเพิ่มขึ้นซึ่งอาจทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากขึ้น และในบางกรณี เช่น การเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลหินที่เป็นหินดินดาน (Shale) จะเป็นการเร่งการสลายตัวผุพัง (Weathering) ของมวลหินได้
3) **การแข็งตัวของน้ำ (Freezing)** ในช่วงฤดูหนาวจะทำให้น้ำที่แทรกตัวอยู่ในรอยแยกและรอยแตกของหินเกิดการขยายตัว จากรอยแตกขนาดเล็กเป็นรอยแตกขนาดใหญ่และอาจเพิ่มจำนวนมากขึ้นด้วย และยังปิดกั้นการระบายน้ำออกจากรอยแตกด้วย ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อแรงดันน้ำในรอยแตก

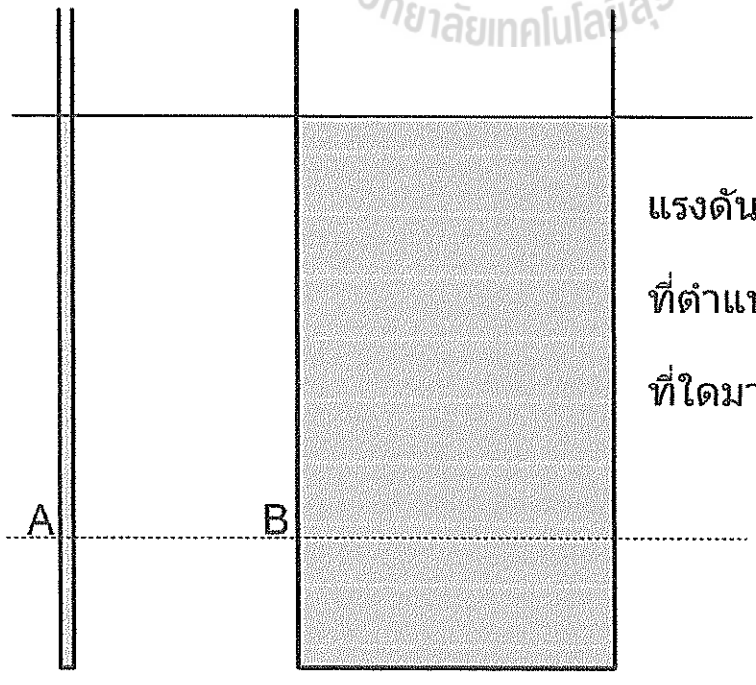
1) แรงดันน้ำที่รอยแตกในมวลหิน





1) แรงดันน้ำ (Water pressure)

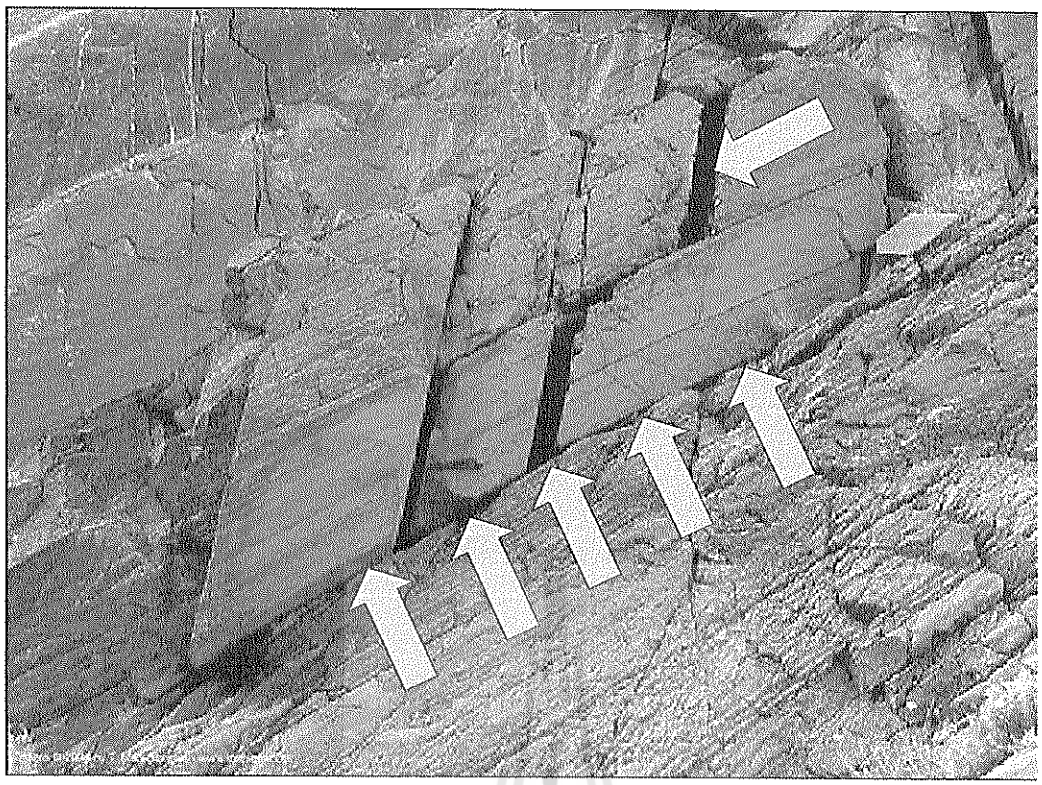
1) แรงดันน้ำ (Water pressure)...



แรงดันน้ำบนผนัง

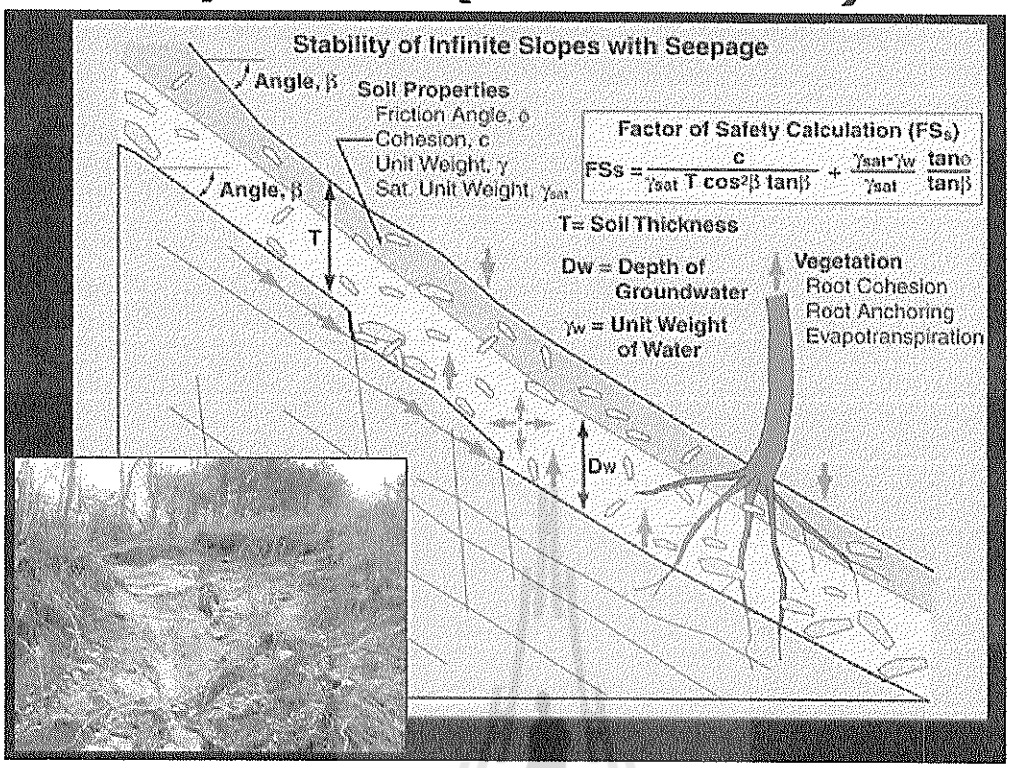
ที่ตำแหน่ง A กับ B

ที่ใดมากกว่ากัน ?????



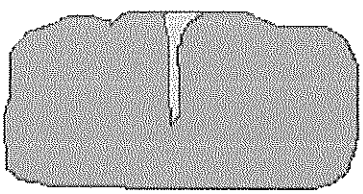
1) แรงดันน้ำ (Water pressure)

2) ความชื้น (Water content)

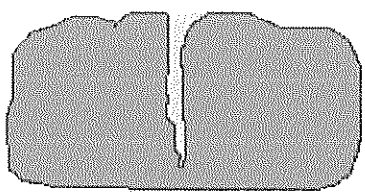


3) การแข็งตัวของน้ำ (Freezing) ทำให้เกิด Mechanical Weathering

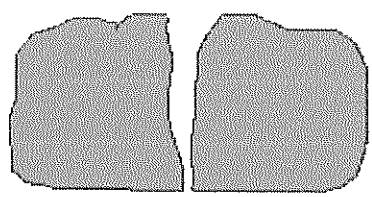
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Water seeps into cracks and fractures in rock.

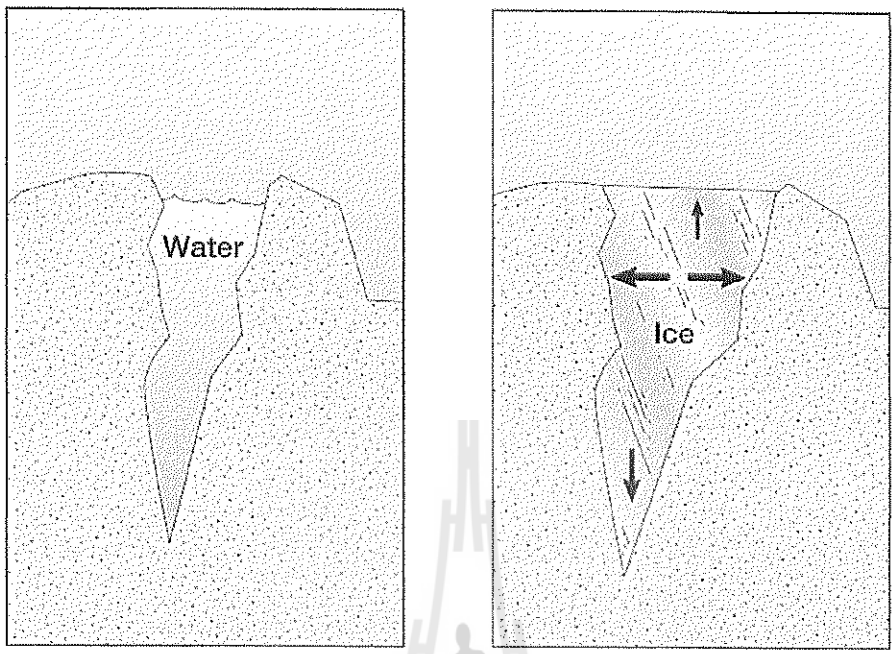


When the water freezes, it expands about 9% in volume, which wedges apart the rock.



With repeated freeze/thaw cycles, rock breaks into pieces.

3) การแข็งตัวของน้ำ (Freezing) ทำให้เกิด Mechanical Weathering



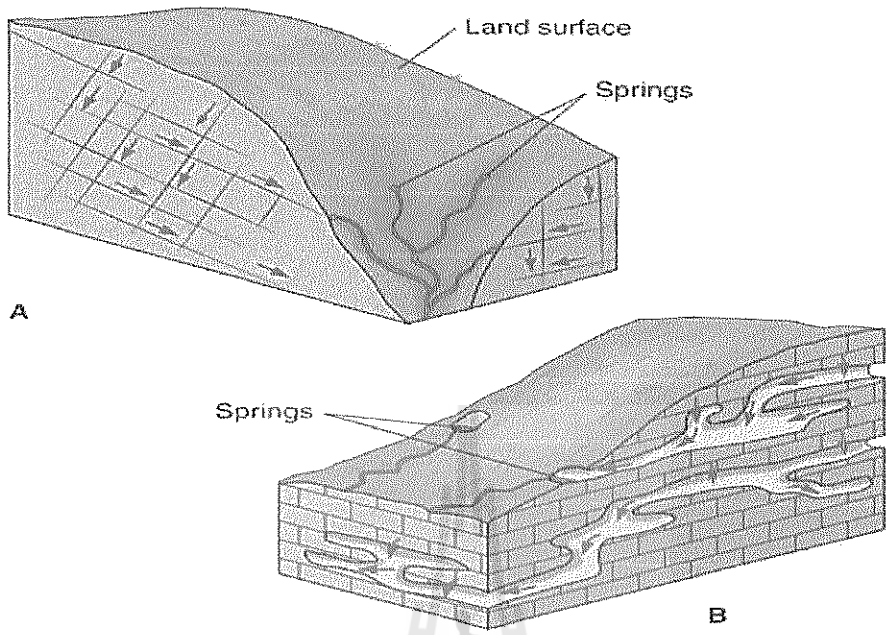
ผลกระทบของน้ำต่องานทางด้านวิศวกรรมธรณี

4) **การกัดกร่อน (Erosion)** ทั้งที่เกิดกับดินบนพื้นผิวโลกและที่แทรกอยู่ในรอยแตกของหินทำเป็นตัวการที่ทำให้น้ำใต้ดินไหลได้เร็วขึ้น และดินหรือหินที่ถูกกัดกร่อนจะไปอุดตันระบบระบายน้ำ (drainage system) บริเวณความลาดชัน

5) **น้ำที่ซึมออกมายังบริเวณผิวดิน (Discharge)** ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูดน้ำออกจากหน้างาน ทำให้เครื่องจักรทำงานได้ไม่ดีบนพื้นที่เปียก และจะต้องเพิ่มปริมาณวัตถุระเบิดในหลุมระเบิดที่มีน้ำไหลซึมเข้ามา

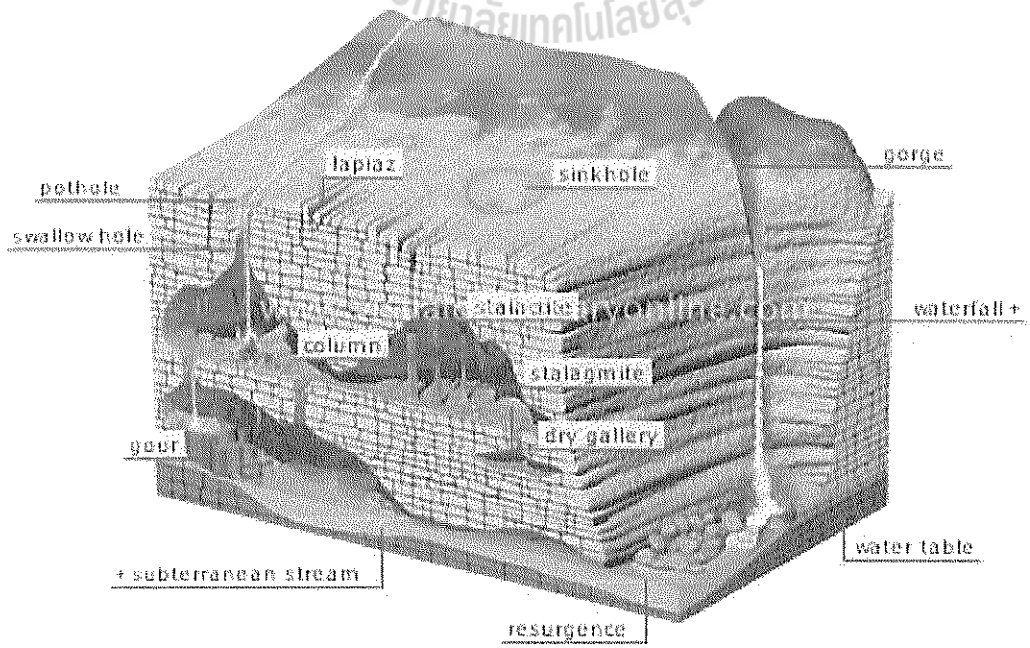
6) **ดินในสภาพเหลว (Liquefaction)** ที่มีปริมาณน้ำในช่องว่างสูง อาจทำให้แรงยกตัวเนื่องจากแรงดันน้ำสูงกว่าน้ำหนักของดินเอง สิ่งนี้จะทำให้โครงสร้างทางวิศวกรรมที่อยู่บนดินเหล่านี้ขาดเสถียรภาพได้

4) การกัดกร่อน (Erosion) น้ำใต้ดิน ทำให้เกิดโพรงในชั้นหิน

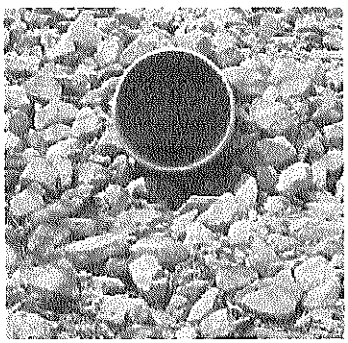


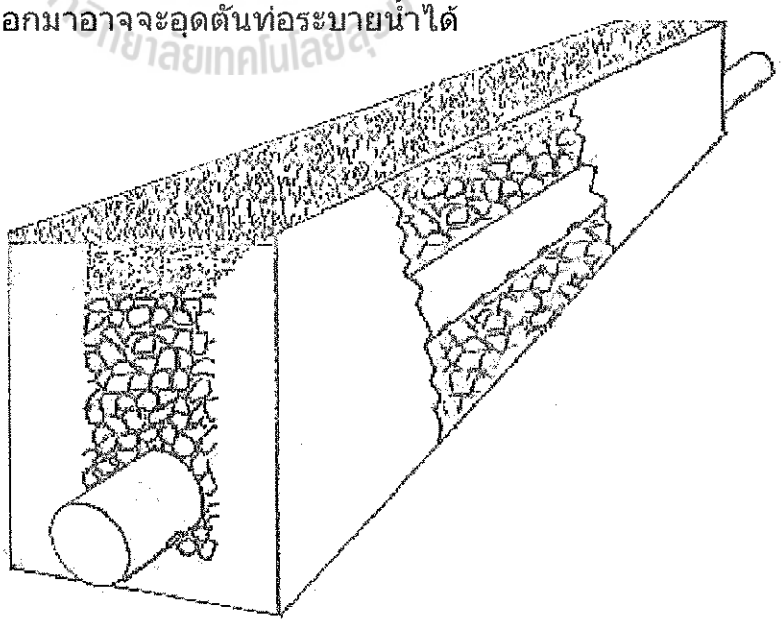
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) การกัดกร่อน (Erosion) น้ำใต้ดิน ทำให้เกิดโพรงในชั้นหิน

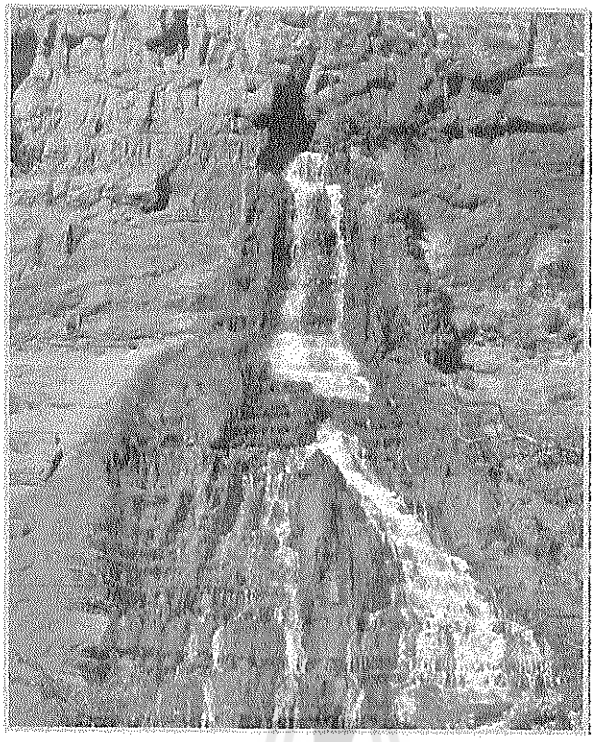


- เสียค่าใช้จ่ายกับการสร้างระบบระบายน้ำบริเวณความลาดชัน
- ดินที่ถูกกัดกร่อนออกมาอาจจะอุดตันท่อระบายน้ำได้





5) น้ำที่ขับออกมายังบริเวณผิวดิน (Discharge)

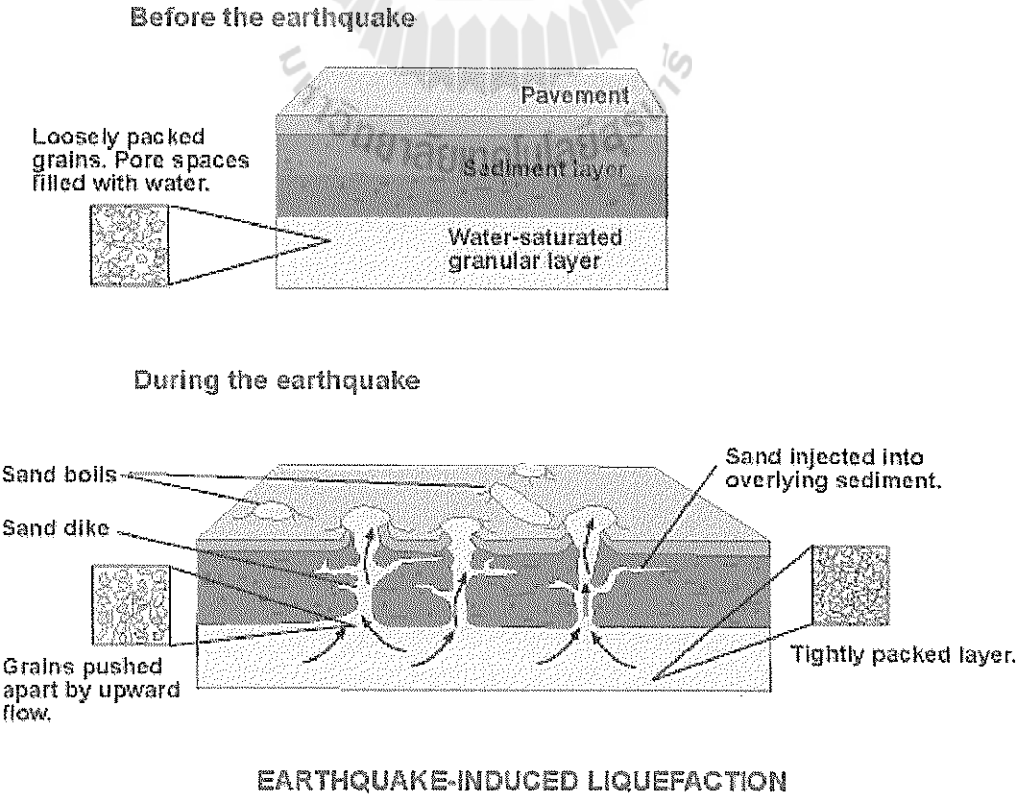


5) น้ำที่ขับออกมายังบริเวณผิวดิน (Discharge) ในเหมือง

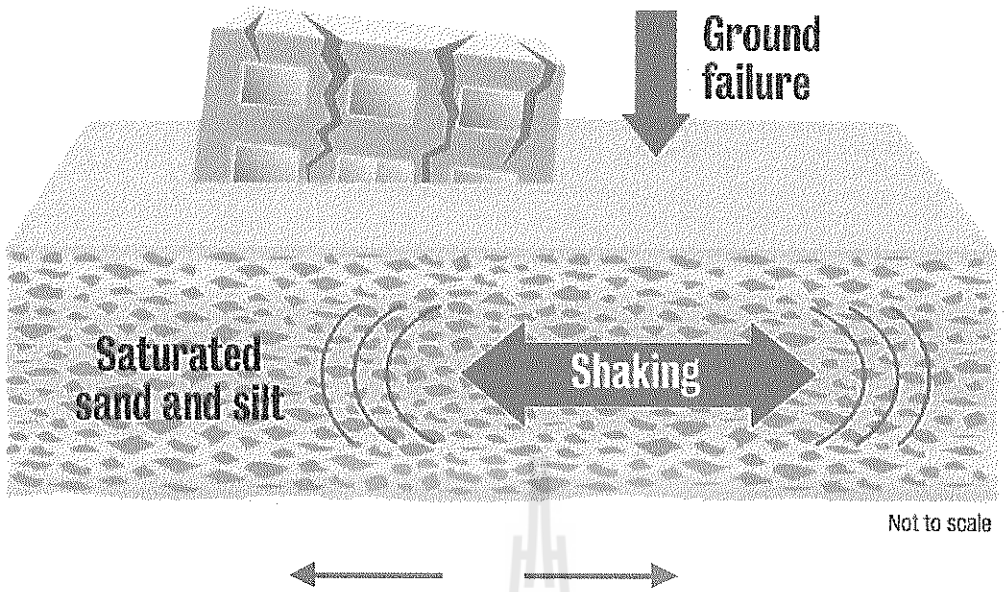
- ทำให้เครื่องจักรทำงานได้ไม่ดีบนพื้นที่เปียก
- และจะต้องเพิ่มปริมาณวัตถุระเบิดในหลุมระเบิดที่มีน้ำไหลซึมเข้ามา

ดินในสภาพเหลว (Liquefaction)

- Liquefaction is phenomenon in which the strength and stiffness of a soil is reduced by **earthquake shaking** or other **rapid loading.**
- Liquefaction and related phenomena have been responsible for amounts of damage in historical earthquakes around the world.
- **Liquefaction occurs in saturated soils** that is soils in which the space between individual particles is completely filled with water.
- This water exerts a pressure on the soil particles that influences how tightly the particles themselves are pressed together. Prior to an earthquake, the water pressure is relatively low. However, earthquake shaking can cause the water pressure to increase to the point where the soil particles can readily move with respect to each other.

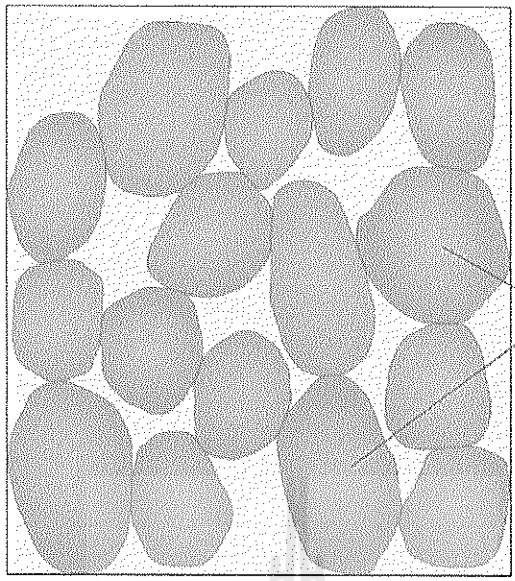


EARTHQUAKE-INDUCED LIQUEFACTION

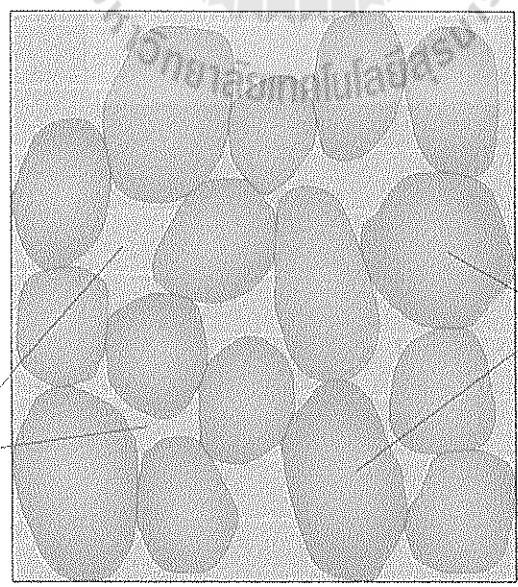


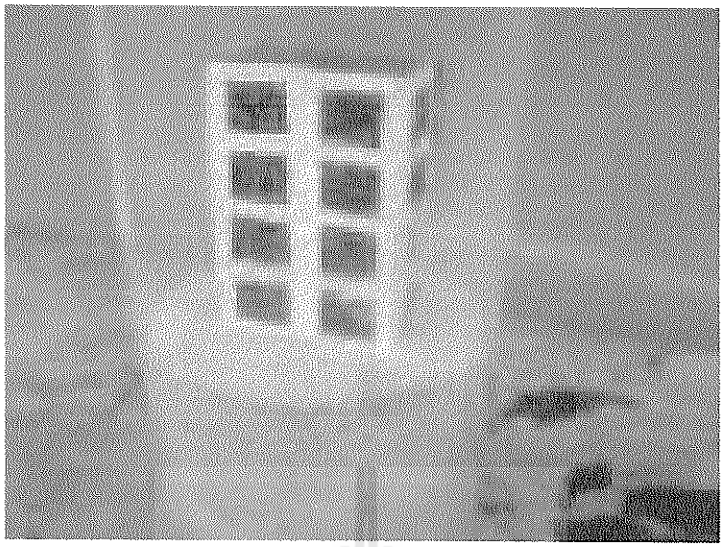
ผลกระทบของดินในสภาพเหลว

Dry sediment grains



Water saturated sediment grains



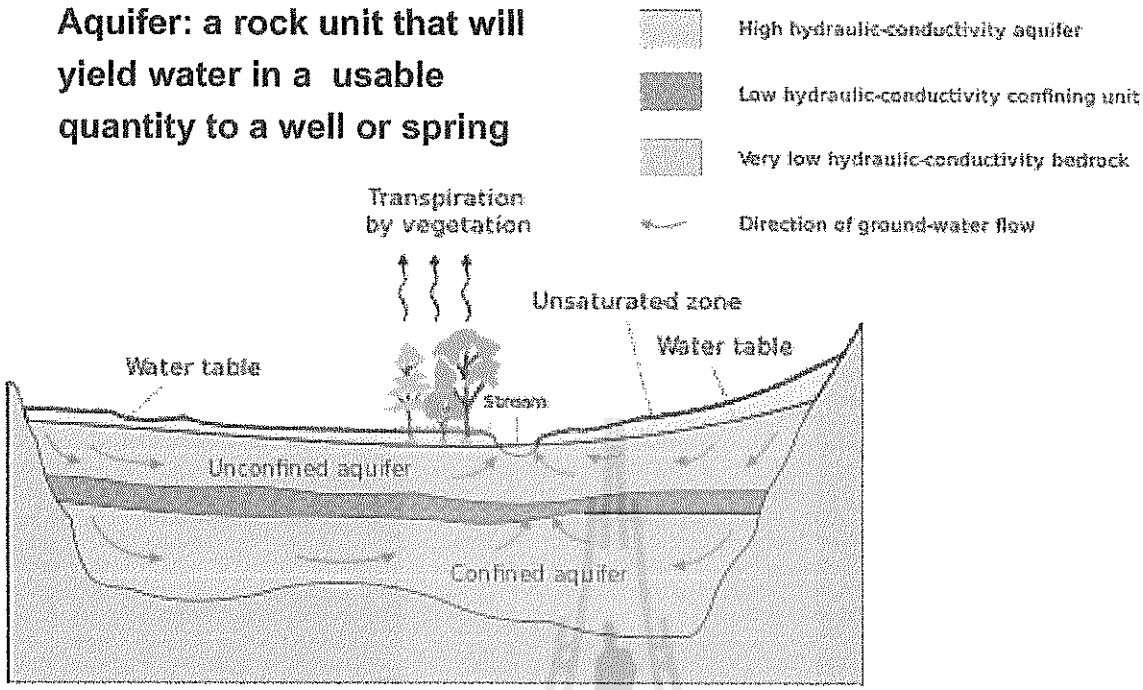


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

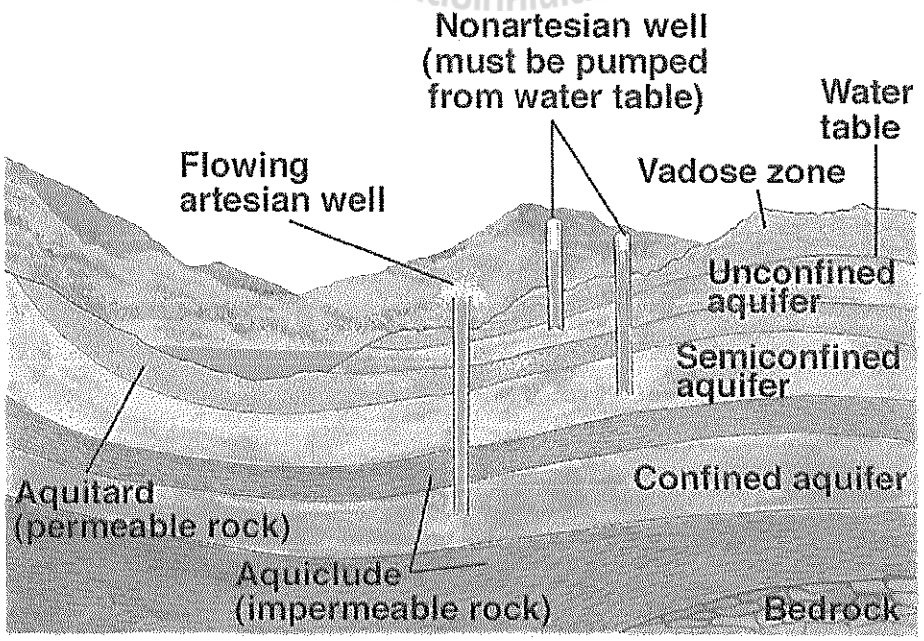
2) ชนิดของชั้นน้ำบาดาล

Aquifer (ชั้นหินอุ้มน้ำ)
Aqua (Latin)==Water + Ferre==Give

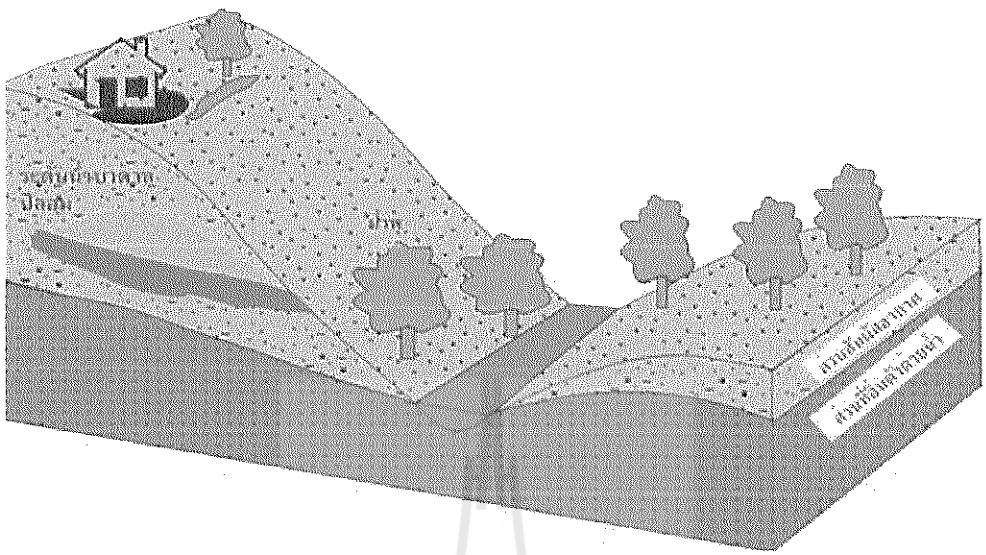
Aquifer: a rock unit that will yield water in a usable quantity to a well or spring

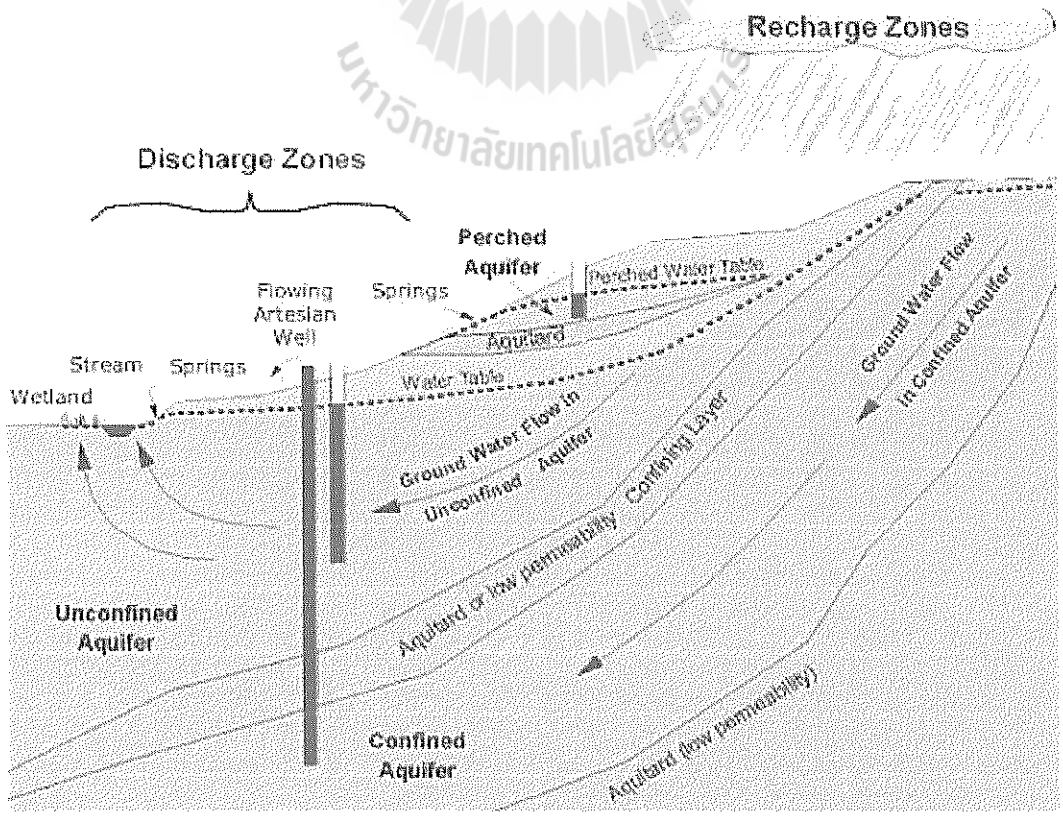


Types of Aquifers



ชั้นน้ำบาดาลปลอม
(Perched Aquifer)



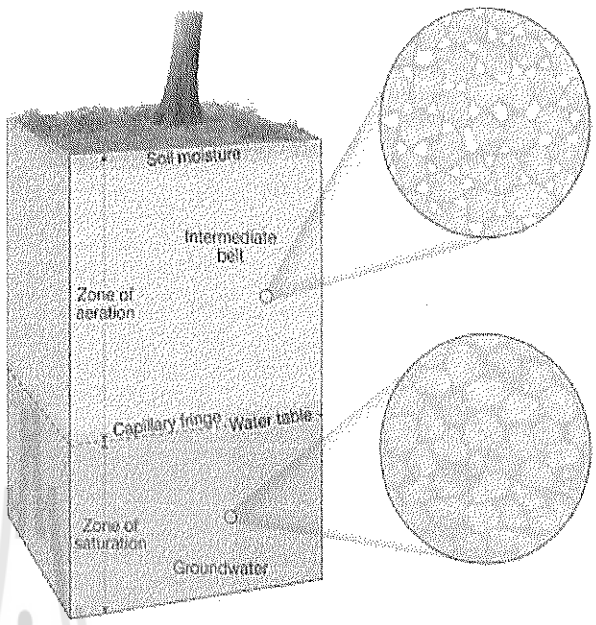


Zone of Groundwater

There are two zones:

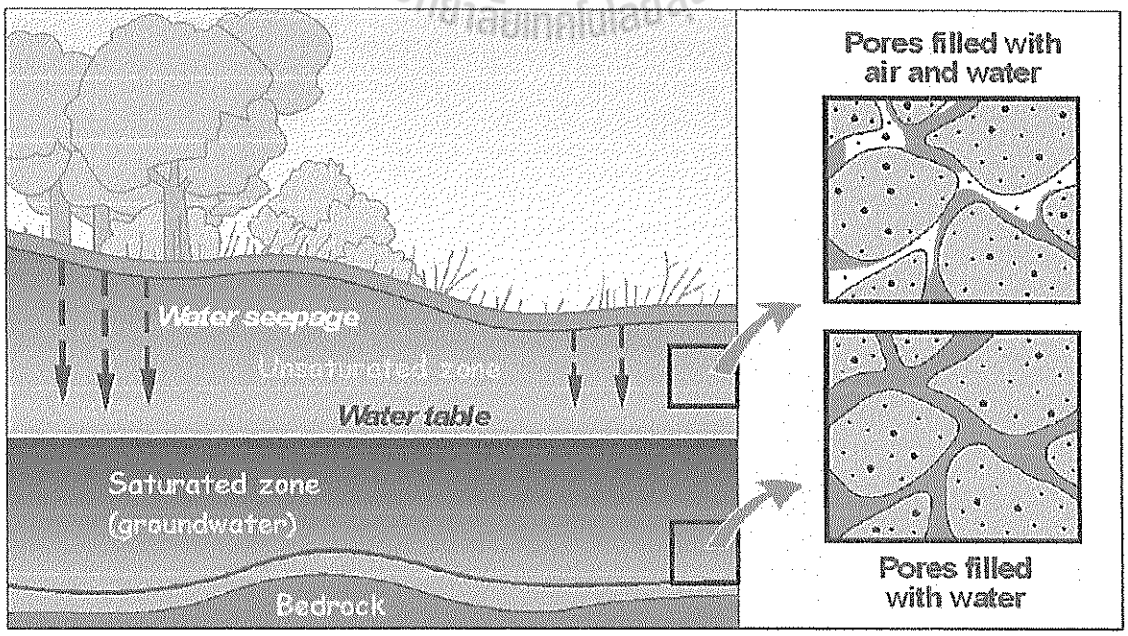
I. Zone of Aeration or Vadose Zone
(เขตอิ่มอากาศ)

II. Zone of Saturation or Phreatic Zone
(เขตอิ่มน้ำ)



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Zone of Groundwater...



Aquifer (ชั้นหินอุ้มน้ำ)

"วัสดุตัวกลาง" หรือ "ชั้นหินที่กักเก็บ" เรียกว่า ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะการพัฒนาน้ำบาดาล ออกเป็น 2 ชนิด

1) ชั้นหินร่วน (Unconsolidated Rocks) หมายถึง หินที่ประกอบด้วยตะกอนต่างๆ ที่รวมตัวกันแต่ยังไม่แข็งตัว เช่น กรวด ทราย ดินเหนียว และเศษหินที่สะสมตัวตามแอ่ง ทุ่งราบ หุบเขา ริมแม่น้ำ และทะเล เป็นต้น

2) ชั้นหินแข็ง (Consolidated Rocks) หมายถึง หินที่ประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ที่รวมตัวกันและมีสารมาเชื่อมประสานจนกลายเป็นหินแข็ง เช่น หินทราย หินดินดาน หินปูน หินกรวด หินชนวน หินแกรนิต หินบะซอลต์ เป็นต้น

ช่องว่างในชั้นหิน (pore or interstices)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่องว่างในชั้นหิน แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1) ช่องว่างปฐมภูมิ (Original Interstice)

   ก) ช่องว่างในหินตะกอน: เกิดจากกระบวนการทับถมสะสมตัวและการเรียงตัวของตะกอน ตลอดจนการสมานตัวของตะกอนภายใต้สิ่งแวดล้อมต่างๆ ทำให้ลักษณะและขนาดช่องว่างผิดแผกแตกต่างกัน

   ข) ช่องว่างในหินอัคนี: เกิดขึ้นเนื่องจากการตกผลึกจากการเย็นตัวของเม็ดแร่ประกอบหิน ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงอากาศในหิน เช่น หินบะซอลต์ ช่องว่างเหล่านี้ไม่ต่อเนื่องกัน

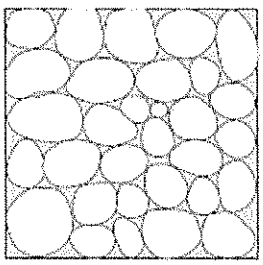
ช่องว่างในชั้นหิน (pore or interstices)

ช่องว่างในชั้นหิน แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

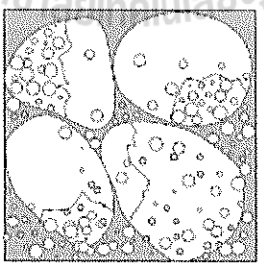
2) ช่องว่างทุติยภูมิ (Secondary Interstice)

- ✓ **เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยาที่เป็นไปในทางทำลายหินซึ่งเกิดขึ้นมาก่อนกระบวนการนี้ ประกอบด้วยแรงกดดันภายในโลก ทำให้หินแตกร้าวหรือโค้งงอเกิดเป็นช่องว่างขึ้นในรอยเลื่อน (Fault) รอยแตก (Joint) และ รอยร้าว (Fracture) น้ำบาดาลที่เกิดในโครงสร้างพวกนี้จะพบในหินแข็ง**
- ✓ **กระบวนการทางธรณีวิทยาอีกอย่างหนึ่งคือ การสึกกร่อน และละลายเนื้อหินทำให้รอยแตกร้าวเดิมขยายกว้างออกไป เช่น ถ้ำหินปูน**

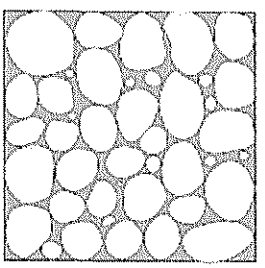
Types of pore space



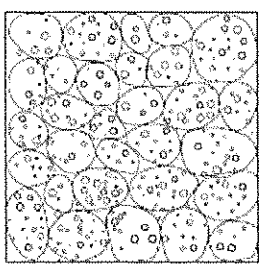
consolidated sediment



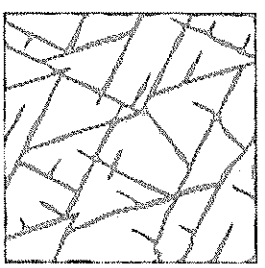
dissolution of rock



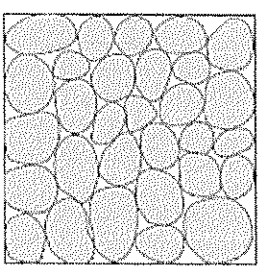
poorly sorted sediment



porous sediment

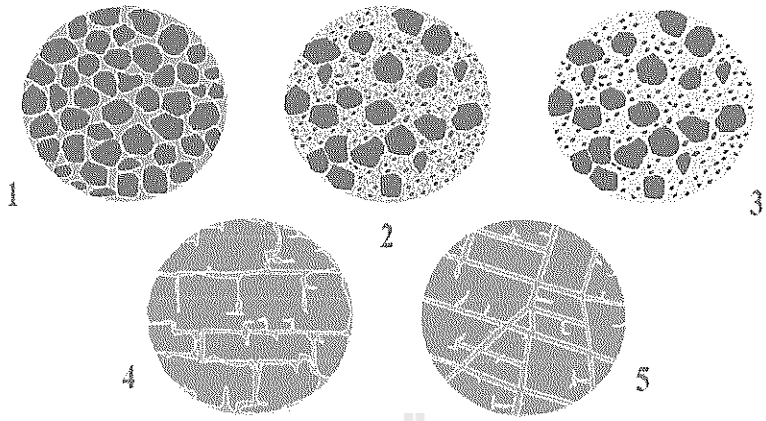


rock fractures



well-sorted sediment

การกักเก็บน้ำในช่องว่างของเนื้อหิน

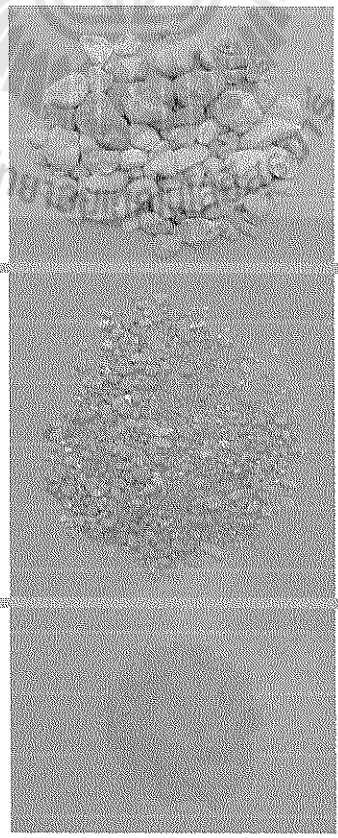


1) การเรียงตัวและการคัดขนาดดี
2) การเรียงตัวไม่ดีและคัดขนาดไม่ดี
3) การเรียงตัวไม่ดีและมีดินเหนียวแทรก
4) รอยต่อในชั้นหิน (Bedding planes)
5) รอยแตกในชั้นหิน (Fracture + Crack)

ขนาดตะกอนใหญ่กว่า
4.75 mm
กรวด (Gravel)

ขนาดเม็ดตะกอน
4.75 – 0.075 mm
ทราย (Sand)

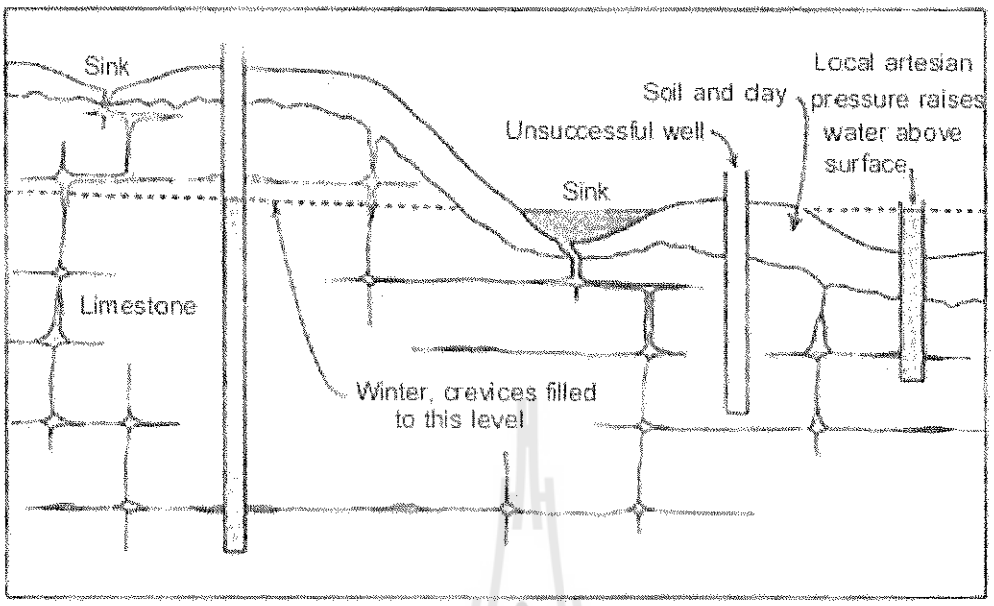
ขนาดเม็ดตะกอน
เล็กกว่า 0.075 mm (#200)
ทรายแป้ง ดินเหนียว (Fines (Silt + clay)



ชั้นหินอุ้มน้ำที่ดีมาก
ให้น้ำในปริมาณมาก

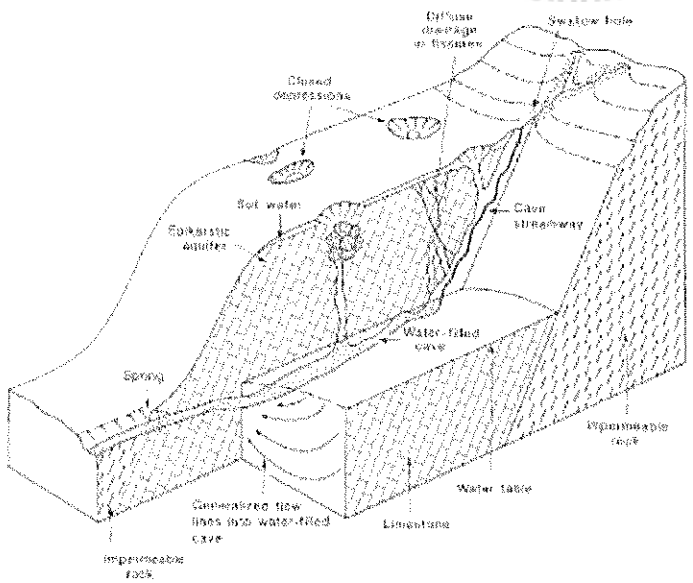
ชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่ค่อยดี
ให้น้ำในปริมาณน้อย

Pore Space: ช่องว่างทุติยภูมิ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Pore Space: ช่องว่างทุติยภูมิ



คุณสมบัติในการให้น้ำของหินทั่วไป

	สัมประสิทธิ์การซึมได้ (K)	ความพรุน
ค่าสูงสุด	กรวดคัดขนาดดี	ดินเหนียว
▲	หินปะทะยอดต์เนื้อพรุน	ทรายละเอียด
	หินปูนมีโพรง	ทรายคัดขนาดดี
	ทรายและกรวดคัดขนาดไม่ดี	ทรายและกรวดคัดขนาดไม่ดี
	หินทราย	กรวด
	หินอัคนีที่แตกหัก	หินทราย
	ดินเหนียว	หินปะทะยอดต์เนื้อพรุน
	หินอัคนีเนื้อแน่น	หินปูนมีโพรง
		หินอัคนีที่แตกหัก
ค่าต่ำสุด		หินอัคนีเนื้อแน่น

สรุปหัวข้อ 1 และ 2

ผลกระทบของน้ำต่องานด้านวิศวกรรมธรณี (6)

- **แรงดันน้ำ (Water pressure):** ***ลดแรงเสียดทาน***
- **ความชื้น (Water content):** ***เพิ่มน้ำหนัก***
- **การแข็งตัวของน้ำ (Freezing):** ***หินเกิดการแตก***
- **การกัดกร่อน (Erosion):** ***หินผุ ตะกอนที่กัดกร่อนอุดท่อ***
- **น้ำที่ซึมออกมายังบริเวณผิวดิน (Discharge):** ***ทำงานลำบาก***
- **ดินในสภาพเหลว (Liquefaction):** ***โครงสร้างทรุดตัว***

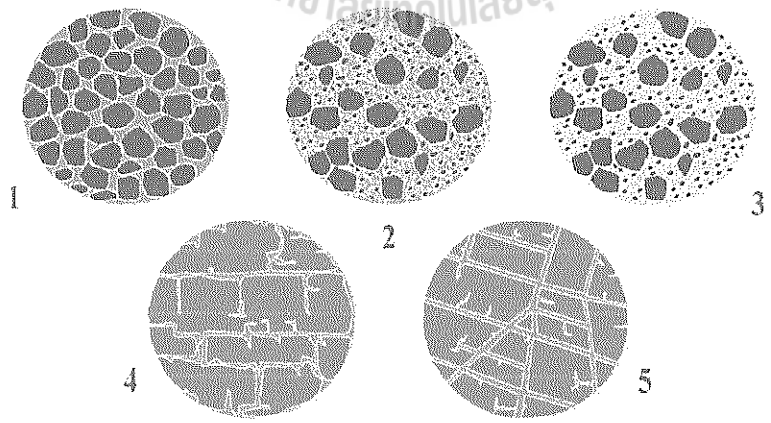
สรุปหัวข้อ 1 และ 2...

ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer): หินร่วน และหินแข็ง

ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) คือ ชั้น "ตะกอน"หรือชั้น "หิน" ที่น้ำบาดาลสามารถซึมผ่านได้ เช่น

- ✓ **หินร่วน: ตะกอนกรวดและทราย *น้ำจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอน*** (เม็ดทรายมีช่องว่างขนาดเล็กกว่ากรวดจึงทำให้การสะสมตัวของน้ำจึงน้อยกว่า)
- ✓ **หินแข็ง – หินอัคนี และ หินแปร หินดินดาน** มีลักษณะเนื้อหินแน่น ***น้ำจะไหลผ่านช่องว่างในรอยแตกรอยแยกและโพรงละลาย***

สรุปหัวข้อ 1 และ 2...



A) ช่องว่างปฐมภูมิ

1) การเรียงตัวและการคัดขนาดดี
2) การเรียงตัวไม่ดีและคัดขนาดไม่ดี
3) การเรียงตัวไม่ดีและมีดินเหนียวแทรก

B) ช่องว่างทุติยภูมิ

4) รอยต่อในชั้นหิน (Bedding planes)
5) รอยแตกในชั้นหิน (Fracture + Crack)

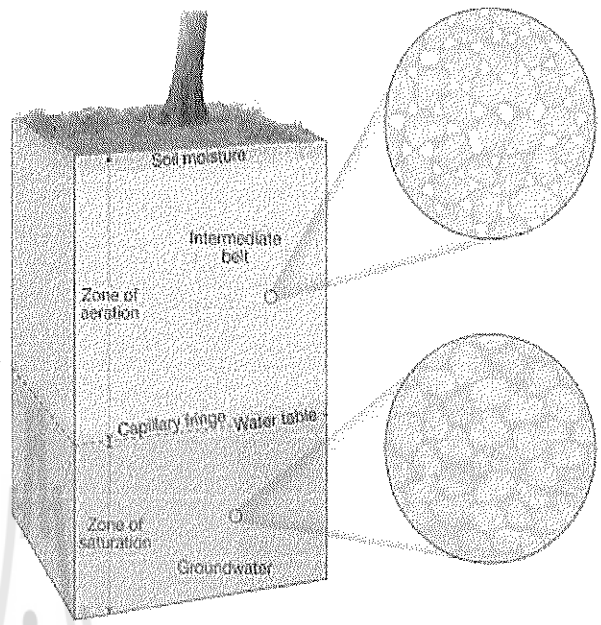
สรุปหัวข้อ 1 และ 2...

There are 2 zones:

I. Zone of Aeration or Vadose Zone
(เขตอิ่มอากาศ)

Capillary Fringe

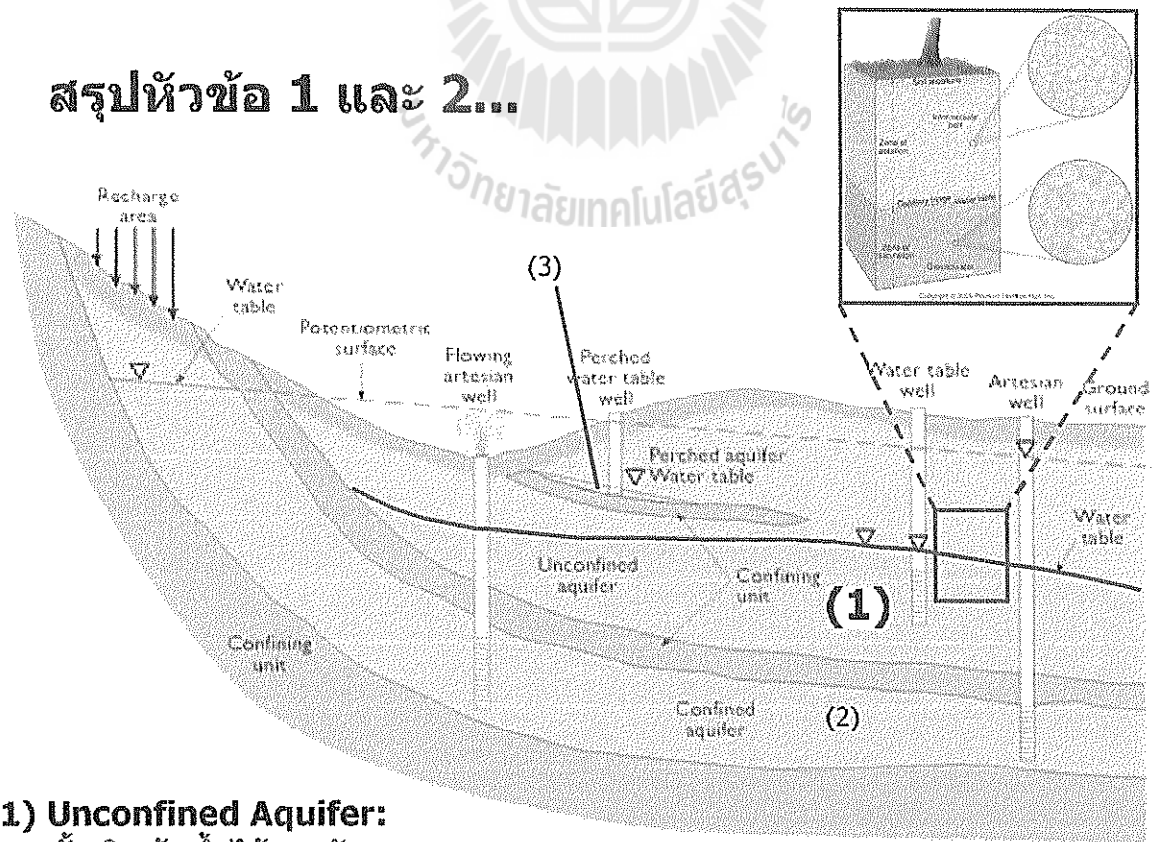
II. Zone of Saturation or Phreatic Zone
(เขตอิ่มน้ำ)



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

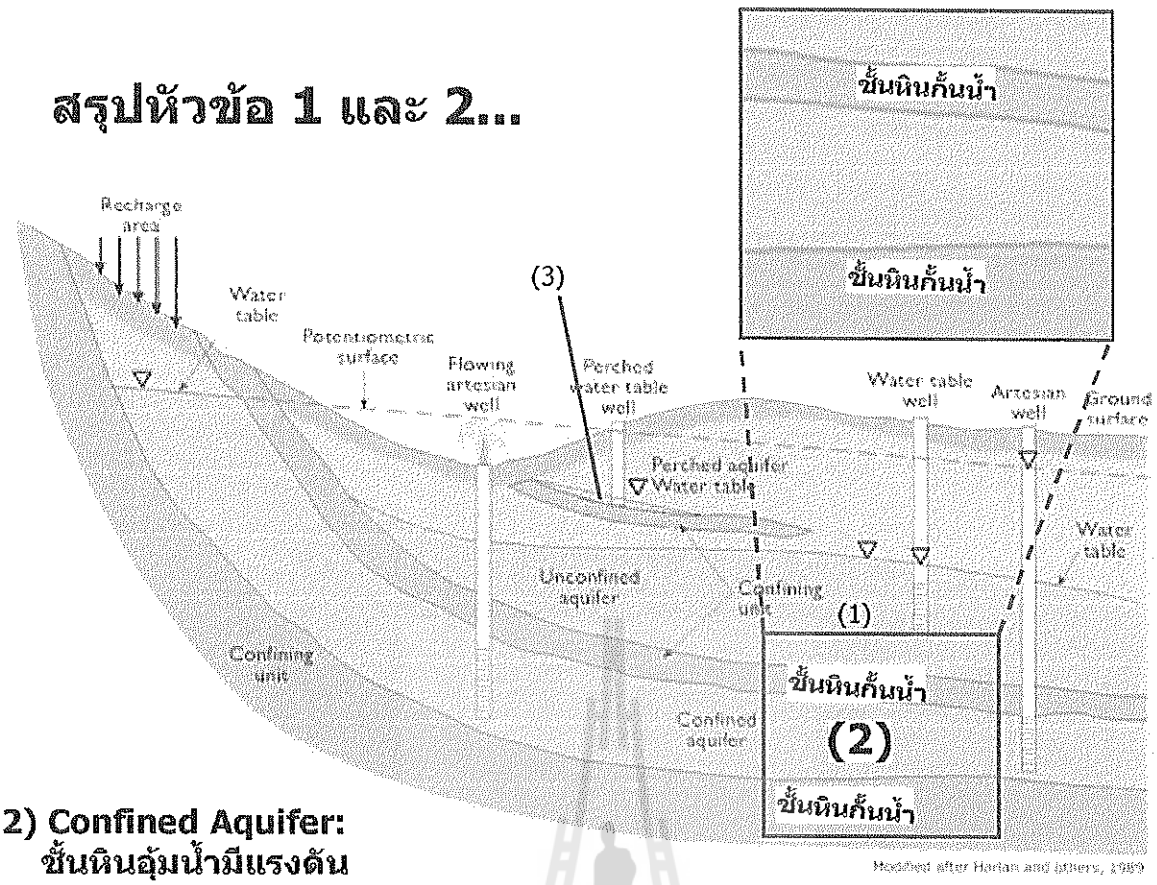
สรุปหัวข้อ 1 และ 2...



Modified after Heath and others, 1982

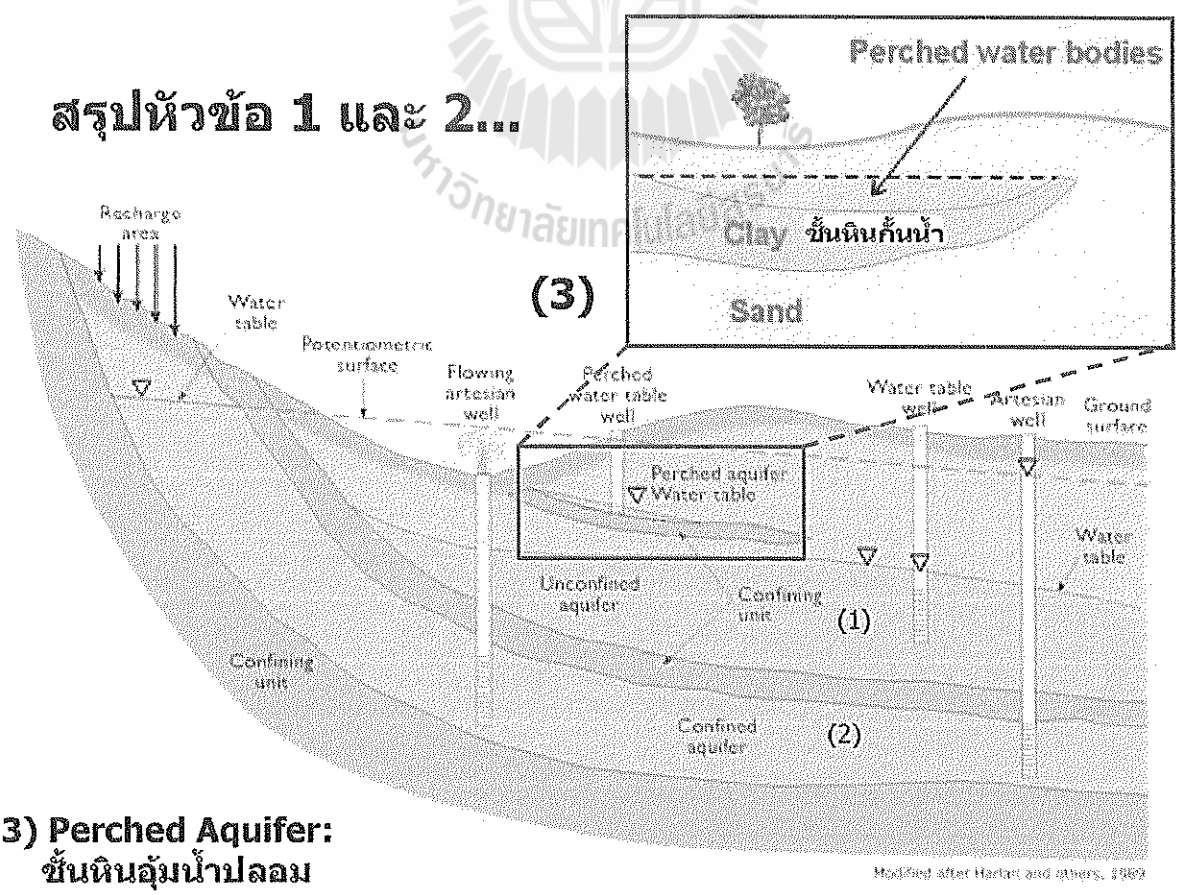
1) Unconfined Aquifer:
ชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน

สรุปหัวข้อ 1 และ 2...



2) Confined Aquifer:
ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน

สรุปหัวข้อ 1 และ 2...



3) Perched Aquifer:
ชั้นหินอุ้มน้ำปลอม

3) ความเร็วในการไหลของน้ำใต้ดิน และ Darcy's Law

การไหลของน้ำบาดาล (Groundwater Flow)

น้ำบาดาลจะเคลื่อนที่ไปตามช่องว่าง (ปฐมภูมิหรือช่องว่างทุติยภูมิ) ของหินด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันขึ้น "คุณสมบัติของน้ำและตัวกลาง" และ "หลักการทางชลศาสตร์"

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของน้ำบาดาล

- แรงโน้มถ่วงของโลก (Accretion gravity)
- ความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head)
- แรงต้านที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้ำกับผิวของเม็ดตะกอน (Molecular attraction)

อัตราการไหลของน้ำบาดาล

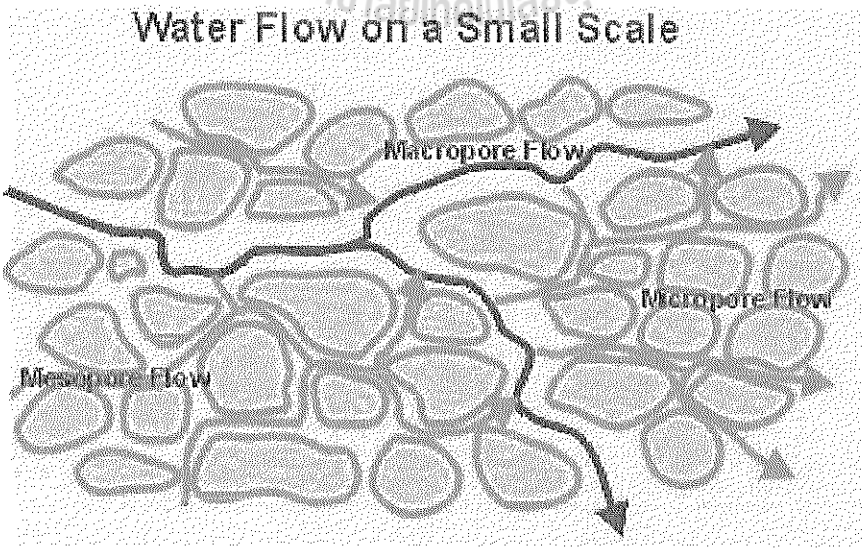
<u>คุณสมบัติของกลาง</u>

- ❑ คุณสมบัติของไหล (น้ำ)
  - ✓ ความหนืด (Viscosity) – Dynamic viscosity
  - ✓ ความหนาแน่นของน้ำ (Density)
- ❑ คุณสมบัติของตัวกลาง (Porous medium) - ชั้นน้ำบาดาล
  - ✓ ความพรุน (Porosity) และความต่อเนื่องของความพรุน
  - ✓ ค่าความซึมผ่านได้ (Intrinsic permeability)

<u>หลักการทางชลศาสตร์</u>

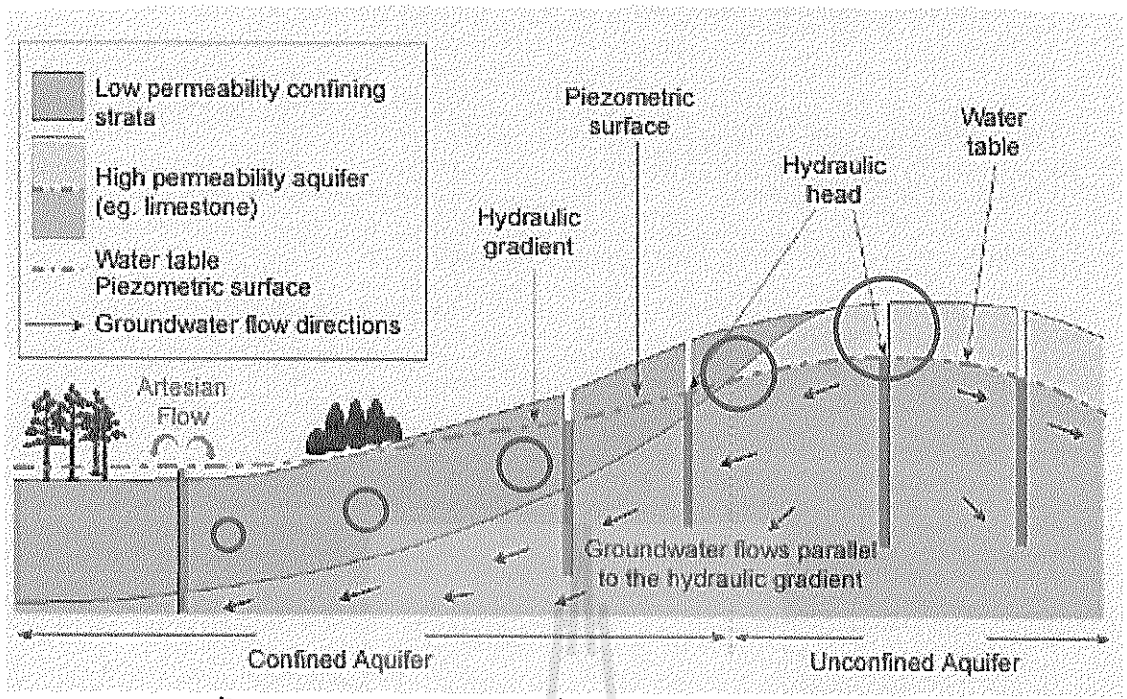
- ❑ ความดันชลศาสตร์รวม (Total head)
  - ✓ ความดันเนื่องจากตำแหน่งหรือความสูง (Elevation head)
  - ✓ ความดันเนื่องจากน้ำหนักของน้ำ (Pressure head)

การไหลของน้ำบาดาล (Groundwater Flow)



คุณสมบัติของตัวกลาง (Porous medium) ต่ออัตราการไหลของน้ำใต้ดิน

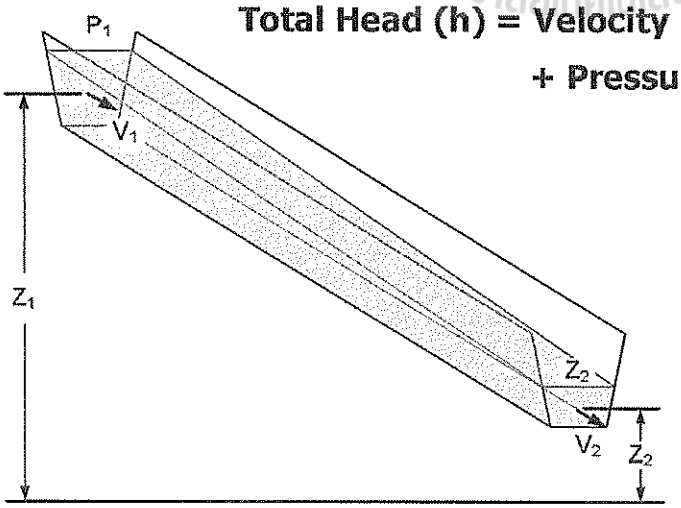
ความดันชลศาสตร์ – Hydraulic Head



น้ำจะไหลจากตำแหน่งที่มี "ความดันชลศาสตร์สูง"

ไปยังตำแหน่งที่มีความ "ดันชลศาสตร์ต่ำ"

ความดันชลศาสตร์ตามสมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)



Total Head (h) = Velocity Head + Elevation Head (z)

+ Pressure Head (h_p)

$$h = \frac{V^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}$$

h = ความดันชลศาสตร์รวม

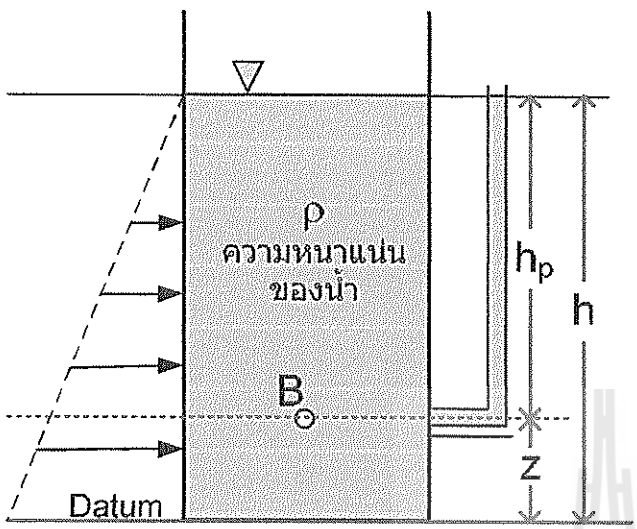
z = ความดันเนื่องจากความสูง

P = ความดันเนื่องจากน้ำหนักของน้ำที่กดทับ

***สำหรับชั้นน้ำใต้ดินความเร็วของการไหลมีค่าน้อยมาก

→ ซึ่งอาจไม่ต้องพิจารณาก็ได้ สมมุติให้เท่ากับ 0***

ความดันชลศาสตร์ - Hydraulic Head



Elevation Head (z)

Z – ความสูงของตำแหน่ง B จากจุดอ้างอิง

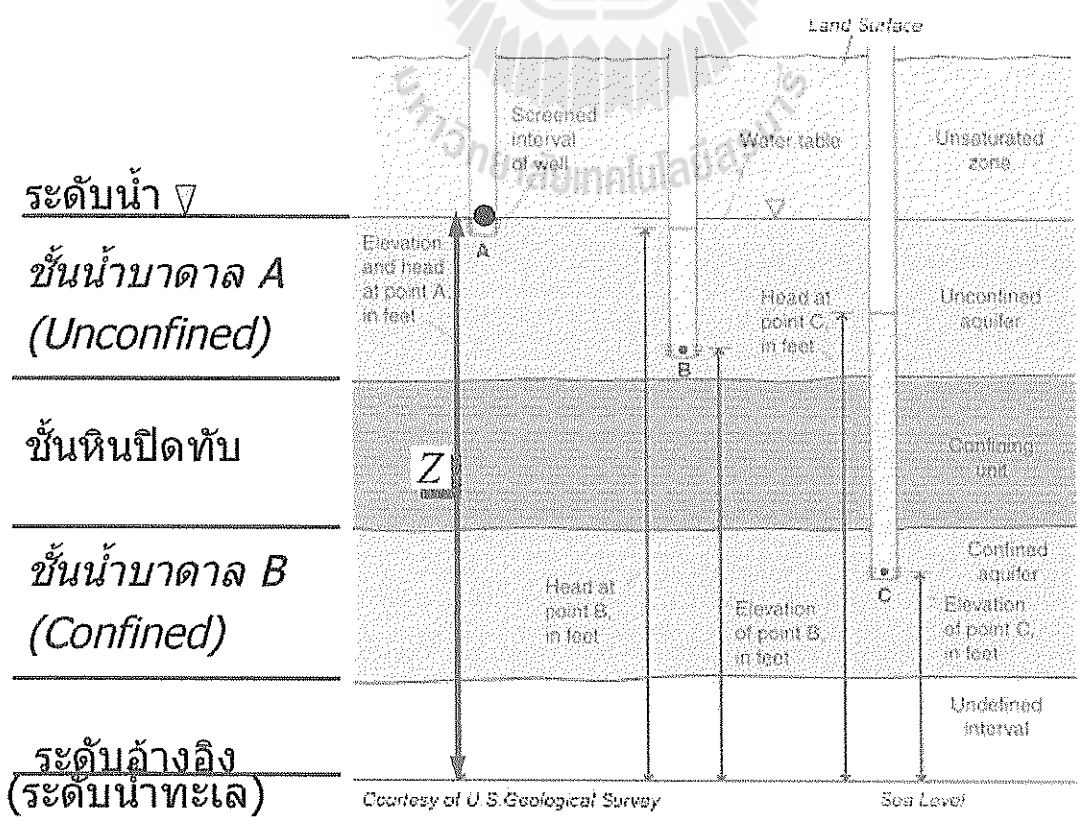
Pressure Head (h_p)

$$P = \rho \times g \times h_p$$

$$h_p = \frac{P}{\rho \times g}$$

Total Head (h)

$$h = z + h_p = z + \frac{P}{\rho \times g}$$



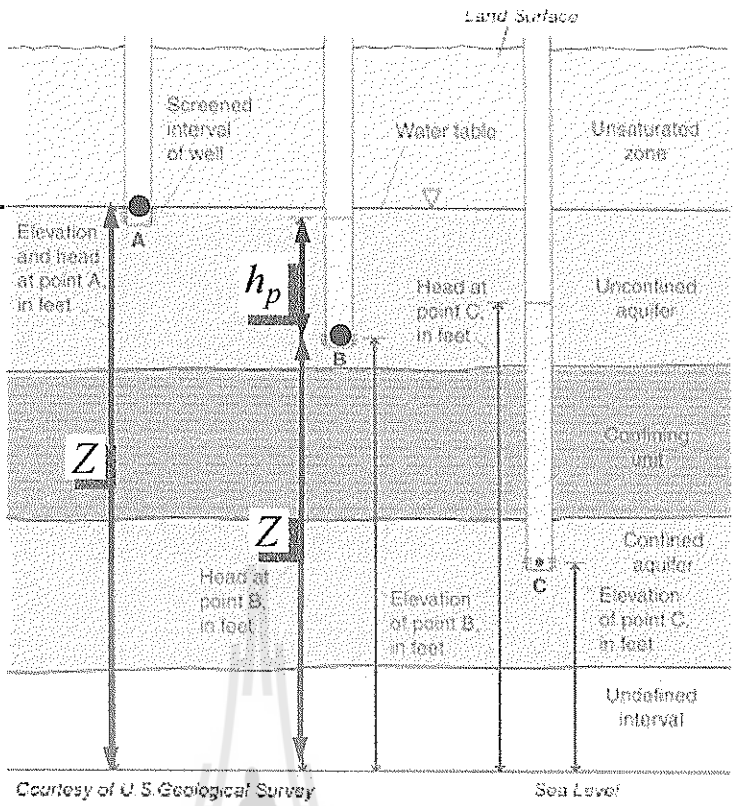
ระดับน้ำ ▽

ชั้นน้ำบาดาล A (Unconfined)

ชั้นหินปิดทับ

ชั้นน้ำบาดาล B (Confined)

ระดับอ้างอิง (ระดับน้ำทะเล)



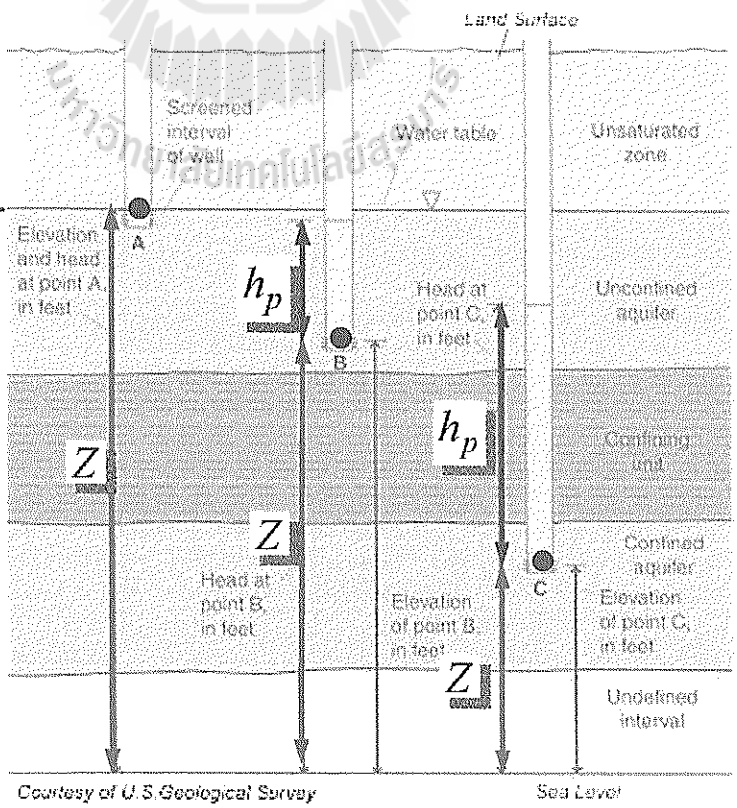
ระดับน้ำ ▽

ชั้นน้ำบาดาล A (Unconfined)

ชั้นหินปิดทับ

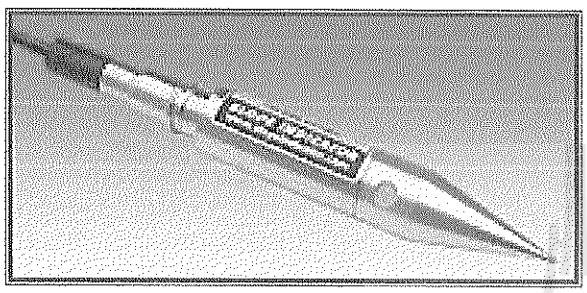
ชั้นน้ำบาดาล B (Confined)

ระดับอ้างอิง (ระดับน้ำทะเล)

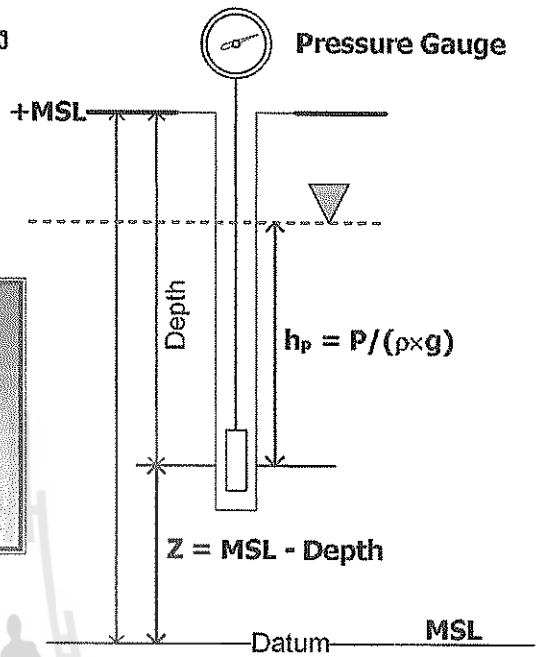


การวัดความดันชลศาสตร์

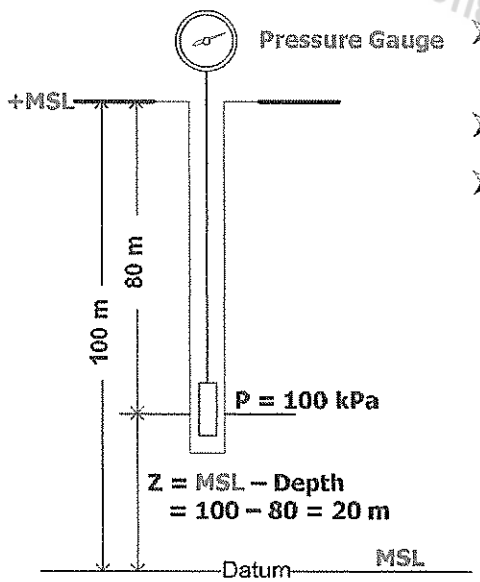
การวัดความดันชลศาสตร์ ณ ตำแหน่งใดๆ ในชั้นหินอุ้มน้ำจะกระทำได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า "เพียซโซมิเตอร์ (Piezometer)"



"เพียซโซมิเตอร์ (Piezometer)"



การวัดความดันชลศาสตร์

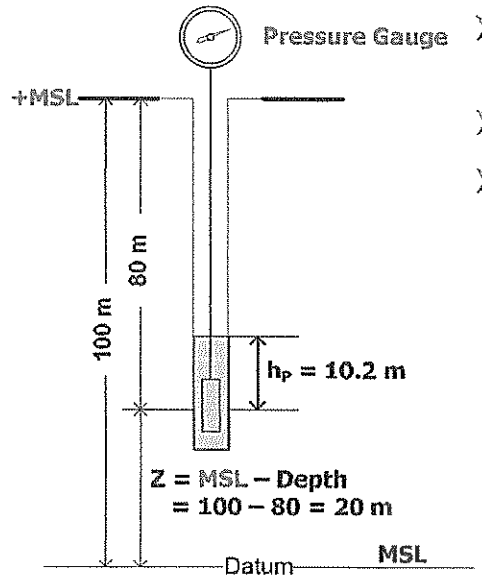


- ตำแหน่งผิวดินที่ตรวจวัดอยู่ที่ระดับ 100 m จากระดับน้ำทะเล
- Piezometer ติดตั้งที่ระดับลึกจากผิวดิน 80 m
- อ่านค่าแรงดัน (P) ได้ 100 kPa

$$h_p = \frac{P}{\rho g} = \frac{100 \times 10^3 \frac{N}{m^2}}{1{,}000 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_p = \frac{100 \times 10^3 \frac{N}{m^2}}{9{,}810 \frac{N}{m^3}} = 10.2 \ m$$

การวัดความดันชลศาสตร์

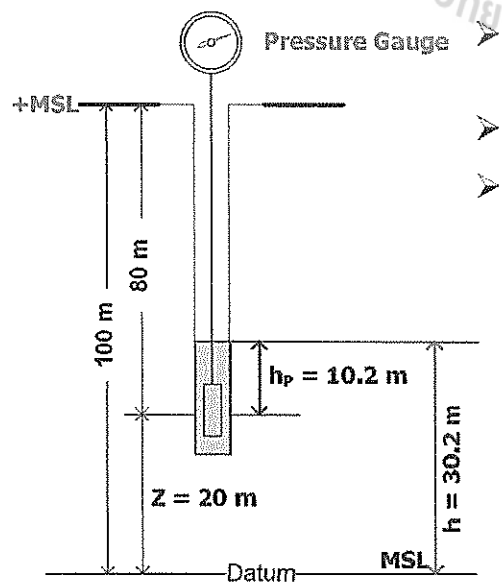


- ตำแหน่งผิวดินที่ตรวจวัดอยู่ที่ระดับ 100 m จากระดับน้ำทะเล
- Piezometer ติดตั้งที่ระดับลึกจากผิวดิน 80 m
- อ่านค่าแรงดัน (P) ได้ 100 kPa

$$h_p = \frac{P}{\rho g} = \frac{100 \times 10^3 \frac{N}{m^2}}{1{,}000 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_p = \frac{100 \times 10^3 \frac{N}{m^2}}{9{,}810 \frac{N}{m^3}} = 10.2 \quad m$$

การวัดความดันชลศาสตร์



- ตำแหน่งผิวดินที่ตรวจวัดอยู่ที่ระดับ 100 m จากระดับน้ำทะเล
- Piezometer ติดตั้งที่ระดับลึกจากผิวดิน 80 m
- อ่านค่าแรงดัน (P) ได้ 100 kPa

$$Total \quad Head(h)$$

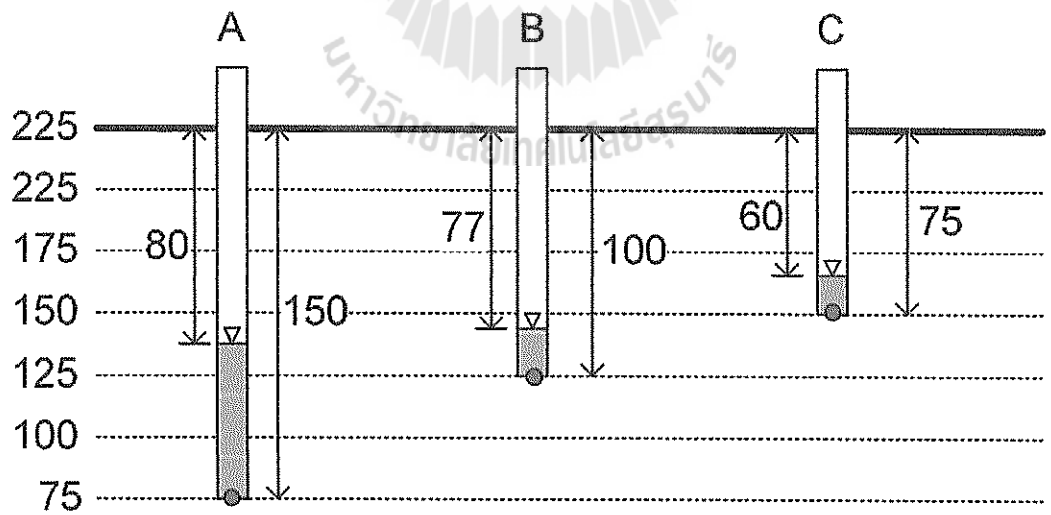
$$h = z + h_p = 20 + 10.2 = 30.2 \quad m$$

ตัวอย่าง : ข้อมูลต่อไปนี้ได้จากกลุ่มของเพียซโซมีเตอร์ (A, B, C) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพียซโซมีเตอร์แต่ละตัวอยู่ห่างกันประมาณ 1-2 เมตร

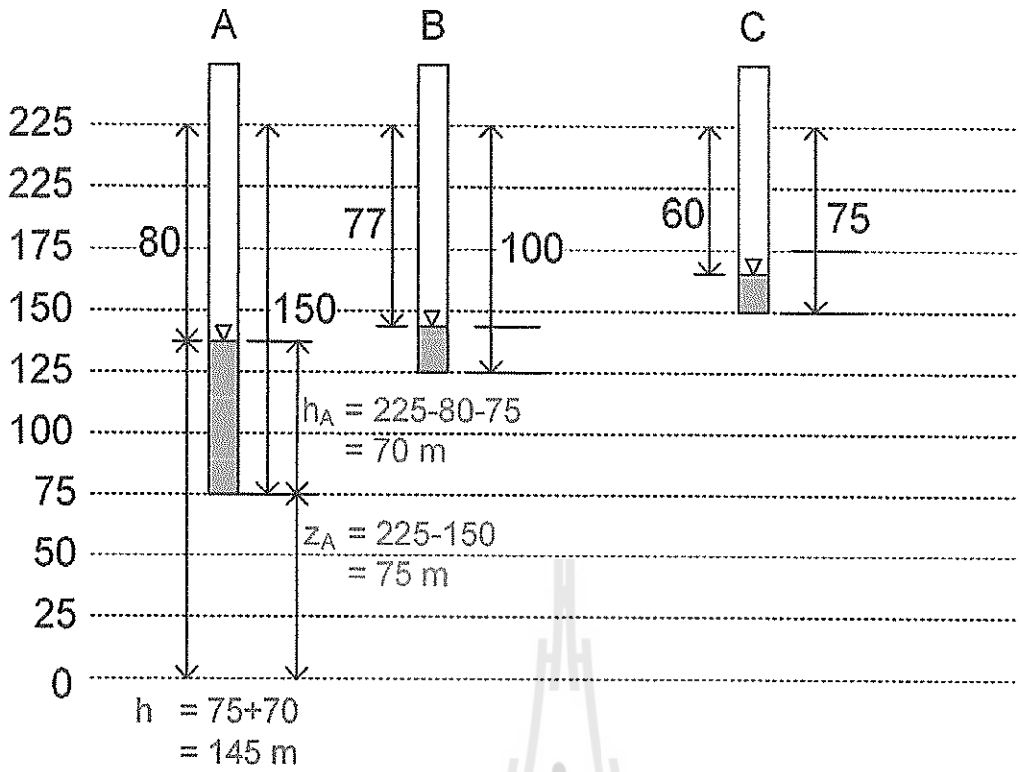
	A	B	C
ระดับผิวดิน (Surface elevation) (เมตร)	225	225	225
ระดับความลึกของเพียซโซมีเตอร์ (Depth of piezometer) (เมตร)	150	100	75
ระดับความลึกของระดับน้ำ(Depth to water)(เมตร)	80	77	60

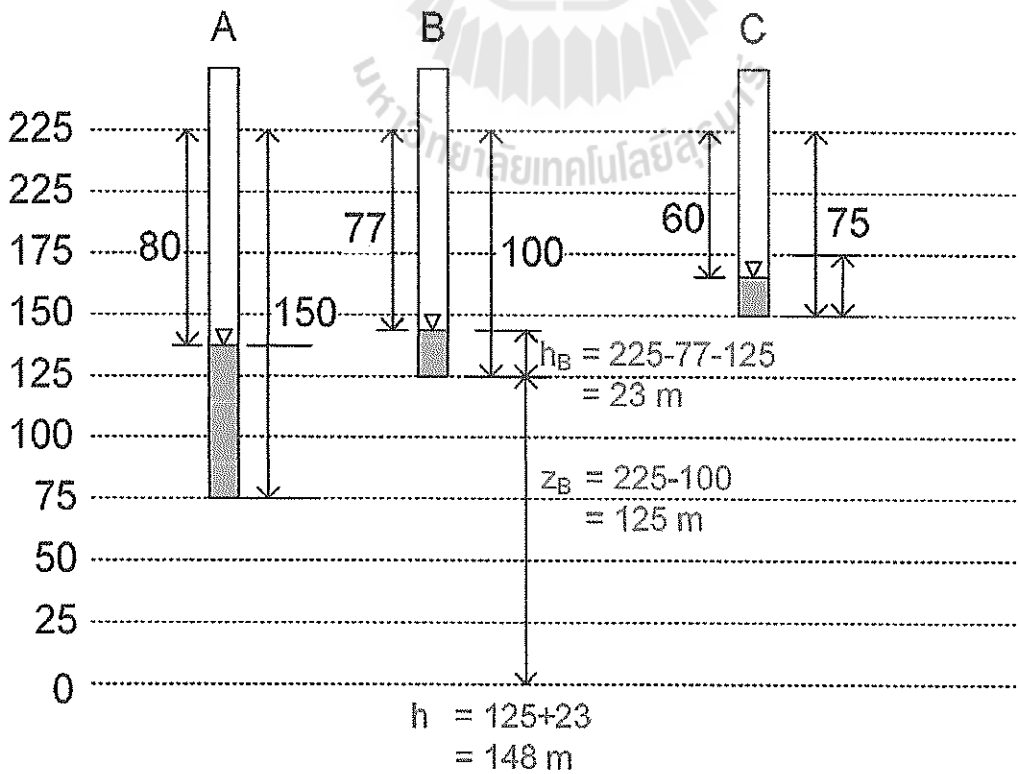
จงหาความดันชลศาสตร์ต่อไปนี้และแสดงทิศทางการไหลของน้ำ

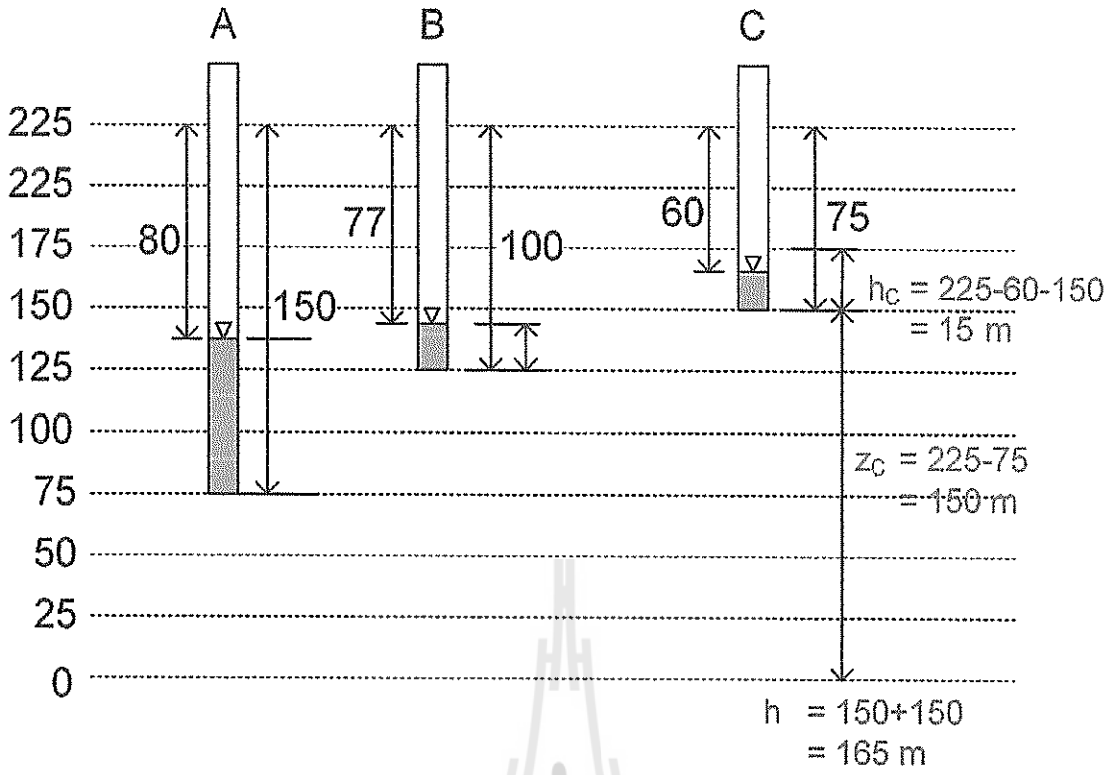
- ❑ total head (h)
- ❑ pressure head (h_p)
- ❑ elevation head (z)

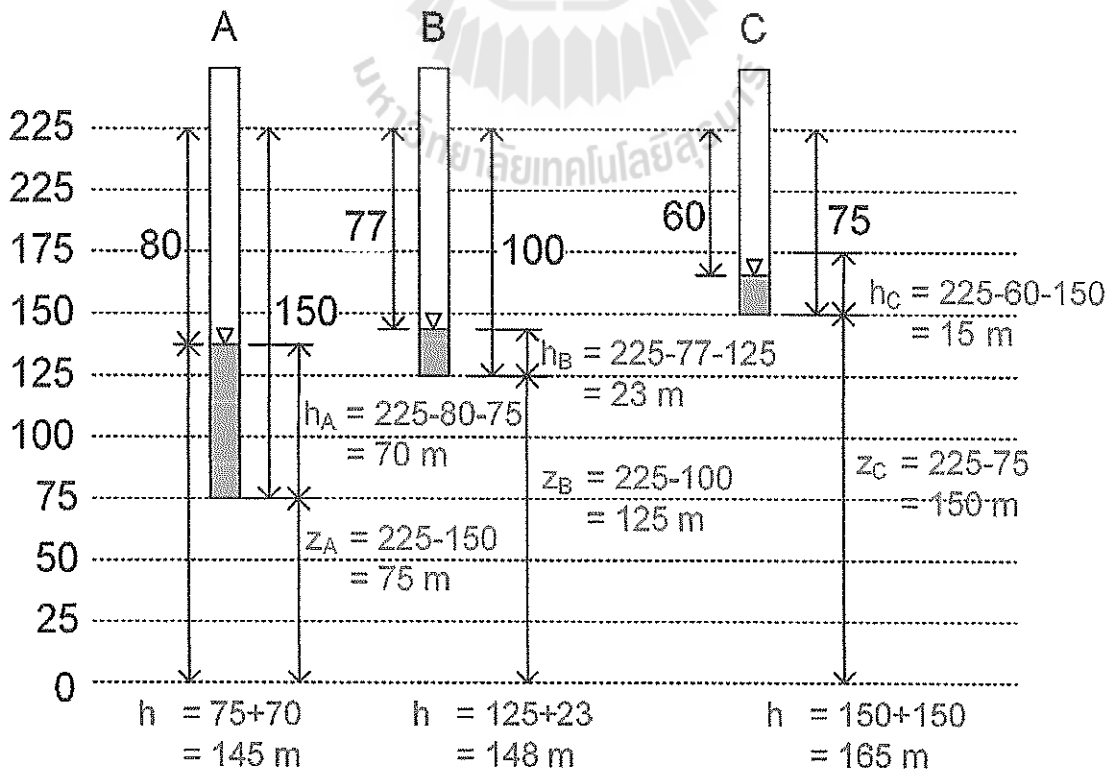


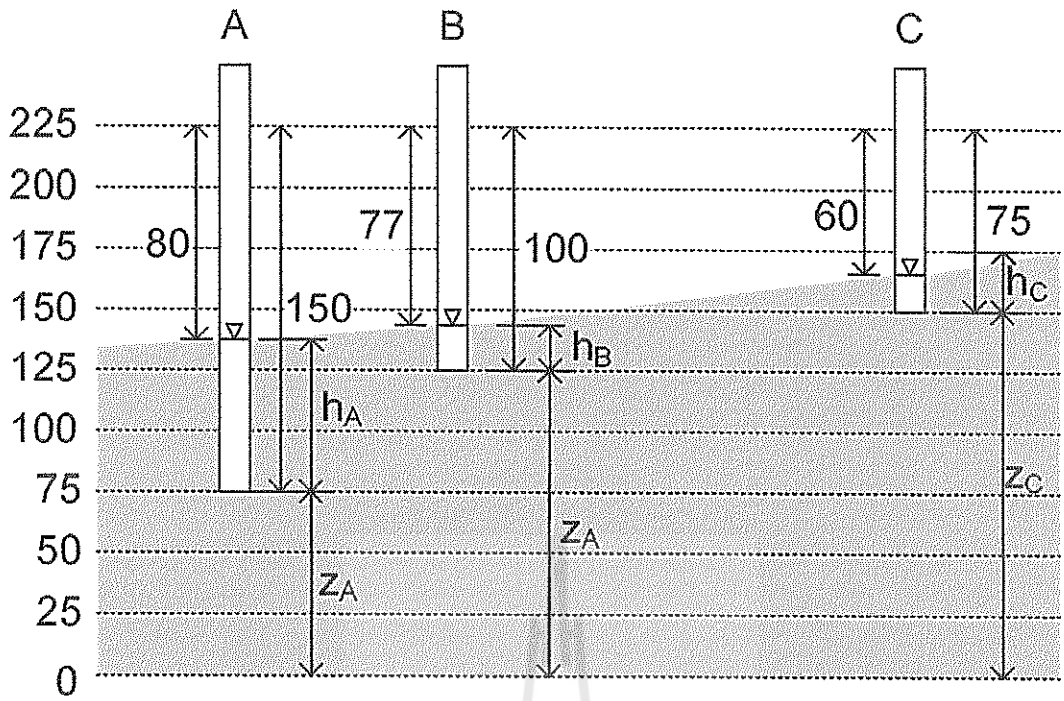
	A	B	C
ระดับผิวดิน (Surface elevation) (เมตร)	225	225	225
ระดับความลึกของเพียซโซมีเตอร์ (Depth of piezometer) (เมตร)	150	100	75
ระดับความลึกของระดับน้ำ(Depth to water)(เมตร)	80	77	60

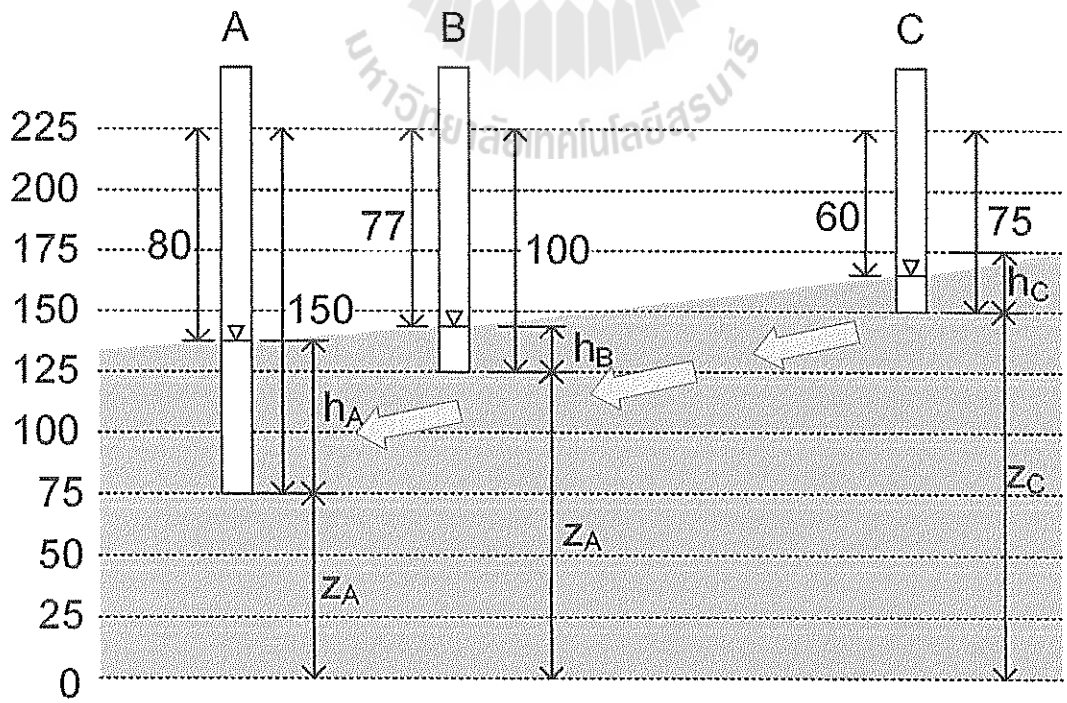

A
B
C
225
225
175
150
125
100
75
50
25
0
80
150
77
100
60
75
h_A = 225-80-75
= 70 m
z_A = 225-150
= 75 m
h = 75+70
= 145 m


A
B
C
225
225
175
150
125
100
75
50
25
0
80
150
77
100
60
75
h_B = 225-77-125
= 23 m
z_B = 225-100
= 125 m
h = 125+23
= 148 m

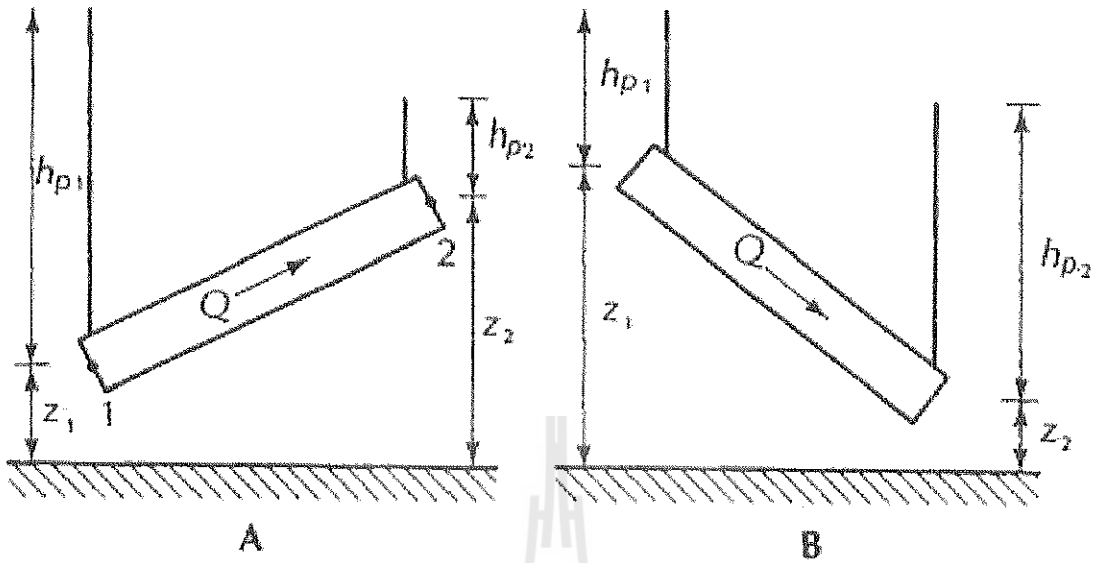

A
B
C
225
225
175
150
125
100
75
50
25
0
80
150
77
100
60
75
h_C = 225-60-150
= 15 m
z_C = 225-75
= 150 m
h = 150+150
= 165 m


A
B
C
225
225
175
150
125
100
75
50
25
0
80
150
77
100
60
75
h_C = 225-60-150
= 15 m
h_B = 225-77-125
= 23 m
h_A = 225-80-75
= 70 m
z_B = 225-100
= 125 m
z_C = 225-75
= 150 m
z_A = 225-150
= 75 m
h = 75+70
= 145 m
h = 125+23
= 148 m
h = 150+150
= 165 m


A
B
C
225
200
175
150
125
100
75
50
25
0
80
77
100
60
75
150
h_A
h_B
h_C
z_A
z_A
z_C


A
B
C
225
200
175
150
125
100
75
50
25
0
80
77
100
60
75
150
h_A
h_B
h_C
z_A
z_A
z_C

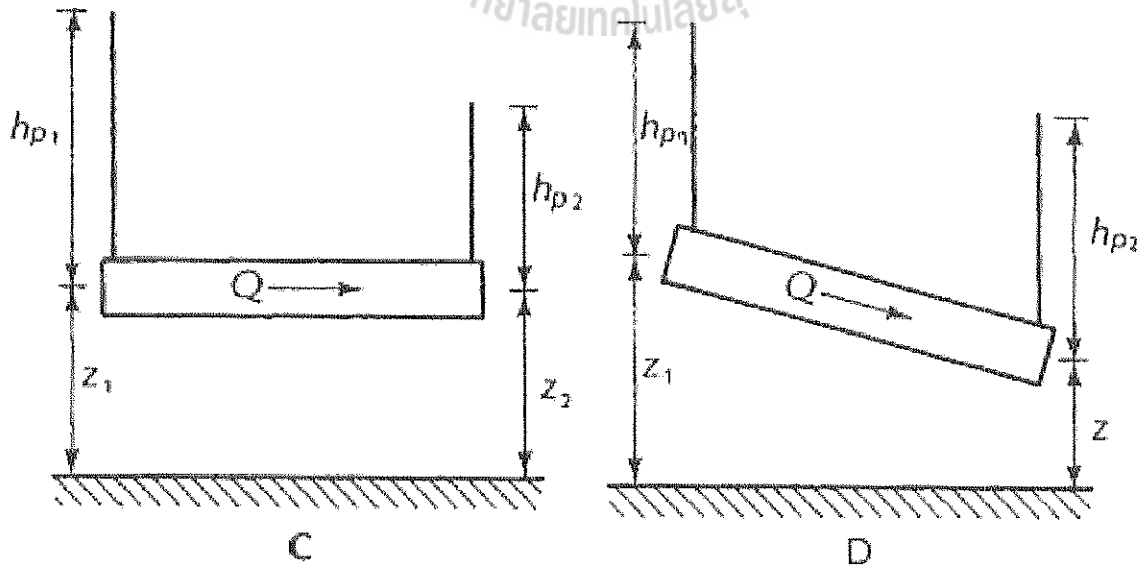
Hydraulic Head (ความดันชลศาสตร์)



น้ำจะไหลจากจุดที่มีความดันชลศาสตร์สูงไปยังจุดที่มีความดันชลศาสตร์ต่ำ

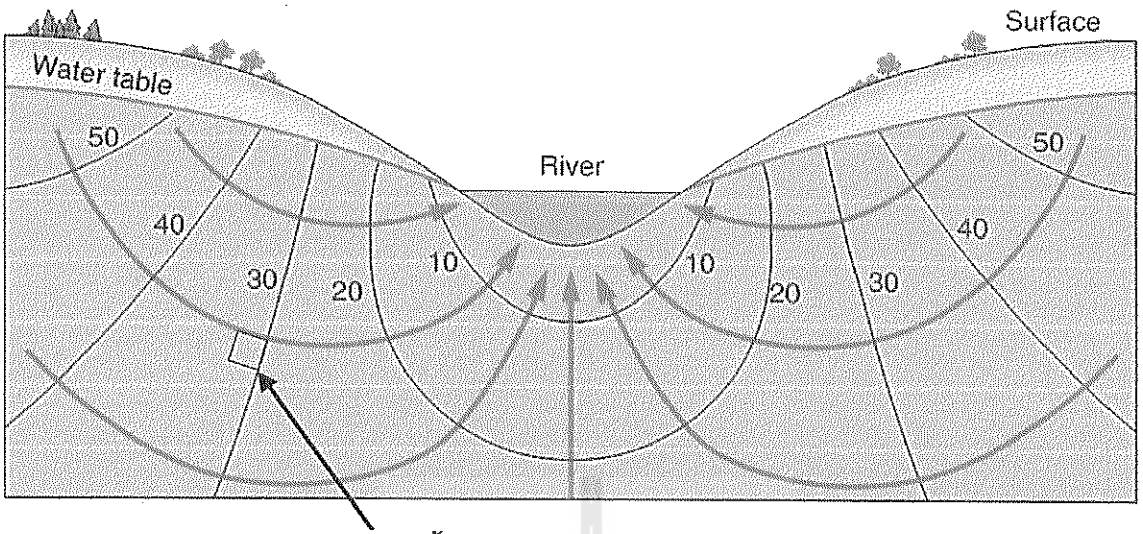
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Hydraulic Head (ความดันชลศาสตร์)



น้ำจะไหลจากจุดที่มีความดันชลศาสตร์สูงไปยังจุดที่มีความดันชลศาสตร์ต่ำ

ทิศการไหลของน้ำใต้ดิน



ทุกตำแหน่งบนเส้นนี้จะมีความดันชลศาสตร์เท่ากัน

และทิศทางการไหลจะตั้งฉากกับเส้นที่มีความดันชลศาสตร์เท่ากัน

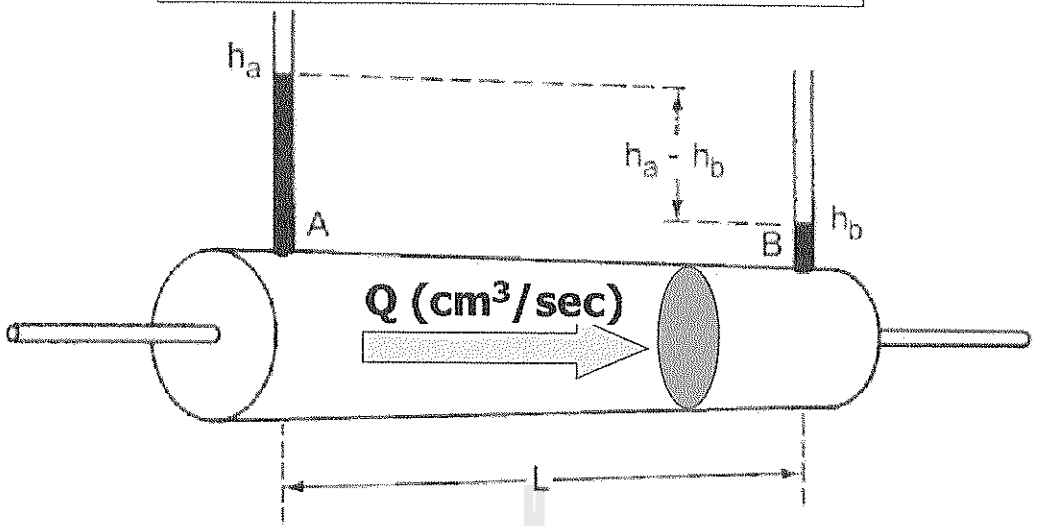
Darcy's Law

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

"อธิบายพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านวัสดุพรุน"

- พัฒนาโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสชื่อ **Henry Darcy** (ในปี 1956)
- ศึกษาการไหลผ่านวัสดุที่มีรูพรุน (Porous media) นั่นคือ ชั้นทราย
- **อัตราการไหล (Q)** ผ่านวัสดุพรุนแปรผันตรงกับการสูญเสียของความดันชลศาสตร์ (Head loss) และแปรผลผันกับระยะทางหรือความยาวที่น้ำไหลผ่าน (L)
- ปริมาณการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity, K) ของวัสดุนั้น

$$Q \propto h_a - h_b \quad \text{และ} \quad Q \propto \frac{1}{L}$$



K – Hydraulic conductivity (cm/s)

Head Loss (Δh) = h_A-h_B

Hydraulic gradient (i) = [h_A-h_B]/L

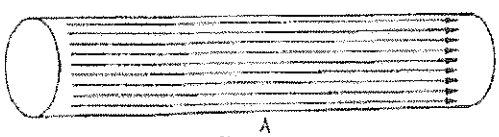
นิยามของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

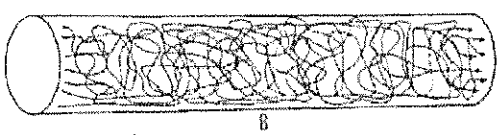
นิยามเบื้องต้น

- วัสดุพรุนต้อง Homogeneous และอิ่มตัวด้วยน้ำ (S = 1)
- การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar Flow) (จำแนกด้วยค่า Reynolds's Number)
- Reynolds's number (Re)

$$Re = \frac{d \times V \times \rho}{\mu}$$



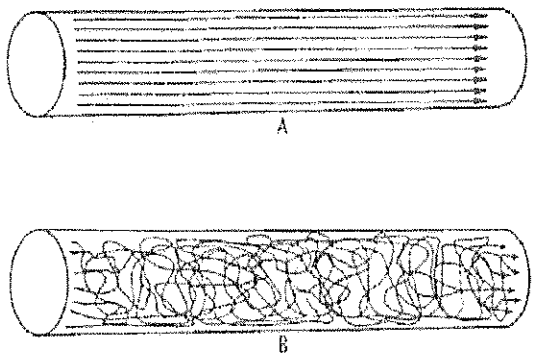
Laminar flow: 1< Re < 10



Turbulent flow: Re > 10

Reynolds Number (Re)

$$Re = \frac{d \times v \times \rho}{\mu}$$



ρ – ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

v – ความเร็วของการไหล (m/s)

d – เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่างที่ของเหลวไหลผ่าน (m)

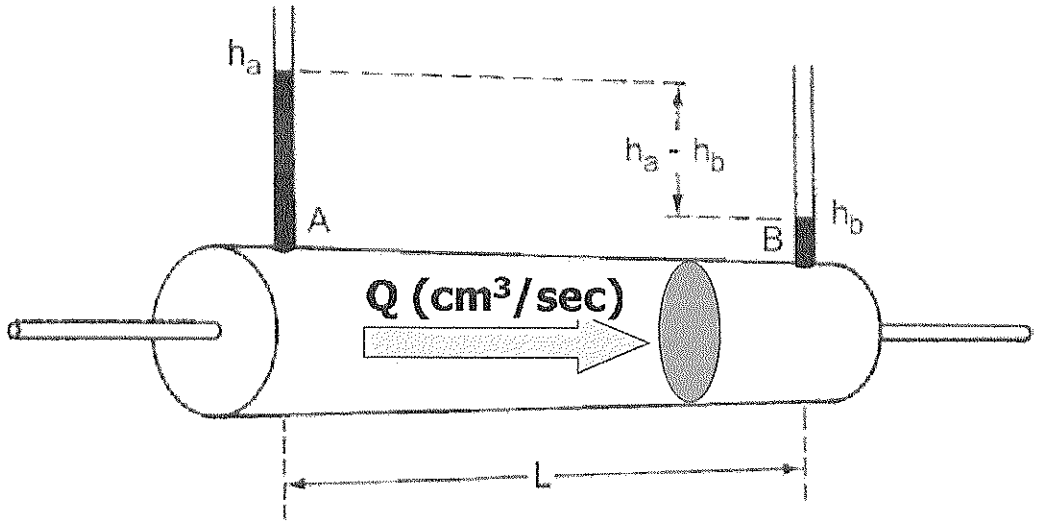
μ – ความหนืดของของเหลว (kg/s.m หรือ N·s/m^2)

Dynamic Viscosity ไม่ใช่ Static Viscosity

Viscosity ของน้ำ

Temperature (T) (°C)	Dynamic Viscosity (μ) (N·s/m^2) x 10^{-3}	Kinematics Viscosity (ν) (m^2/s) x 10^{-6}
0	1.787	1.787
5	1.519	1.519
10	1.307	1.307
20	1.002	1.004
30	0.798	0.801
40	0.653	0.658
50	0.547	0.553
60	0.467	0.475
70	0.404	0.413
80	0.355	0.365
90	0.315	0.326
100	0.282	0.294

1 N.sec/m^2 = 1 kg/sec.m



$$Q = -KA\left(\frac{h_A - h_B}{L}\right)$$

K – Hydraulic conductivity (cm/s)

Head Loss, $\Delta h = h_A - h_B$

Hydraulic gradient, $i = [h_A - h_B]/L$

Darcy's Law

$$Q = -KA\left(\frac{h_A - h_B}{L}\right) \Rightarrow \frac{Q}{A} = -K\left(\frac{h_A - h_B}{L}\right)$$

$$Q = -KA\left(\frac{\Delta h}{L}\right) \Rightarrow \frac{Q}{A} = -K\left(\frac{\Delta h}{L}\right) \Rightarrow v = -K \cdot i$$

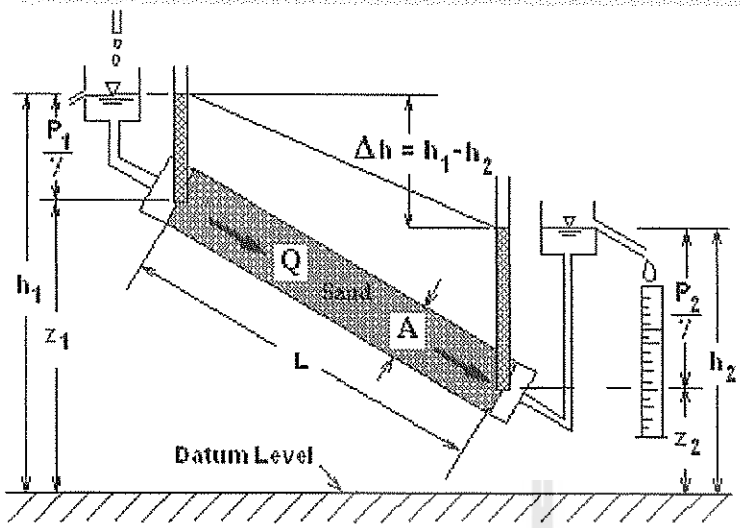
$$v = -K \cdot i \Rightarrow K = \frac{-v}{i}$$

V – ความเร็วในการไหล (หน่วย L/t)

K – ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic Conductivity)

i – Hydraulic Gradient = $[h_A - h_B]/L$

กฎของดาร์ซี่สำหรับหาค่าความซึมผ่าน (K)



$$h = \frac{P}{\gamma_w} + z$$

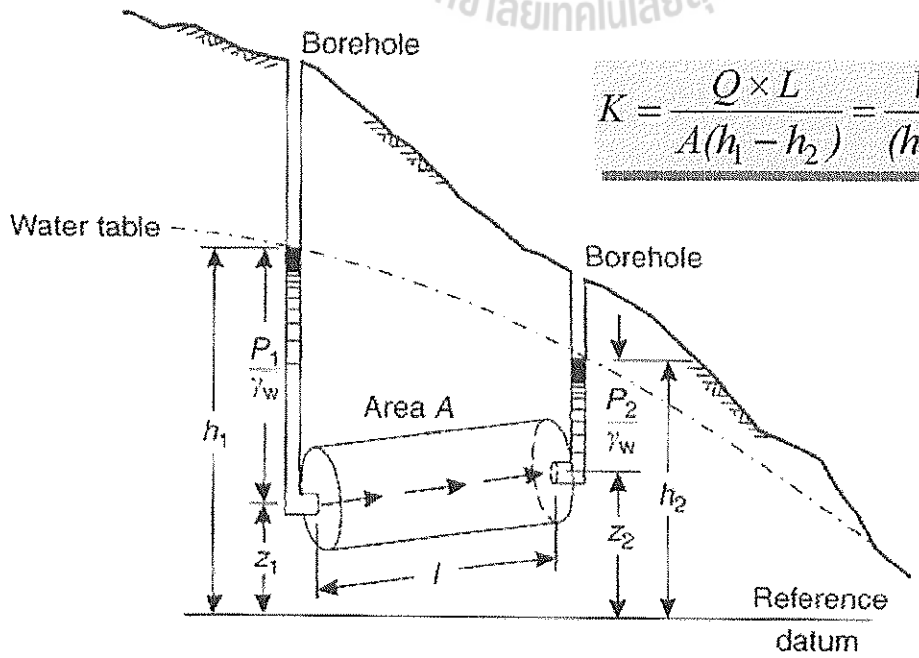
$$h_1 = \frac{P_1}{\gamma_w} + z_1$$

$$h_2 = \frac{P_2}{\gamma_w} + z_2$$

$$K = \frac{QL}{A(h_1 - h_2)} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{\left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right)} = \frac{V}{i}$$

การใช้กฎของดาร์ซี่ในภาคสนาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



$$K = \frac{Q \times L}{A(h_1 - h_2)} = \frac{V \times L}{(h_1 - h_2)}$$

Example 1:
A laminar flow of water in sandstone has a velocity (v) of 0.05 cm/sec under the hydraulic head (i) of 2. Calculate the hydraulic conductivity (K) of the sandstone (in the unit of m/sec).

Solution

→ จากโจทย์ทราบค่าความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านชั้นหินทราย
คือ v = 0.05 cm/sec

→ ค่าความต่างศักย์ทางชลศาสตร์ (i) = 2

$$v = -K \times i$$

→ จากกฎของดาร์ซีจะได้ว่า

K = v/i = [0.05 cm/sec]/2

= 0.025 cm/sec = 0.00025 m/sec Ans

Hydraulic Conductivity (K)

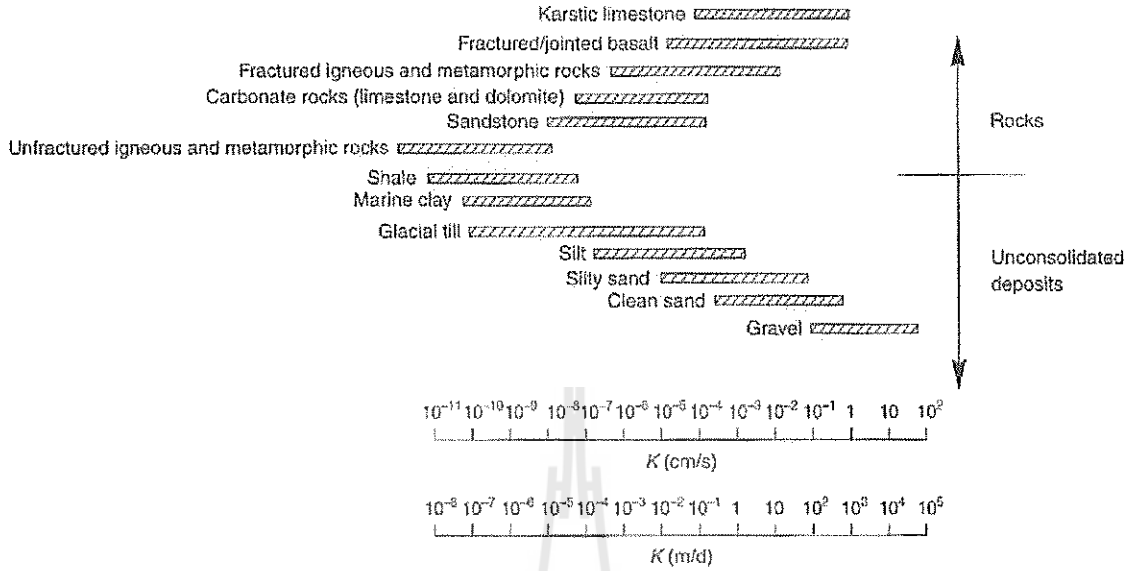
ค่าความซึมผ่าน (K) ขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้

- ❑ Soil grain size
- ❑ Structure of the soil matrix
  - ➢ pore size distribution
  - ➢ pore shape
  - ➢ porosity
- ❑ Type of soil fluid
  - ➢ fluid density
  - ➢ fluid viscosity
- ❑ Saturation

Texture	Saturated Hydraulic Conductivity, K (m/yr)
Sand	5.55×10^3
Loamy sand	4.93×10^3
Sandy loam	1.09×10^3
Silty loam	2.27×10^2
Loam	2.19×10^2
Sandy clay loam	1.99×10^2
Silty clay loam	5.36×10^1
Clay loam	7.73×10^1
Sandy clay	6.84×10^1
Silty clay	3.21×10^1
Clay	4.05×10^1

Source: Clapp and Hornberger (1978).

Hydraulic Conductivity (K)



การแปลงหน่วยค่าความซึมผ่าน

1	gal/day/ft^2	=	0.0408	m/day
1	gal/day/ft^2	=	0.134	ft/day
1	gal/day/ft^2	=	4.72×10^{-5}	cm/s
1	ft/day	=	0.305	m/day
1	ft/day	=	7.48	gal/day/ft^2
1	ft/day	=	3.53×10^{-4}	cm/s
1	cm/s	=	864	m/day
1	cm/s	=	2.835	ft/day
1	cm/s	=	21,200	gal/day/ft^2
1	m/day	=	24.5	gal/day/ft^2
1	m/day	=	3.28	ft/day
1	m/day	=	0.00116	cm/s

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Intrinsic Permeability (K_i หรือ k)

- ค่า Hydraulic conductivity (K) ขึ้นกับคุณสมบัติของเหลวที่ไหลผ่านเขียนใหม่ดังนี้

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad \Longleftrightarrow \quad Q = \frac{C \cdot d^2 \cdot \rho \cdot g}{\mu} \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

$$Q = \left(C \cdot d^2\right)\left(\frac{\rho \cdot g}{\mu}\right) \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

$$K = \left(C \cdot d^2\right)\left(\frac{\rho \cdot g}{\mu}\right) = K_i\left(\frac{\rho \cdot g}{\mu}\right)$$

K คือ Hydraulic conductivity (หน่วย cm/sec)

K_i หรือ k คือ Intrinsic Permeability (หน่วย cm^2)

หน่วยดาร์ซี่

- ในอุตสาหกรรมน้ำมันใช้ค่า Intrinsic Permeability หน่วย ดาร์ซี่ หรือ cm^2
- ค่า Intrinsic permeability (k หรือ K_i) จะคงที่สำหรับตัวอย่างหินตัวอย่างหนึ่งเสมอ
- ค่า Hydraulic conductivity (K) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของไหลที่ไหลผ่านตัวอย่างด้วย

1 darcy = 9.87×10^{-9} cm^2

$$K = K_i\left(\frac{\rho \cdot g}{\mu}\right) \quad \Longrightarrow \quad K_i = K\left(\frac{\mu}{\rho \cdot g}\right)$$

ที่มา	Hydraulic conductivity (K), m/d
Gravel, coarse	150
Gravel, medium	270
Gravel, fine	450
Sand, coarse	45
Sand, medium	12
Sand, fine	2.5
Silt	0.08
Clay	0.0002
Sandstone, fine-grained	0.2
Sandstone, medium-grained	3.1
Limestone	0.94
Dolomite	0.0001
Dune sand	20
Loess	0.08
Peat	5.7
Schist	0.2
Slate	0.00008
Till, mainly sand	0.49
Till, mainly graved	30
Tuff	0.2
Basalt	0.01
Gabbro, weathered	0.2
Granite, weathered	1.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปหัวข้อที่ 3

อัตราการไหลของน้ำผ่านวัสดุพรุนขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้

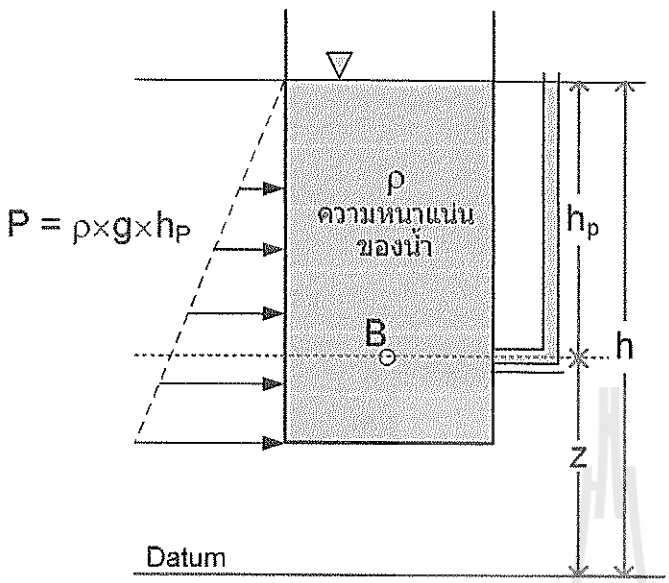
1) คุณสมบัติของกลาง

- คุณสมบัติของไหล (น้ำ)
  - *ความหนืด (Viscosity) – Dynamic viscosity*
  - *ความหนาแน่นของน้ำ (Density)*
- คุณสมบัติของตัวกลาง (Porous medium) - ชั้นน้ำบาดาล
  - *ความพรุน (Porosity) และความต่อเนื่องของความพรุน*
  - *ค่าความซึมผ่านได้ (Intrinsic permeability)*

2) หลักการทางชลศาสตร์

- ความดันชลศาสตร์รวม (Total head)
  - *ความดันเนื่องจากตำแหน่งหรือความสูง (Elevation head)*
  - *ความดันเนื่องจากน้ำหนักของน้ำ (Pressure head)*

สรุปหัวข้อที่ 3...



$$h = \frac{V^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}$$

Elevation Head (z)

Z – ความสูงของตำแหน่ง B จากจุดอ้างอิง

Pressure Head (h_p)

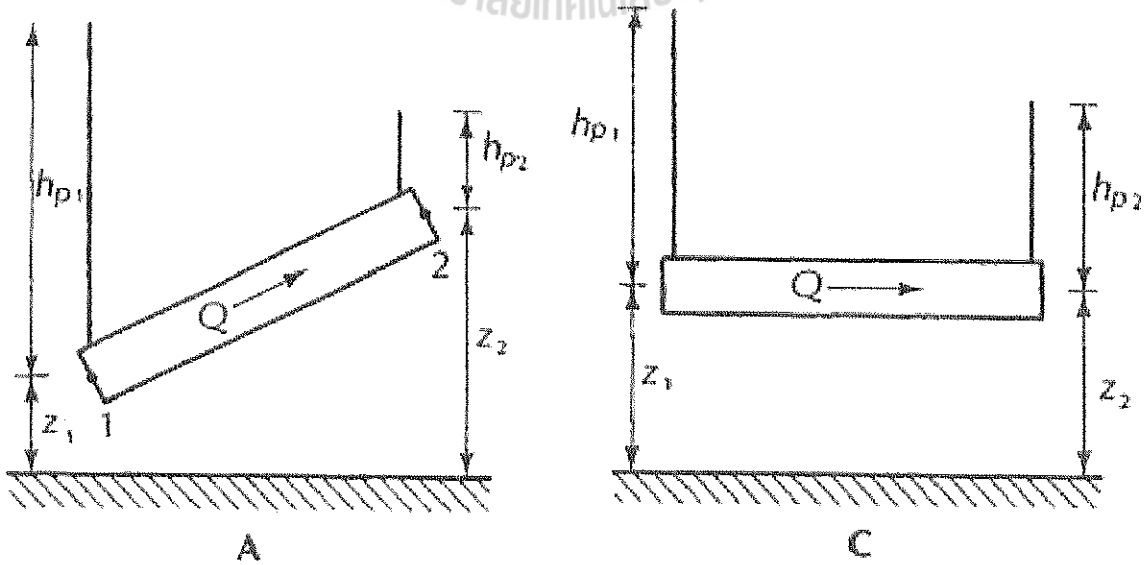
$$h_p = \frac{P}{\rho \times g}$$

Total Head (h)

$$h = z + h_p = z + \frac{P}{\rho \times g}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

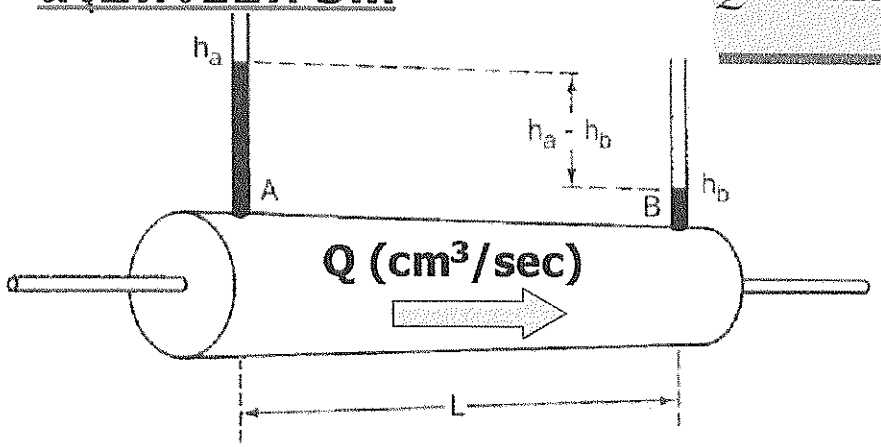
สรุปหัวข้อที่ 3...



น้ำจะไหลจากจุดที่มีความดันชลศาสตร์รวมสูงไปยังจุดที่มีความดันชลศาสตร์รวมต่ำ

สรุปหัวข้อที่ 3...

$$Q = -KA\left(\frac{h_A - h_B}{L}\right)$$



$$K = \frac{QL}{A(h_1 - h_2)} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{\left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right)} = \frac{V}{i}$$

$$K = \left(C \cdot d^2\right)\left(\frac{\rho \cdot g}{\mu}\right) = K_i\left(\frac{\rho \cdot g}{\mu}\right)$$

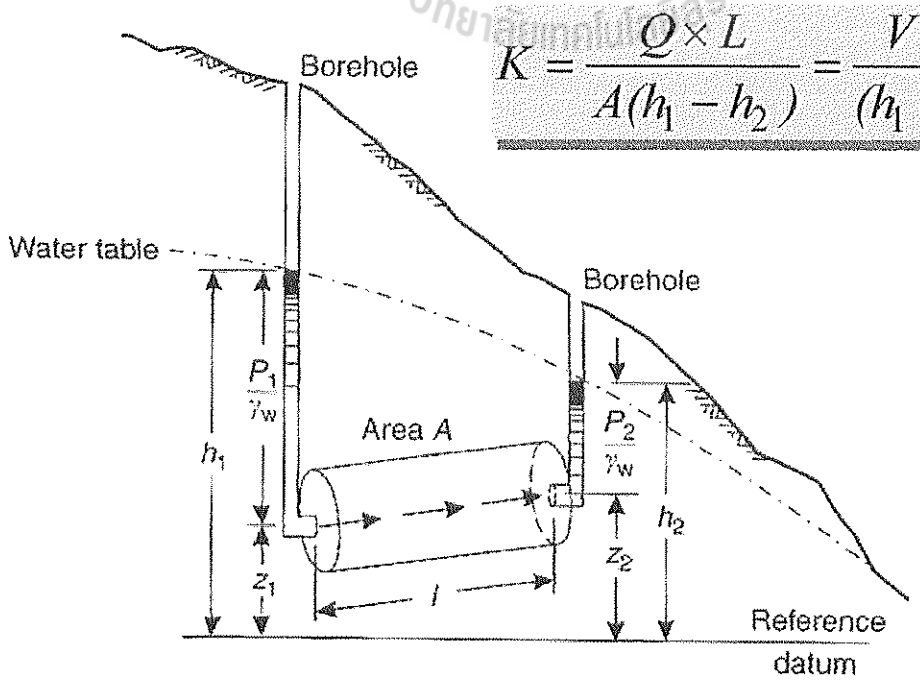
$$K_i = K\left(\frac{\mu}{\rho \cdot g}\right)$$

K คือ Hydraulic conductivity (หน่วย cm/sec)

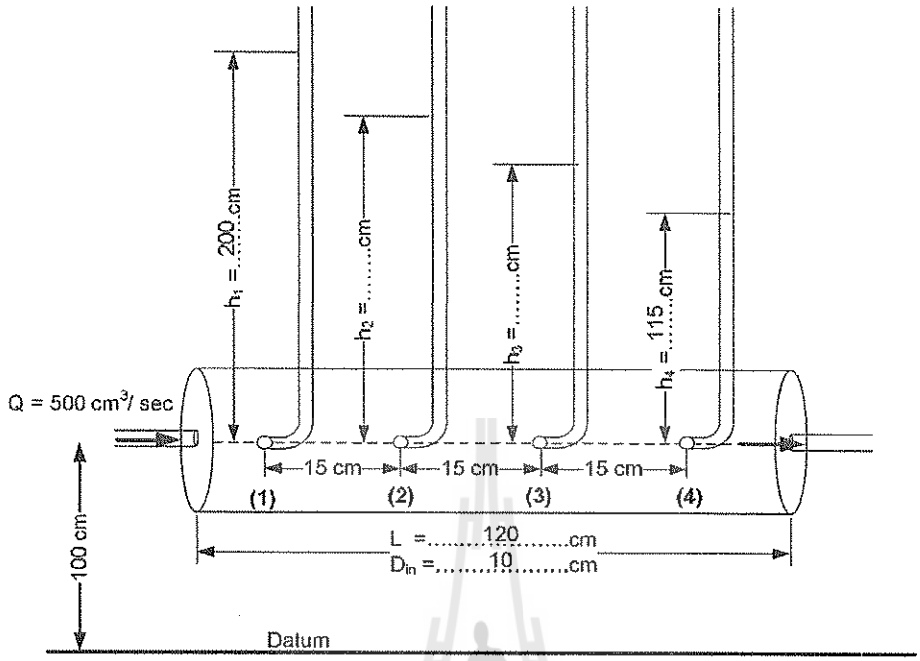
K_i หรือ k คือ Intrinsic Permeability (หน่วย cm^2)

สรุปหัวข้อที่ 3...

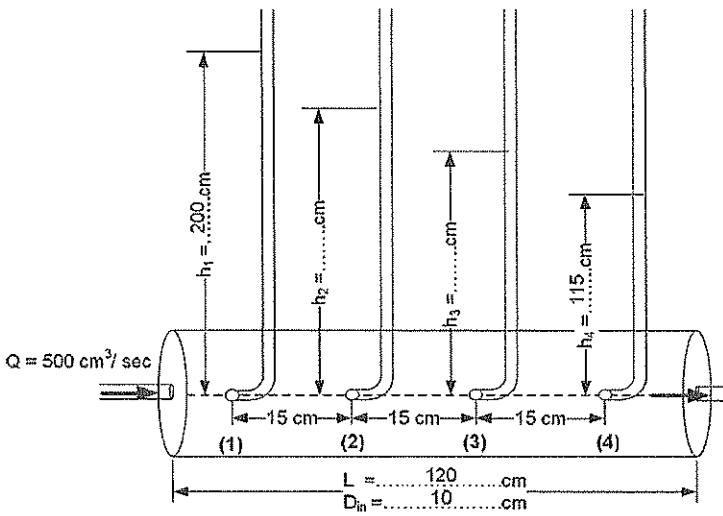
$$K = \frac{Q \times L}{A(h_1 - h_2)} = \frac{V \times L}{(h_1 - h_2)} = \frac{v}{i}$$



Example: Determine the hydraulic conductivity (K) and intrinsic permeability (K_i) if μ = 0.0002 N.sec/m^2, ρ = 1.0 g/cm^3 and g = 9.81 m/sec^2.



Example: Determine the hydraulic conductivity (K) and intrinsic permeability (K_i) if μ = 0.0002 N.sec/m^2, ρ = 1.0 g/cm^3 and g = 9.81 m/sec^2.



$$K = \frac{QL}{A(h_1 - h_2)} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{\left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right)} = \frac{V}{i}$$

(1)→(4)

Q = 500 cm^3/sec

$z_{(1)} = z_{(4)}$ = 100 cm

$A = \pi r^2 = \pi (5)^2 = 78.5$ cm^2

$L = L_{(1)} \rightarrow L_{(4)}$ = 15+15+15

= 45 cm

$h_{P(1)}$ = 200 cm

$h_{P(4)}$ = 115 cm

Example:

$$K = \frac{QL}{A(h_1 - h_2)} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{\left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right)} = \frac{V}{i}$$

(1)→(4)

Q = 500 cm^3/sec

A = $\pi r^2 = \pi (5)^2 = 78.5\ cm^2$

L = $L_{(1)} \rightarrow L_{(4)}$ = 15+15+15

= 45 cm

$z_{(1)} = z_{(4)}$ = 100 cm

$h_{P(1)}$ = 200 cm

$h_{P(4)}$ = 115 cm

$h_{(1)} = h_{P(1)} + z_{(1)}$ = 200 + 100 cm

= 300 cm

$h_{(4)} = h_{P(4)} + z_{(4)}$ = 115 + 100 cm

= 215 cm

$$K = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{\left(\frac{h_1 - h_4}{L}\right)} = \frac{\left(\frac{500cm^3 / sec}{78.5cm^2}\right)}{\left(\frac{300cm - 215cm}{45cm}\right)}$$

$$K = \frac{(6.37cm / sec)}{(1.89)} = 3.37cm / sec\#$$

Example:

$$K = \frac{(6.37cm / sec)}{(1.89)} = 3.37cm / sec = 0.0337m / sec\#$$

$$K_i = K\left(\frac{\mu}{\rho \cdot g}\right)$$

$\mu = 0.0002 N.sec/m^2$

$\rho = 1{,}000 kg / m^3$

$g = 9.81 m / sec^2$

$$K_i = 0.0337 \frac{m}{sec}\left(\frac{0.0002 \frac{N.sec}{m^2}}{1{,}000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{sec^2}}\right)$$

$$= 0.0337 \frac{m}{sec}\left(\frac{0.0002 \frac{N.sec}{m^2}}{9{,}810 \frac{N}{m^3}}\right)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Example:

$$K_i = 0.0337\left(\frac{m}{sec}\right)\cdot\frac{0.0002}{9810}\left(\frac{N.sec}{m^2}\right)\left(\frac{m^3}{N}\right)$$

$$= 6.87\times10^{-10}\,m^2\,\#$$

$$K_i = 6.87\times10^{-6}\,cm^2\,\#$$

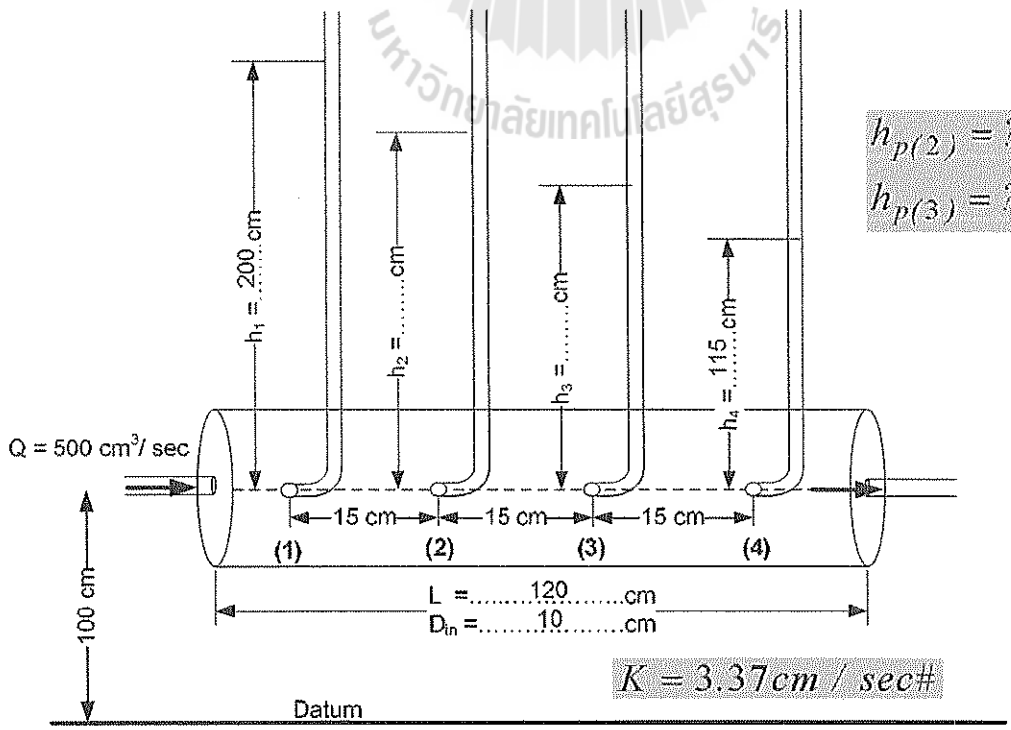
$$\boxed{1\ darcy = 9.87\times10^{-9}\,cm^2}$$

Intrinsic Permeability

$$K_i = \frac{6.87\times10^{-6}}{9.87\times10^{-9}}\,darcy$$

$$K_i = 696\ \ darcy\,\#$$

Example:



$h_{p(2)} = ?????$

$h_{p(3)} = ?????$

$K = 3.37cm/sec\#$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Example:

$$K = \frac{QL}{A(h_1 - h_2)} = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{\left(\frac{h_1 - h_2}{L}\right)}$$

$(1) \Rightarrow (2)$

$$K = \frac{\left(\frac{500cm^3 / sec}{78.5cm^2}\right)}{\left(\frac{300cm - h_2}{15cm}\right)} = \frac{6.37cm / sec}{\left(\frac{300cm - h_2}{15cm}\right)} = 3.37cm / sec$$

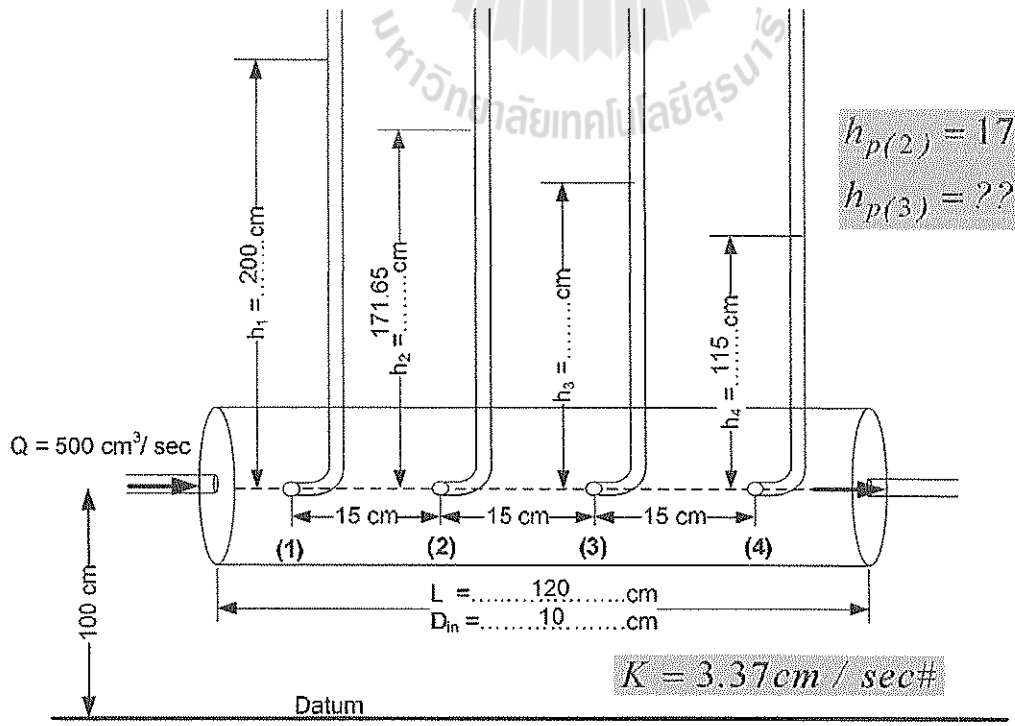
$$\frac{6.37cm / sec}{3.37cm / sec} = \left(\frac{300cm - h_2}{15cm}\right)$$

$$h_2 = 271.65cm$$

$$h_2 = z_2 + h_{p(2)} = 100cm + h_{p(2)} = 271.65cm$$

$$h_{p(2)} = 271.65cm - 100cm = 171.65cm\#$$

Example:



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) การทดสอบหาค่าความซึมผ่าน

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Measurement of Hydraulic Conductivity)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- วิธีการใช้สูตร (Formulas)
- วิธีการหาในห้องปฏิบัติการ (Laboratory method)
- วิธีการใช้สารติดตาม (Tracer tests): ใช้สาร Sodium Fluorescein หรือ Calcium Chloride
- วิธีการวัดสัมประสิทธิ์การซึมได้ในภาคสนาม (Field measurement method)

1) วิธีการใช้สูตร (Formulas)

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C \cdot f(n) \cdot d_e^2$$

K = hydraulic conductivity

g = acceleration due to gravity

ν = kinematic viscosity $\Rightarrow$ $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

C = sorting coefficient

$f(n)$ = porosity function

d_e = effective grain diameter

The values of C, f(n) and d_e are dependent on the different methods used in the grain-size analysis.

1) วิธีการใช้สูตร (Formulas)

$$K = cd^2$$

K – Hydraulic conductivity (cm/s)

c – ค่าสัมประสิทธิ์คงที่

d – คุณสมบัติจำเพาะของเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดตะกอนหรือตัวกลาง

Hazen method → $K = C(d_{10})^2$

d_{10} คือ Effective grain size คุณสมบัติจำเพาะของเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดตะกอนหรือตัวกลาง (ใช้หน่วย cm)

C คือ สัมประสิทธิ์คงที่

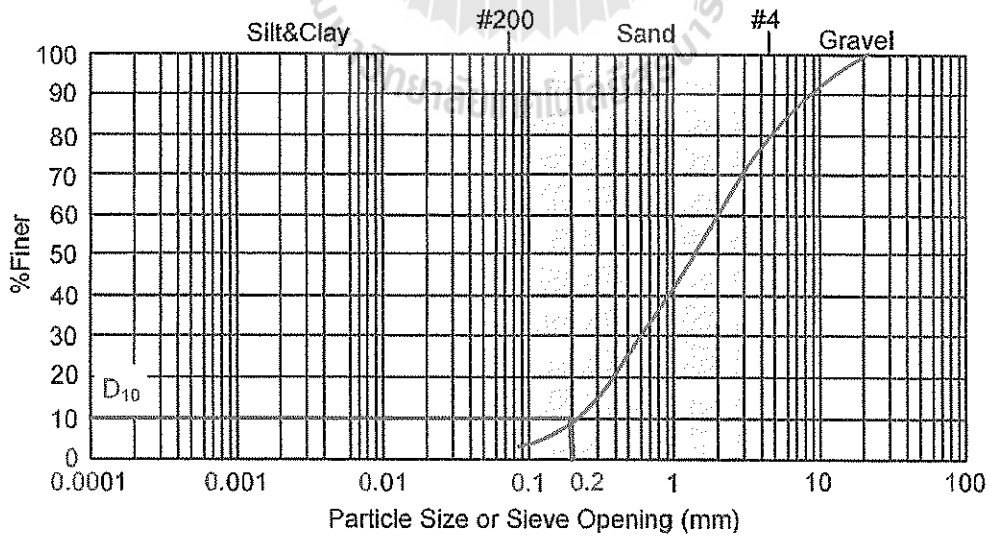
***ใช้ได้สำหรับ Uniformly graded sands และ

ค่า d_{10} อยู่ในช่วง 0.1 – 3.0 mm***

สัมประสิทธิ์ C ตามลักษณะของวัสดุ

Type of material	C
Very fine sand, poorly sorted	40-80
Fine sand with appreciable fines	40-80
Medium sand, well sorted	80-120
Coarse sand, poorly sorted	80-120
Coarse sand, well sorted, clean	120-150

ตัวอย่างการหาค่าความซึมผ่านได้ (K)



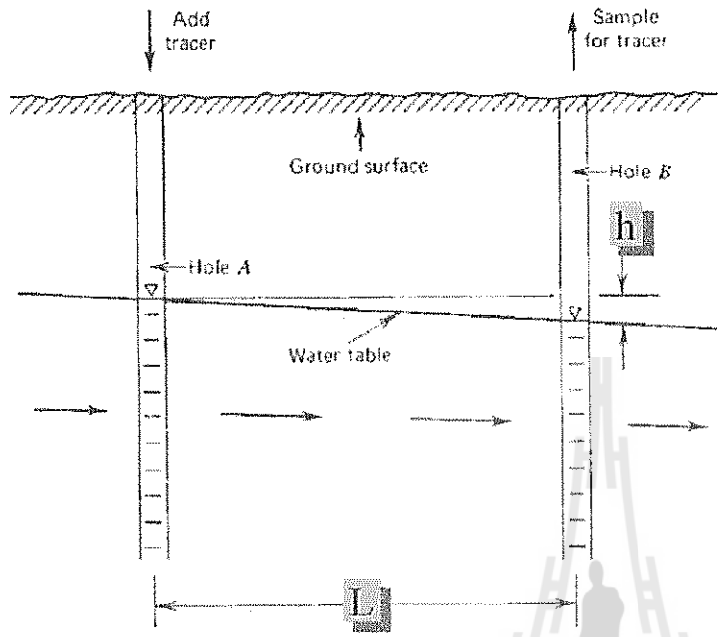
D_{10} = 0.2 mm = 0.02 cm

Well-graded sand with clay (SW-SC) → C = 80

$$K = C(d_{10})^2 = 80 \times 0.02^2 = 0.032 \ \ cm/s\#$$

2) วิธีการใช้สารติดตาม (Tracer Tests)

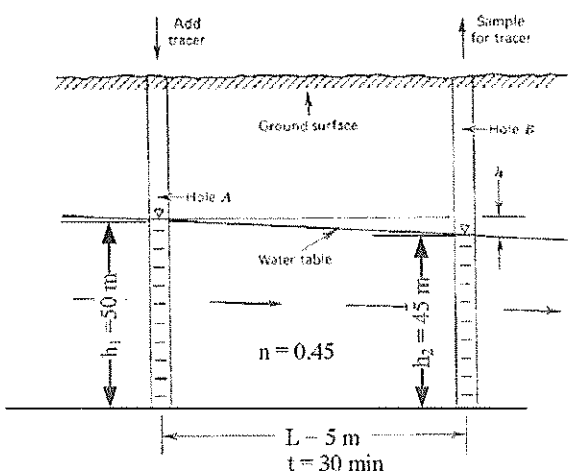
- ใช้สาร Sodium Fluorescein หรือ Calcium chloride

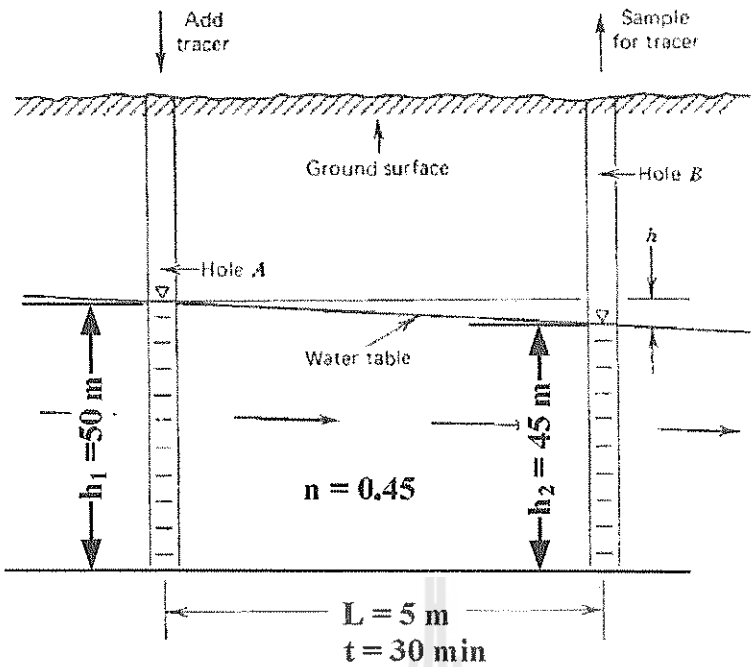


$$K = \frac{n \cdot L^2}{h \cdot t}$$

K - สัมประสิทธิ์ของการซึมได้
L - ระยะห่างระหว่างบ่อทดสอบ (บ่อ A) และบ่อสำรวจ (บ่อ B)
t - เวลาในการเดินทางของสารติดตามจากบ่อ A ไปยังบ่อ B
n - ค่าความพรุนของชั้นน้ำบาดาล

ตัวอย่าง: จากการทดสอบเพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (K) โดยใช้สารติดตาม (Tracer tests) ของชั้นน้ำบาดาล โดยบ่อทดสอบ (ที่ใช่เติมสารติดตาม) มีความดันชลศาสตร์รวมเท่ากับ 50 เมตร และบ่อสำรวจ (ที่รอวัดสารติดตาม) มีความดันชลศาสตร์รวมเท่ากับ 45 เมตร ซึ่งบอทั้งสองอยู่ห่างกัน 5 เมตร จากการทดสอบพบว่าสารติดตามใช้เวลาในการเดินทางจากบ่อทดสอบไปยังบ่อสำรวจเท่ากับ 30 นาที ถ้าชั้นน้ำบาดาลมีความพรุนเท่ากับ 0.45 จงหาว่าชั้นน้ำบาดาลมีสัมประสิทธิ์ของการซึมได้เท่ากับเท่าไร?



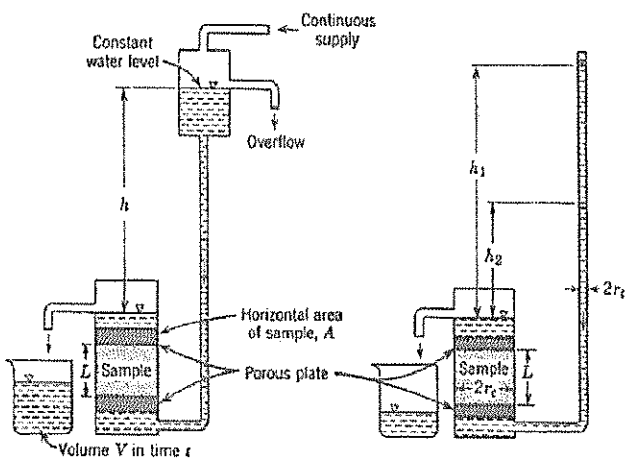


$$K = \frac{n \cdot L^2}{h \cdot t} = \frac{0.45 \times (5m)^2}{(50m - 45m) \times (30 \times 60sec)} = 1.25 \times 10^{-3} \ m/sec\#$$

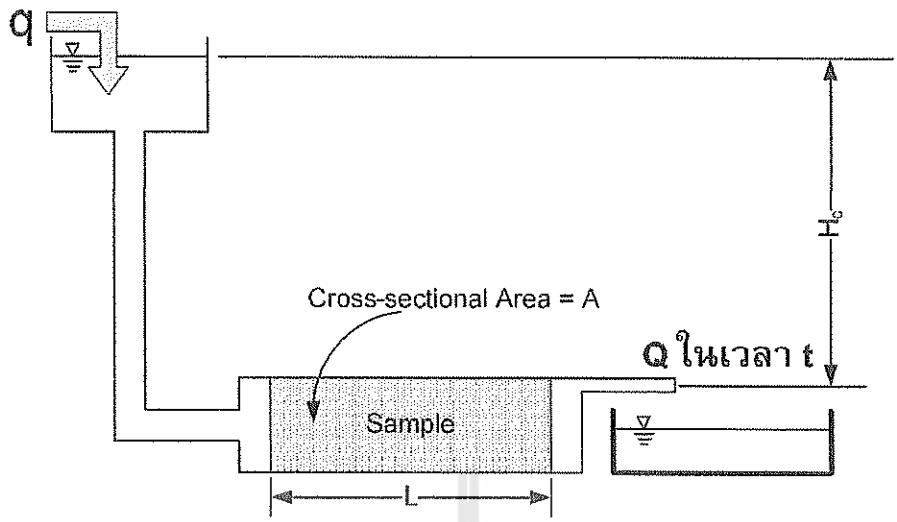
3) การวัดค่าความซึมผ่านในห้องปฏิบัติการ

a) Constant Head Test

b) Falling Head Test

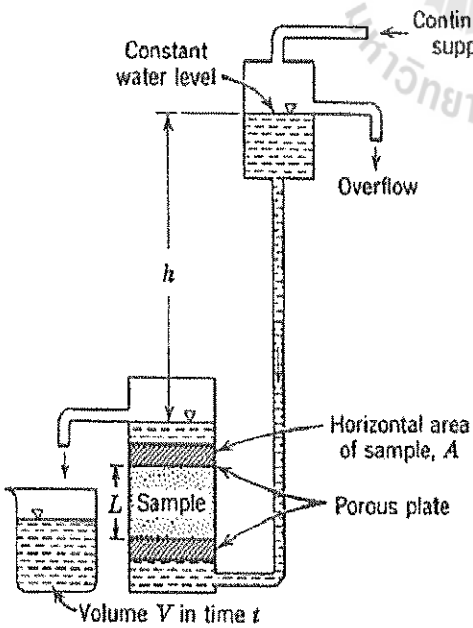


a) Constant Head Test



$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot h}$$

เมื่อ V เป็นปริมาณน้ำที่วัดได้ (หน่วย L^3)ที่ไหลผ่านหน้าตัด A (หน่วย L^2) ด้วยระยะทาง L (หน่วย L) ภายในเวลา t (หน่วย T)



$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot h}$$

K - สัมประสิทธิ์ของการซึมได้
V - ปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านในช่วงเวลา t
A - พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง
L - ความยาวของตัวอย่าง
h - ความดันชลศาสตร์ที่รักษาให้คงที่
T - เวลาที่ทำการทดสอบ

ตัวอย่าง: ในการทดสอบโดยใช้วิธี Constant head test โดยใช้น้ำไหลผ่านตัวอย่างทรายที่มีความยาว 15 เซนติเมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 25 ตารางเซนติเมตร ความต่างศักย์ทางชลศาสตร์ของต้นน้ำกับท้ายน้ำเท่ากับ 5 เซนติเมตร ในเวลา 12 นาทีวัดปริมาณน้ำที่ออกมาได้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร จงหาค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity, K) และ Intrinsic permeability (K_i) ของตัวอย่างนี้ [อุณหภูมิน้ำที่ทดสอบเท่ากับ 20°C]

ทราบค่า L = 15 cm, A = 25 cm^2, H = 5 cm,
t = 12 min, V = 100 cm^3

- Hydraulic conductivity (K)

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot h} = \frac{(100 cm^3) \times 15 cm}{25 cm^2 \times (12 \times 60 sec) \times 5 cm}$$

$$= 0.0167 = 16.67 \times 10^{-3} cm / sec \#$$

- Intrinsic permeability (K_i)

$$K_i = K\left(\frac{\mu}{\rho \cdot g}\right)$$

ที่อุณหภูมิมิเท่ากับ 20 °C:
μ = 1.002x10^{-3} N.sec/m^2
= 1.002x10^{-3} kg/sec.m
ρ = 1,000 kg/m^3
g = 9.81 m/s^2

$$K_i = \left(16.67 \times 10^{-3} cm / sec\right)\left(\frac{1.002 \times 10^{-3} kg/sec \cdot m}{1{,}000 kg/m^2 \times 9.81 m/sec^2}\right)$$

$$K_i = \left(16.67 \times 10^{-3} cm / sec\right)\left(1.0214 \times 10^{-7} m \cdot sec\right)$$

$$K_i = \left(16.67 \times 10^{-3} cm / sec\right)\left(1.0214 \times 10^{-5} cm \cdot sec\right)$$

$$= 1.74 \times 10^{-7} \quad cm^2 \#$$

Example 2: A cylindrical soil sample, 60 mm in diameter and 150 mm length, is tested in a constant-head permeability apparatus. A constant head of 500 mm is maintained during the test. After 1 minute of testing, a total of 1000 g of water was collected. The temperature was 20 degrees C. Determine the coefficient of permeability for the soil in cm/sec?

Solution

Given: d = 60 mm, L = 120 mm, H_c = 500 mm

t = 1 min, W_w = 1000 g

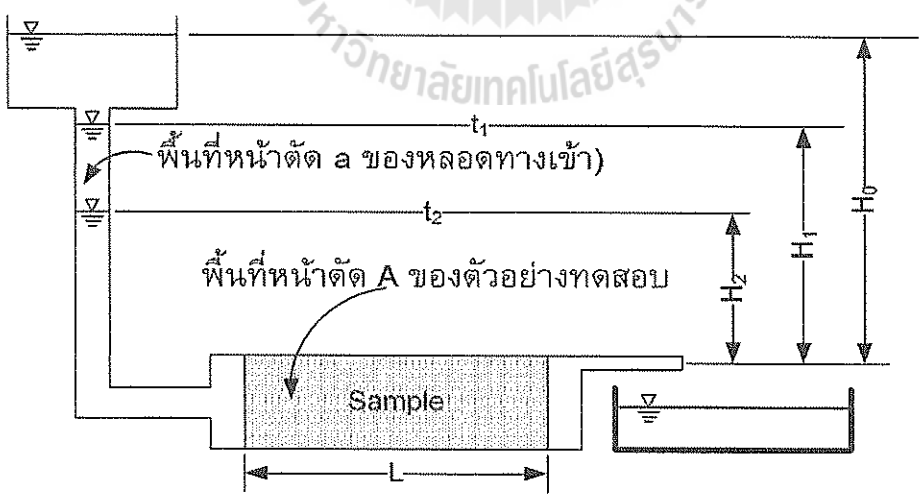
น้ำ 1000 กรัม = 1000 g/ (1 g/cm^3) = 1000 cm^3

V = 1000 cm^3

A = $\pi r^2 = \pi x(3\ cm)^2 = 28.27\ cm^2$

$$K = \frac{VL}{A \times t \times h} = \frac{1000cm^3 \times 12cm}{28.27cm^2 5 \times 60\,sec \times 50cm} = 8.50cm/sec\#$$

b) Falling Head Test



$$k = 2.3\frac{aL}{A(t_2 - t_1)}\text{Log}_{10}\left[\frac{H_1}{H_2}\right]$$

a - พื้นที่หน้าตัดของหลอดทางเข้า

A - พื้นที่หน้าตัดตัวอย่าง

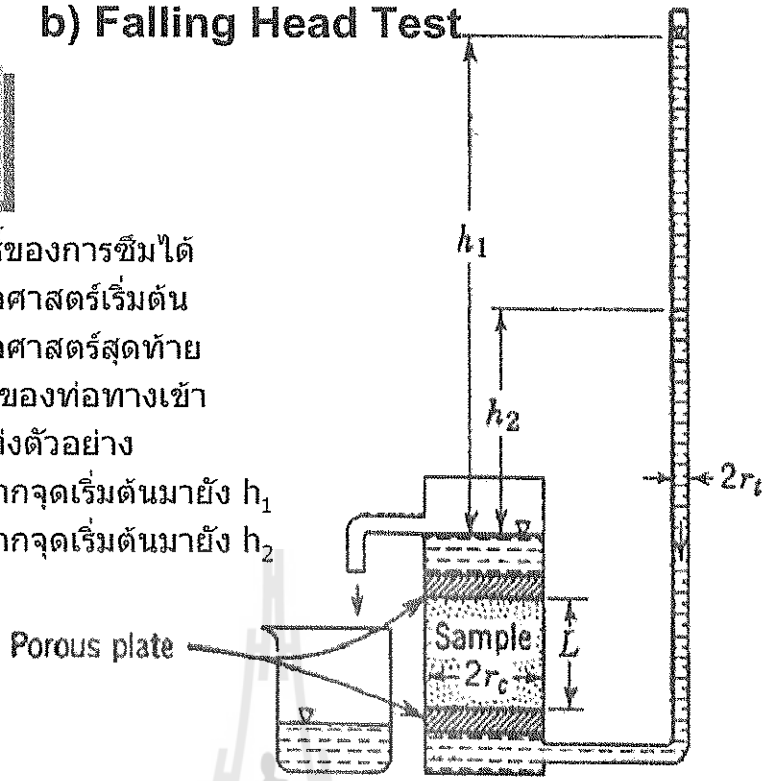
L - เป็นความยาวตัวอย่าง

t – เวลาที่ใช้ในการทดสอบ

b) Falling Head Test

$$K = \frac{r_t^2 L}{r_c^2 t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

K - สัมประสิทธิ์ของการซึมได้
h_1 - ความดันชลศาสตร์เริ่มต้น
h_2 - ความดันชลศาสตร์สุดท้าย
r_t - รัศมีด้านในของท่อทางเข้า
r_c - รัศมีของแท่งตัวอย่าง
t_1 - เวลาที่ใช้จากจุดเริ่มต้นมายัง h_1
t_2 - เวลาที่ใช้จากจุดเริ่มต้นมายัง h_2



Example: A sample of clay soil, having cross-sectional area of 50 cm^3 and a height of 65 mm, is placed in a falling-head test apparatus in which the area of the standpipe is 0.40 cm^3. In a test run, the head on the sample drops from 800 mm to 380 mm in 1 hour 24 minutes and 18 seconds. What is the coefficient of permeability for the soil in cm/sec?

Solution

Given: A = 50 cm^3, a = 0.40 cm^3, L = 6.5 cm

H_1 = 80 cm, H_2 = 38 cm

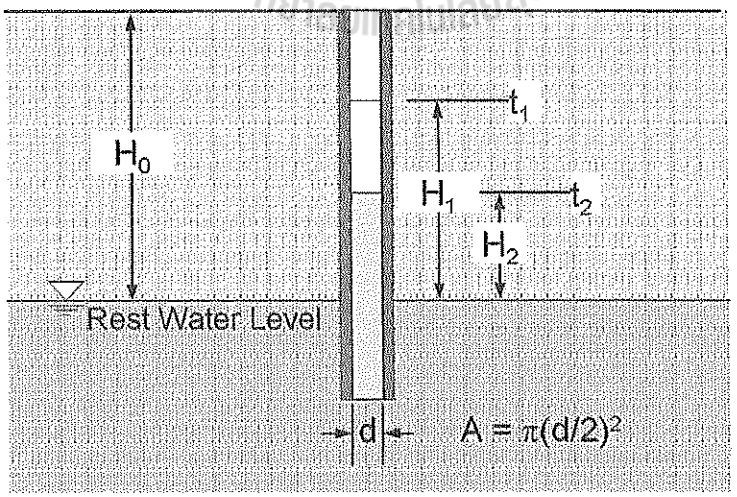
$t_2 - t_1$ = (1x60x60) + (24x60) + 18 sec = 5058 sec

$$k = 2.3\frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \text{Log}_{10}\left[\frac{H_1}{H_2}\right] = 2.3\frac{0.4\text{cm}^2 \text{x} 6.5\text{cm}}{50\text{cm}^2(5058\text{sec})} \text{Log}_{10}\left[\frac{80\text{cm}}{38\text{cm}}\right]$$
$$= 7.6\text{cm/sec}\#$$

4) วิธีการวัดค่าความซึมผ่านในภาคสนาม

- Falling Head Test
- Constant Head Test
- Pumping Test

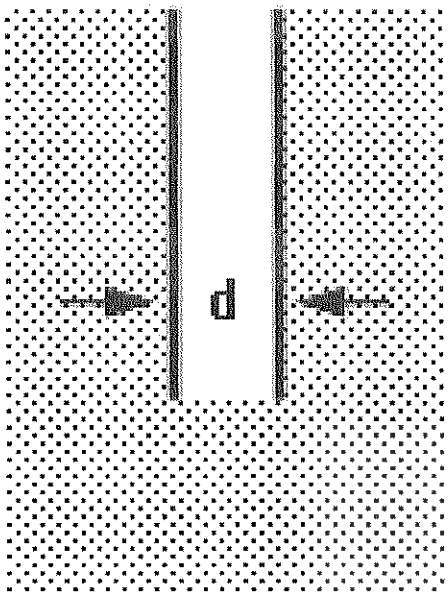
a) Falling Head Test



$$k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \cdot Ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

F = Shape Factor

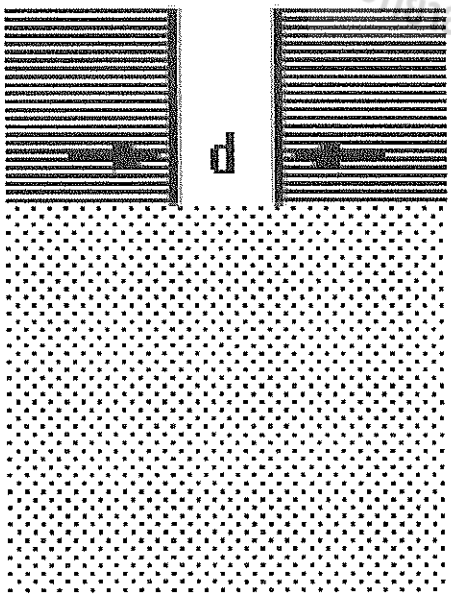
Shape Factor



ติดตั้งท่อตลอดความลึกของหลุมเจาะในหินหรือดินที่มีค่าความซึมผ่านเท่ากันทุกทิศทาง ท่อมีรัศมีภายในเท่ากับ d เซนติเมตร

$$F = 2.75d$$

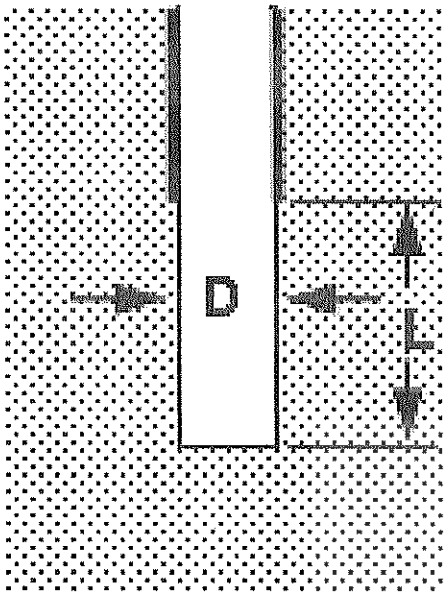
Shape Factor



ชั้นที่จะวัดค่าความซึมผ่านอยู่ใต้ชั้นหินทึบน้ำและหลุมเจาะอยู่ที่ระดับผิวล่างของชั้นทึบน้ำ ติดตั้งท่อตลอดความลึกของหลุมเจาะ ค่าความซึมผ่านของชั้นหินเท่ากันทุกทิศทาง ท่อมีรัศมีภายในเท่ากับ d เซนติเมตร

$$F = 2.0d$$

Shape Factor

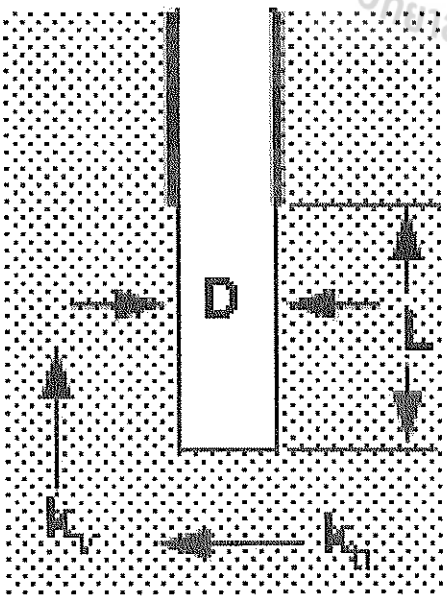


For L > 4D

ติดตั้งท่อบางส่วนของหลุมเจาะในหินหรือดินที่มีค่าความซึมผ่านเท่ากันทุกทิศทาง ท่อมีรัศมีภายในเท่ากับ d เซนติเมตร ระยะที่ไม่ติดตั้งท่อมีความยาว L เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะเท่ากับ D เซนติเมตร

$$F = \frac{2\pi L}{Ln\,(2L / D)}$$

Shape Factor



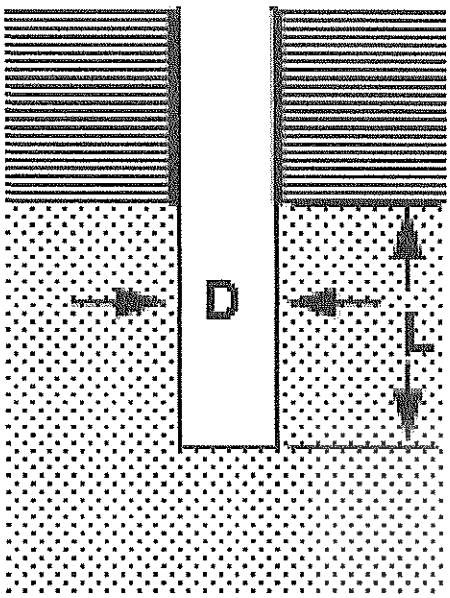
For L > 4D

ติดตั้งท่อบางส่วนของหลุมเจาะในหินหรือดินที่มีค่าความซึมผ่านเท่ากันทุกทิศทาง ท่อมีรัศมีภายในเท่ากับ d เซนติเมตร ระยะที่ไม่ติดตั้งท่อมีความยาว L เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะเท่ากับ D เซนติเมตร ค่าความซึมผ่านในแนวดิ่งและแนวระนาบไม่เท่ากัน

$$F = \frac{2\pi L}{Ln\,(2mL / D)}$$

$$m = (k_h / k_v)^{1/2}$$

Shape Factor

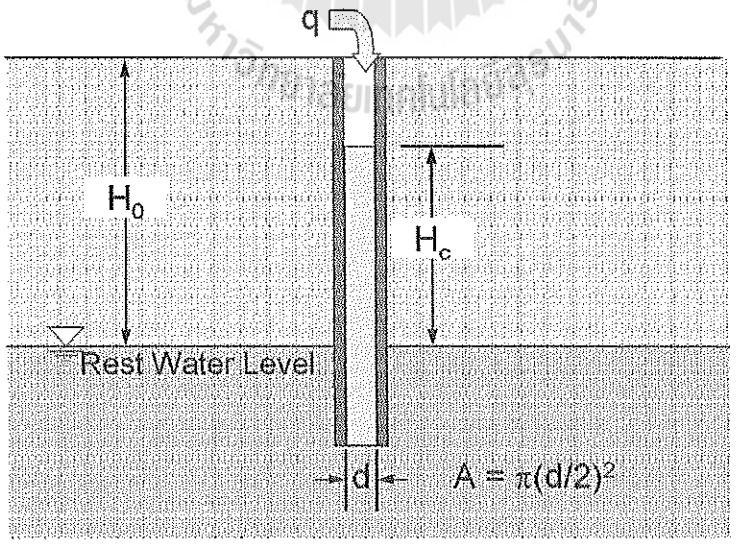


ชั้นที่จะวัดค่าความซึมผ่านอยู่ใต้ชั้นหินทึบน้ำและหลุมเจาะอยู่ในชั้นที่จะวัดความซึมผ่านด้วยระยะ L ติดตั้งท่อเฉพาะส่วนที่เป็นชั้นทึบน้ำ ค่าความซึมผ่านของชั้นหินเท่ากันทุกทิศทาง รัศมีหลุมเจาะมีขนาด D เซนติเมตร

$$F = \frac{2\pi L}{Ln\,(2L/D)}$$

For L > 4D

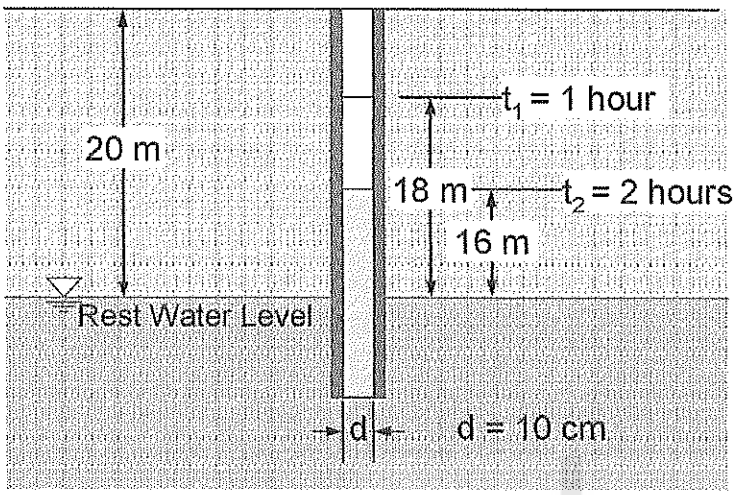
b) Constant Head Test



$$k = \frac{q}{F \times H_c}$$

F = Shape Factor

Example: Falling Head Test



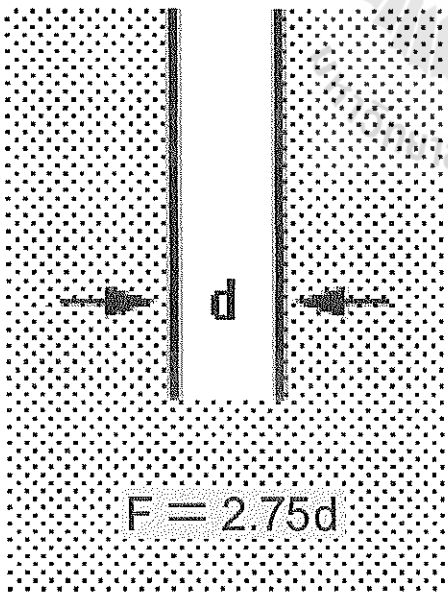
$$k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \cdot Ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

$t_2 - t_1$ = 2 – 1 hour

= 1 hour

H_1/H_2 = 18/16 = 1.125

A = π (10/2)^2 = 78.54 cm^2



D = 10 cm

F = 2.75x10 = 27.5 cm

A = π (10/2)^2 = 78.54 cm^2

ติดตั้งท่อตลอดความลึกของหลุมเจาะในหินหรือดินที่มีค่าความซึมผ่านเท่ากันทุกทิศทาง ท่อมีรัศมีภายในเท่ากับ d เซนติเมตร

$$k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \cdot Ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

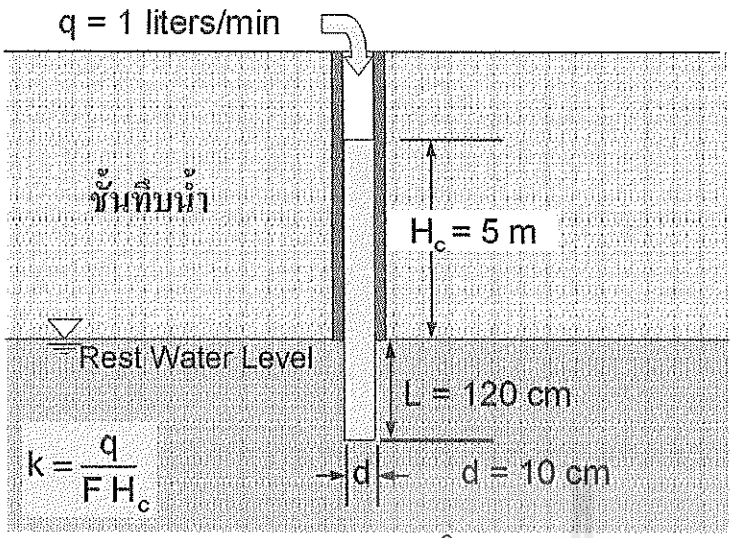
$$k = \frac{78.54\text{cm}^2}{27.5\text{cm}(2\text{hour} - 1\text{hour})} \cdot \text{Ln}\left(\frac{18\text{m}}{16\text{m}}\right)$$

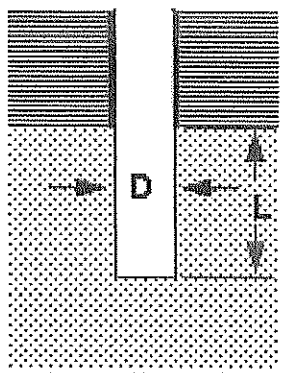
k = 0.3363 cm/hour

= 0.3363cm/(60x60sec)

= 9.34x10^{-5} cm/sec#

Example: Constant Head Test



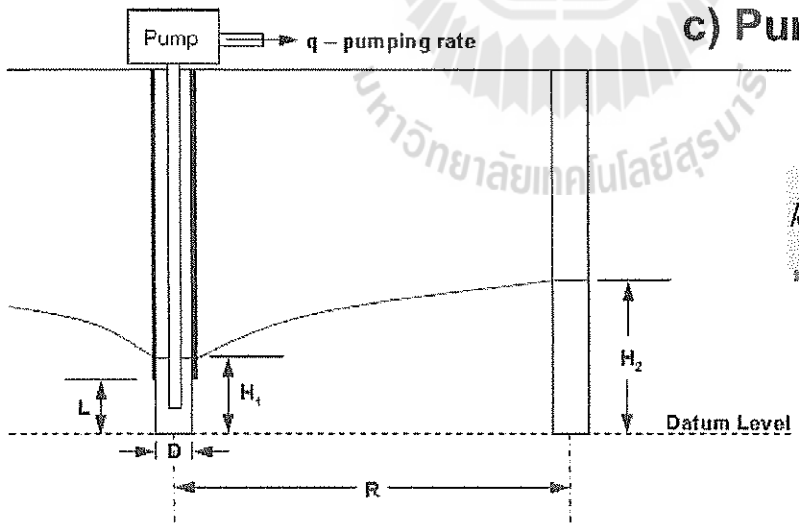


$$F = \frac{2\pi L}{\text{Ln}\,(2L/D)}$$

$$k = \frac{1000\text{cm}^3/\text{min}}{\left[\frac{2\pi x 120\text{cm}}{\ln(2x120\text{cm}/10\text{cm})}\right] x500\text{cm}} = 0.00843\text{cm}/\text{min}$$

$$k = 0.00843\text{cm}/60\,\text{sec} = 1.41x10^{-4}\text{cm}/\text{sec}\#$$

c) Pumping Test



$$k = \frac{q\ Ln\,(2^{R/D})}{2\pi L\,(H_1 - H_2)}$$

q = อัตราการดูดน้ำจากบ่อทดสอบ เพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่เท่ากับ H_1 (หน่วย L^3/T)

L = ระยะวัดจากปลายท่อ Casing กับระดับอ้างอิง (หน่วย L), D = เส้นผ่าน ศก.หลุมเจาะ

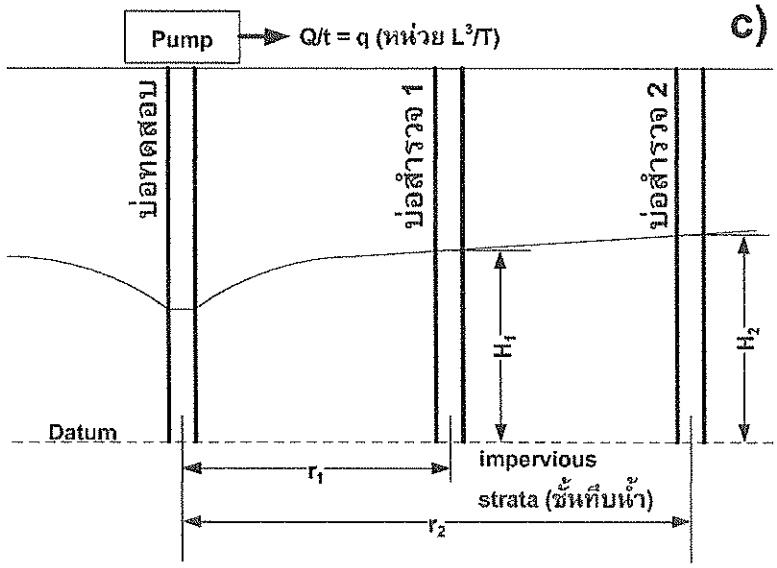
H_1 = head รวมของบ่อทดสอบที่วัดจากจุดอ้างอิง (หน่วย L)

H_2 = head รวมของบ่อสำรวจที่วัดจากจุดอ้างอิง (หน่วย L)

R = ระยะระหว่างบ่อทดสอบและบ่อสำรวจ (หน่วย L)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

c) Pumping Test



$$k = \frac{2.3\, q\, Log_{10}\left[\frac{r_2}{r_1}\right]}{\pi\,(H_2^2 - H_1^2)}$$

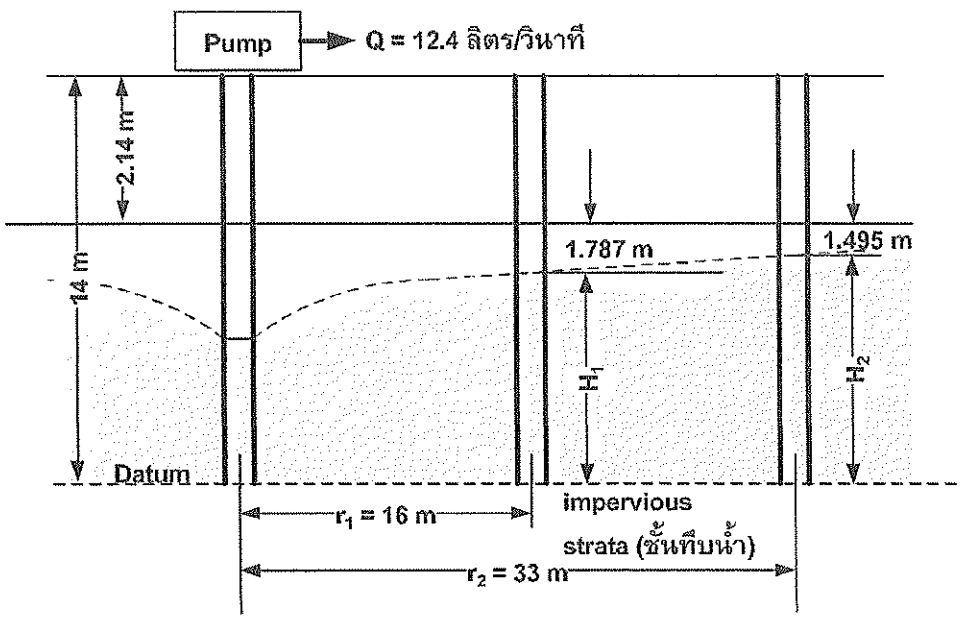
q = อัตราการดูดน้ำจากบ่อทดสอบ เพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่เท่ากับ H_1 (หน่วย L^3/T)

r_1, r_2 = ระยะทางวัดจากบ่อที่ 1 และ 2 ไปยังบ่อสำรวจ

H_1 = head รวมของบ่อสำรวจที่ 1 วัดจากจุดอ้างอิงที่เป็นชั้นทึบน้ำ (หน่วย L)

H_2 = head รวมของบ่อสำรวจที่ 2 วัดจากจุดอ้างอิงที่เป็นชั้นทึบน้ำ (หน่วย L)

Example: ในการตรวจสอบหาความซึมผ่านได้ของชั้นทรายชั้นหนึ่งลึก 14 เมตร และอยู่เหนือชั้นดินไม่ยอมให้ซึมผ่านได้ ได้ทำการเจาะบ่อสำรวจและสูบน้ำออกในช่วงเวลาหนึ่งพบว่าปริมาณที่สูบออก 12.4 ลิตรในเวลา 1 วินาที ทำให้ระดับน้ำในบ่อสำรวจที่อยู่ห่างออกไป 16 เมตร และ 33 เมตร ลดลงไปจากระดับเดิม 1.787 เมตร และ 1.495 เมตร ตามลำดับ ถ้าระดับน้ำใต้ดินในตอนแรกอยู่ลึกจากระดับผิวดินเท่ากับ 2.14 เมตร จงหาค่าความซึมได้ของชั้นทรายนี้ (หน่วย เมตร/วัน)



Example:

จากสมการ: $$k = \frac{2.3\,q\,Log_{10}\left[\frac{r_2}{r_1}\right]}{\pi\left(H_2^2 - H_1^2\right)}$$

Given;

r_1 = 16 m,

r_2 = 33 m,

H_1 = 14 – (2.14+1.787) = 10.073 m

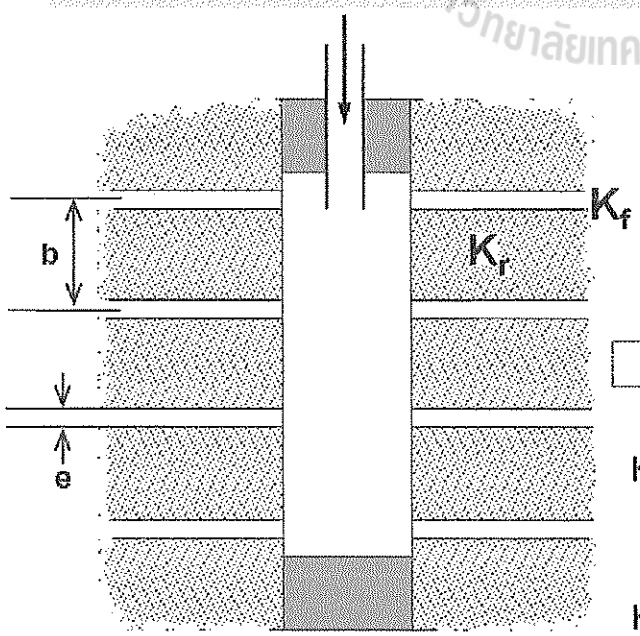
H_2 = 14 – (2.14+1.495) = 10.365 m

Q = 12.4 ลิตร/วินาที = 12.4x1000 cm^3/sec = 12,400 cm^3/sec

= 1,071 m^3/day

$$k = \frac{2.3\times\left(1071m^3/day\right)\cdot Log_{10}\left[\frac{33m}{16m}\right]}{\pi\left[(10.365m)^2 - (10.073m)^2\right]} = 41.31m/day\#$$

ค่าความซึมผ่านของรอยแตกที่มีวัสดุแทรก

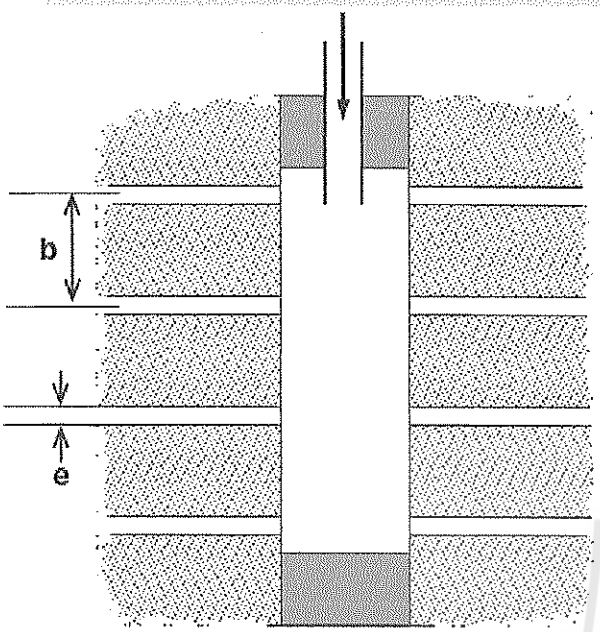


$$K = \frac{e}{b}\cdot K_f + K_r$$

K_f = สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของวัสดุที่แทรกอยู่ในรอยแตก (infilling material)

K_r = สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของหิน

ค่าความซึมผ่านได้ของรอยแตกในมวลหิน (Hydraulic Conductivity of Jointed Rock)



รอยแตกผิวเรียบและไม่มีวัสดุแทรกในรอยแตก

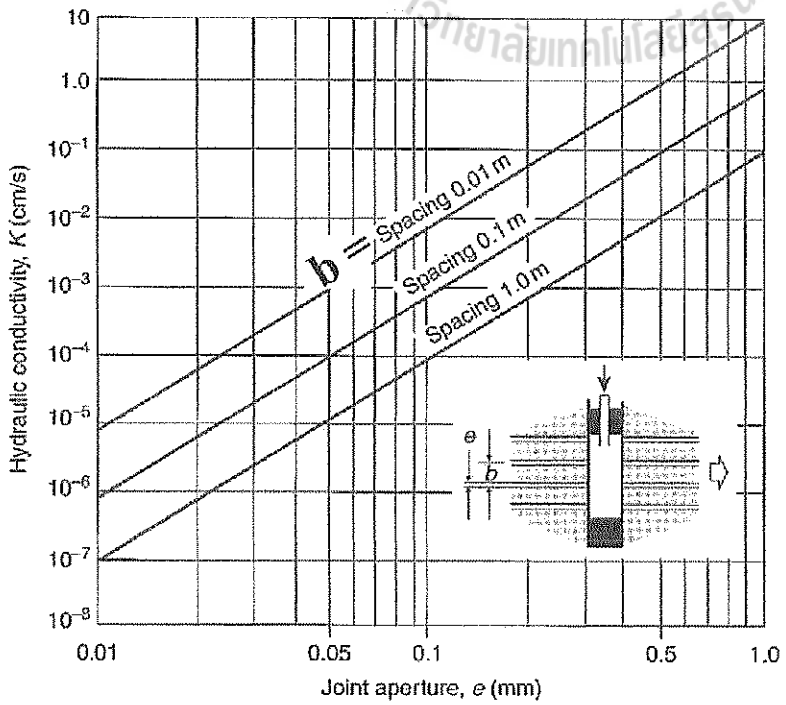
$$K = K_f = \frac{g \cdot e^3}{12\nu \cdot b}$$

k

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (981 cm/sec^2)
e = ระยะเปิดเผยอของรอยแตก
b = ระยะห่างระหว่างรอยแตก
ν = สัมประสิทธิ์ความหนืดเชิงจลศาสตร์ (Kinematics viscosity coefficient)

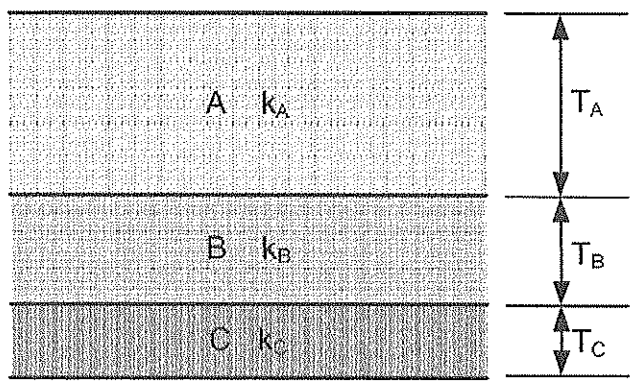
*** ν มีค่าเท่ากับ 0.0101 cm^2/sec สำหรับน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 20°C***

Flow in Clean, Smooth Discontinuities
รอยแตกผิวเรียบและไม่มีวัสดุแทรกในรอยแตก



$$K = K_f = \frac{g \cdot e^3}{12\nu \cdot b}$$

ค่าความซึมผ่านเฉลี่ยในแนวดิ่งและแนวระนาบ
(สำหรับชั้นหินที่มีค่าความซึมผ่านต่างกัน)



ค่าความซึมผ่านเฉลี่ยในทิศทางที่ขนานกับแนวชั้นหิน (K_H)

$$k_H = \frac{(k_A T_A)+(k_B T_B)+(k_C T_C)}{T_A + T_B + T_C}$$

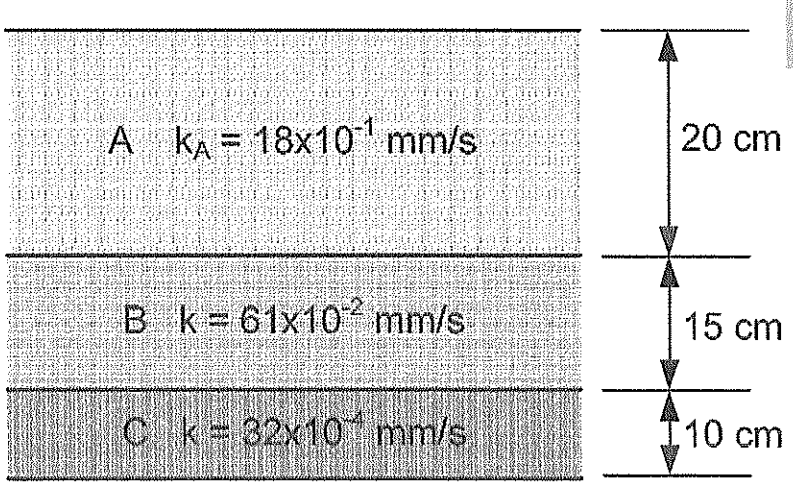
ค่าความซึมผ่านเฉลี่ยในทิศทางที่ตัดกับแนวชั้นหิน (K_V)

$$k_V = \frac{T_A + T_B + T_C}{\left[\frac{T_A}{k_A} + \frac{T_B}{k_B} + \frac{T_C}{k_C}\right]}$$

Example: การคำนวณค่าความซึมผ่านเฉลี่ยในแนวดิ่งและแนวระนาบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$k_V = \frac{T_A + T_B + T_C}{\left[\frac{T_A}{k_A} + \frac{T_B}{k_B} + \frac{T_C}{k_C}\right]}$$



$$k_H = \frac{(k_A T_A)+(k_B T_B)+(k_C T_C)}{T_A + T_B + T_C}$$

$$k_V = \frac{T_A + T_B + T_C}{\left[\frac{T_A}{k_A} + \frac{T_B}{k_B} + \frac{T_C}{k_C}\right]}$$

$$k_V = \frac{200\text{mm} + 150\text{mm} + 100\text{mm}}{\left[\frac{200\text{mm}}{18\text{x}10^{-1}\,\text{mm/sec}} + \frac{150\text{mm}}{61\text{x}10^{-2}\,\text{mm/sec}} + \frac{100\text{mm}}{32\text{x}10^{-4}\,\text{mm/sec}}\right]}$$

$$= \frac{450}{31607} = 0.142\text{mm/sec\#}$$

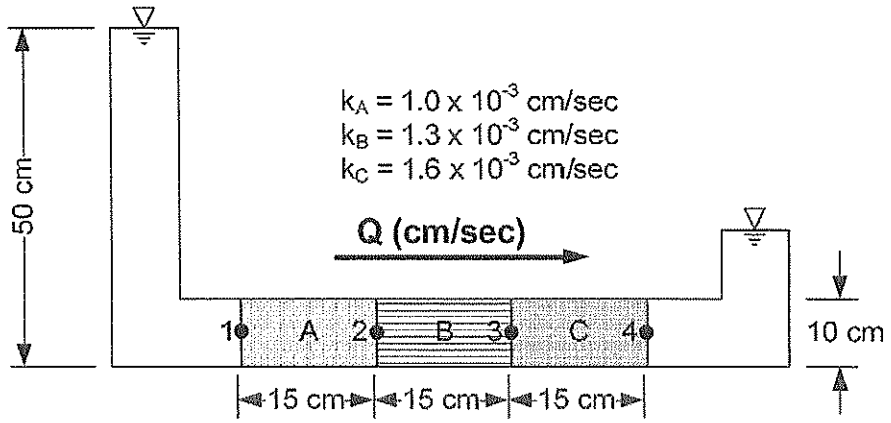
$$k_H = \frac{(k_A T_A) + (k_B T_B) + (k_C T_C)}{T_A + T_B + T_C}$$

$$k_H = \frac{\left(18\text{x}10^{-1}\text{x}200\right) + \left(61\text{x}10^{-2}\text{x}150\right) + \left(32\text{x}10^{-4}\text{x}100\right)}{200 + 150 + 100}$$

$$= \frac{451.82}{450} = 1.00\text{mm/sec\#}$$

$$m = \frac{k_H}{k_V} = \frac{1.00}{0.142} = 7.04\#$$

Example: The three layers of soil of different permeability were put in a tube 100 mm x 100 mm in cross-section shown in the figure below. Water is supplied to maintain a constant head difference of 300 mm across the sample. Determine the pressure head, elevation head, and total head at point 1, 2, 3, and 4 (with respect to the datum indicated). Also, determine the rate of supply in cm^3/hour.



Example:

1) หาค่าความซึมผ่านเฉลี่ยในทิศทางการไหล (ซึ่งตัดแนวชั้นหินทั้ง 3 ชั้น

$$k_V = \frac{T_A + T_B + T_C}{\left[\frac{T_A}{k_A} + \frac{T_B}{k_B} + \frac{T_C}{k_C}\right]}$$

2) หาค่าอัตราการไหล Q ผ่านตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด:

$$Q = kiA = k_H\left(\frac{h_1 - h_4}{L_A + L_B + L_C}\right)A$$

3) ใช้ค่าความซึมผ่านแต่ละตัวหาค่า Head ที่ต้องการทราบ (โดยเริ่มจากตัวอย่าง A และ C เพราะจะทำให้ทราบค่า Head จุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

Example:

$$k_V = \frac{T_A + T_B + T_C}{\left[\frac{T_A}{k_A} + \frac{T_B}{k_B} + \frac{T_C}{k_C}\right]}$$

$$Q = kiA = k\left(\frac{h_1 - h_2}{L_A}\right)A$$

$$k_A = \frac{QL_A}{A_A(h_1 - h_2)} = \frac{\frac{Q}{A_A}}{\frac{(h_1 - h_2)}{L_A}}$$

ทราบค่า Q, L_A, A_A, h_1 และ k_A

สามารถหาค่า h_2 ได้

$$h_2 = h_1 - \left[\frac{QL_A}{A_A k_A}\right]$$

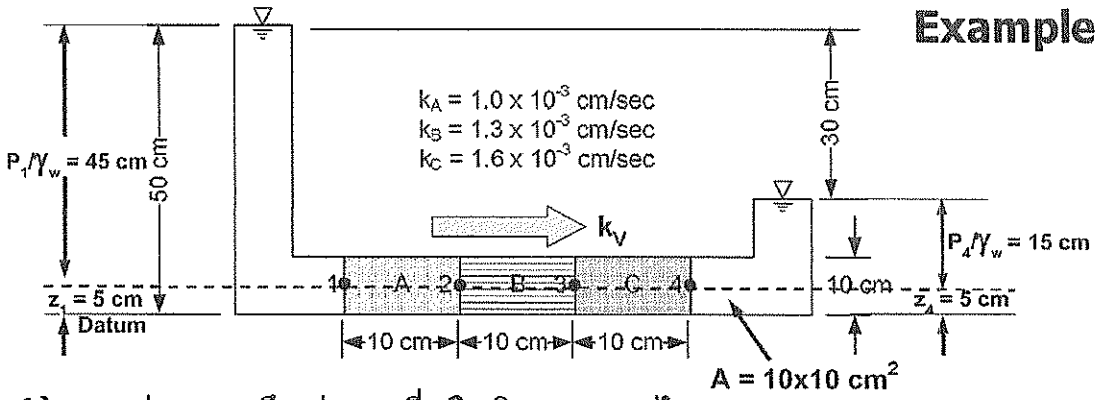
$$k_C = \frac{QL_C}{A_C(h_3 - h_4)} = \frac{\frac{Q}{A_C}}{\frac{(h_3 - h_4)}{L_C}}$$

ทราบค่า Q, L_B, A_B, h_4 และ k_C

สามารถหาค่า h_3 ได้

$$h_3 = h_4 - \left[\frac{QL_C}{A_C k_C}\right]$$

Example:



1) หาค่าความซึมผ่านเฉลี่ยในทิศทางการไหล (ซึ่งตัดแนวชั้นหินทั้ง 3 ชั้น)

$$k_V = \frac{T_A + T_B + T_C}{\left[\frac{T_A}{k_A} + \frac{T_B}{k_B} + \frac{T_C}{k_C}\right]}$$

$$k_V = \frac{10cm + 10m + 10cm}{\left[\frac{10cm}{1.0\times10^{-3}\,cm/sec} + \frac{10cm}{1.3\times10^{-3}\,cm/sec} + \frac{10cm}{1.6\times10^{-3}\,cm/sec}\right]}$$

$$k_V = 1.25\times10^{-3}\,cm/sec\#$$

Example:

2) หาค่าอัตราการไหล Q ผ่านตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด:

$$Q = kiA = k_V\left(\frac{h_1 - h_4}{L_A + L_B + L_C}\right)A$$

$$Q = (1.25\times10^{-3}\,cm/sec)\left(\frac{50cm - 20cm}{15cm + 15cm + 15cm}\right)100cm^2$$

$$Q = (1.25\times10^{-3}\,cm/sec)\left(\frac{30cm}{45cm}\right)100cm^2$$

$$Q = 0.0833cm^3/sec\#$$

Example:

3) พิจารณาดินแต่ละชนิด

$$Q = kiA = k\left(\frac{h_1 - h_2}{L_A}\right)A$$

Soil A: k_B = 1.0x10^{-3} cm/sec

$$h_2 = h_1 - \left[\frac{QL_A}{A_A k_A}\right] = (5+45) - \left[\frac{0.0833cm^3/sec\, x10cm}{100cm^2 x(1x10^{-3}\, cm/sec)}\right] = 50 - 8.33 = 41.67cm$$

At point 1:

- total head (h_1) = 50 cm,
- elevation head (z_1) = 5 cm,
- pressure head (h_{p1}) = 50-5= 45 cm

At point 2:

- total head (h_2) = 41.67 cm,
- elevation head (z_2) = 5 cm,
- pressure head (h_{p2}) = 41.67-5= 36.67 cm

Example:

3) พิจารณาดินแต่ละชนิด

Soil B: k_B = 1.3x10^{-3} cm/sec

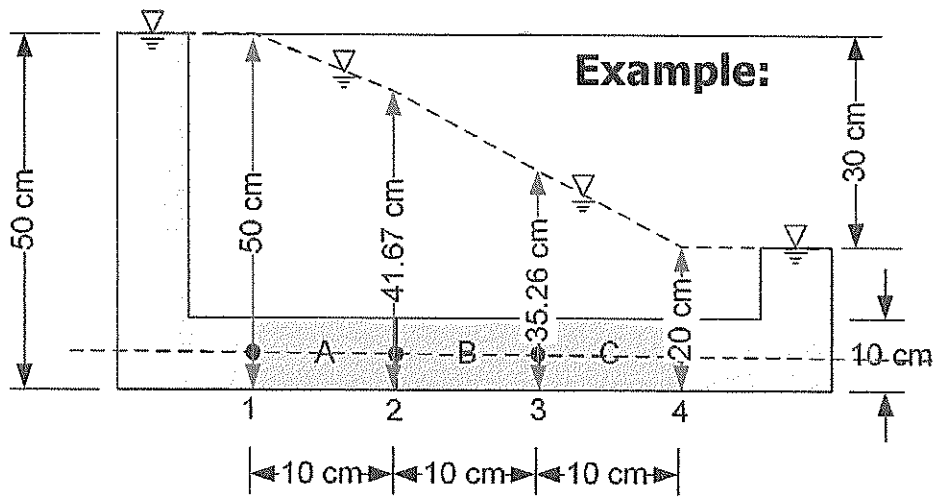
$$h_3 = h_2 - \left[\frac{QL_B}{A_B k_B}\right] = (41.67cm) - \left[\frac{0.0833cm^3/sec\, x10cm}{100cm^2 x(1.3x10^{-3}\, cm/sec)}\right] = 41.67 - 6.41 = 35.26cm$$

At point 3:

- total head (h_3) = 35.26 cm,
- elevation head (z_3) = 5 cm,
- pressure head (h_{p3}) = 27-5= 30.26 cm

At point 4:

- total head (h_4) = 20 cm,
- elevation head (z_4) = 5 cm,
- pressure head (h_{p4}) = 20-5= 15 cm



At point 1:

- total head (h_1) = 50 cm,
- elevation head (z_1) = 5 cm,
- pressure head (h_{p1}) = 50-5= 45 cm

At point 2:

- total head (h_2) = 41.67 cm,
- elevation head (z_2) = 5 cm,
- pressure head (h_{p2}) = 41.67-5= 36.67 cm

At point 3:

- total head (h_3) = 35.26 cm,
- elevation head (z_3) = 5 cm,
- pressure head (h_{p3}) = 27-5= 30.26 cm

At point 4:

- total head (h_4) = 20 cm,
- elevation head (z_4) = 5 cm,
- pressure head (h_{p4}) = 20-5= 15 cm

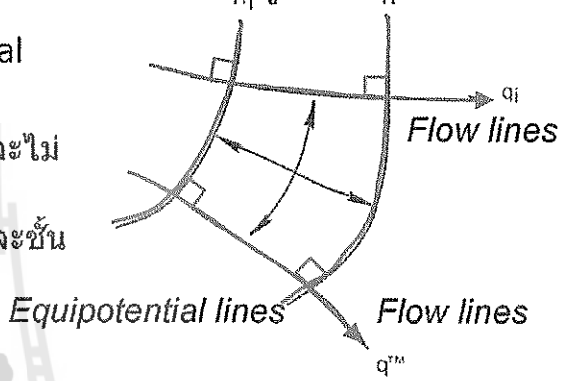
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5) โครงข่ายการไหล (Flow Net)

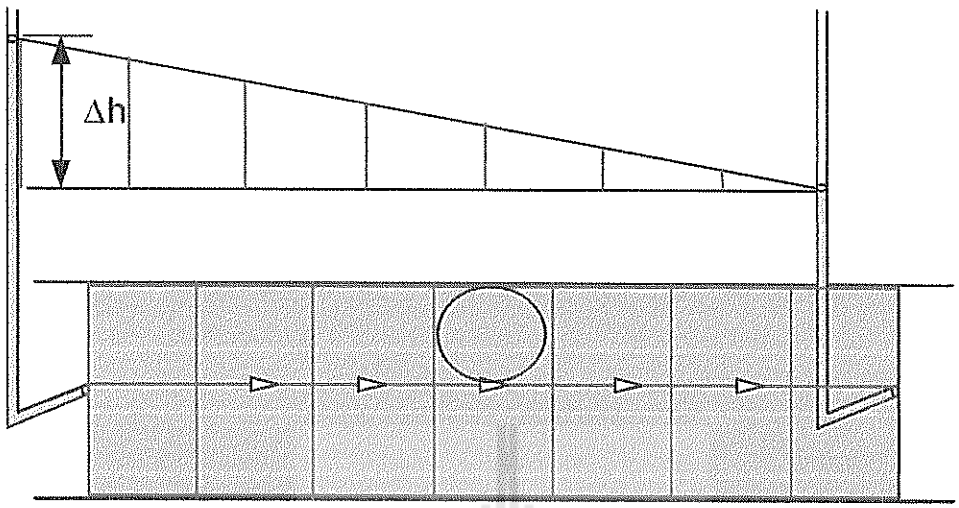
วิธีการสร้าง Flow Net

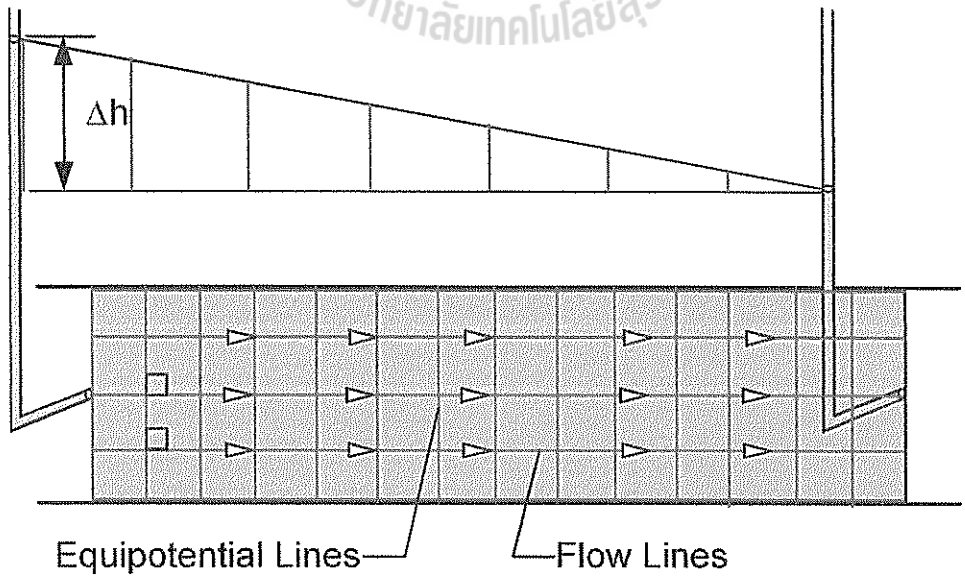
Flow Net ประกอบด้วยเส้น 2 รูปแบบตัดกันเป็นช่องสี่เหลี่ยม (จัตุรัสมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

- Flow lines – เส้นแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลจาก head สูงไปจุดที่ head ต่ำ
- Equipotential lines – เส้นที่ทุกจุดบนเส้นมีความดันชลศาสตร์รวมเท่ากัน และความดันชลศาสตร์จะลดลงจากเส้นหนึ่งไปสู่อีกเส้นหนึ่ง
- Flow lines ตัดกับเส้น Equipotential lines ทำมุมเป็นมุมฉาก (90 องศา)
- Flow lines แต่ละเส้นจะไม่ตัดกันและไม่ตัดผ่านส่วนที่ทึบน้ำ (non-flow boundary) เช่นตัวเขื่อน (Dam) และชั้นหินทึบน้ำ (impermeable strata)



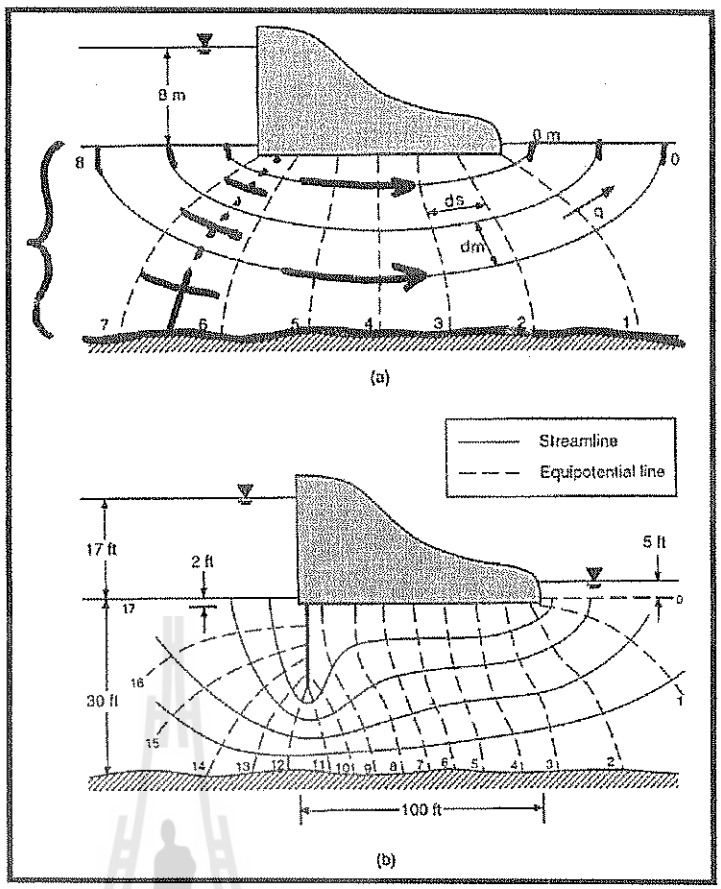
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



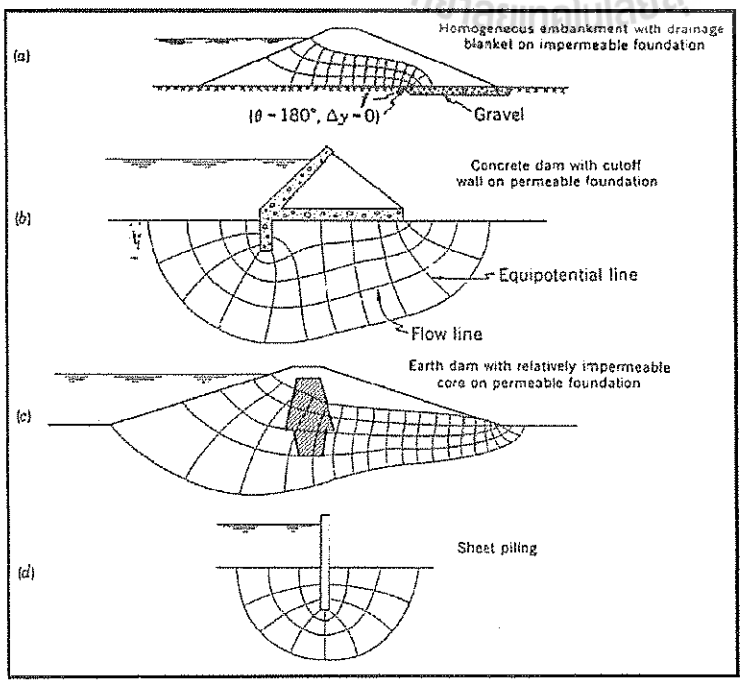


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลกระทบจากขอบเขตต่อการไหลของน้ำใต้ดิน



การไหลใต้ฐานรากเขื่อน (Seepage Under Dams)



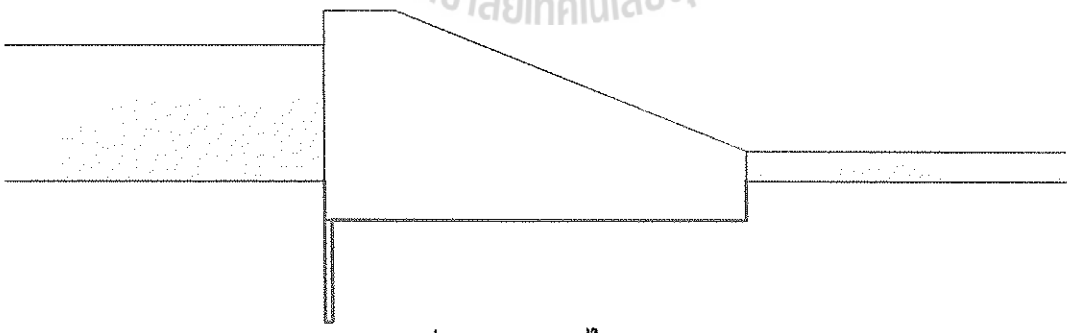
- Flow nets for seepage through earthen dams
- Seepage under concrete dams
- Uses boundary conditions (L & R)
- Requires curvilinear square grids for solution

ประโยชน์การสร้างโครงข่ายการไหล

1) หาอัตราการไหล (seepage) หรือความเร็วผ่านฐานราก ของเขื่อนหรือฐานรากได้
2) คำนวณปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านใต้เขื่อนและฐานรากได้
3) หาแรงยกตัวหรือแรงลอยตัวของเขื่อนและฐานรากได้
4) หาแรงดันและประเมินเสถียรภาพของ sheet pile wall

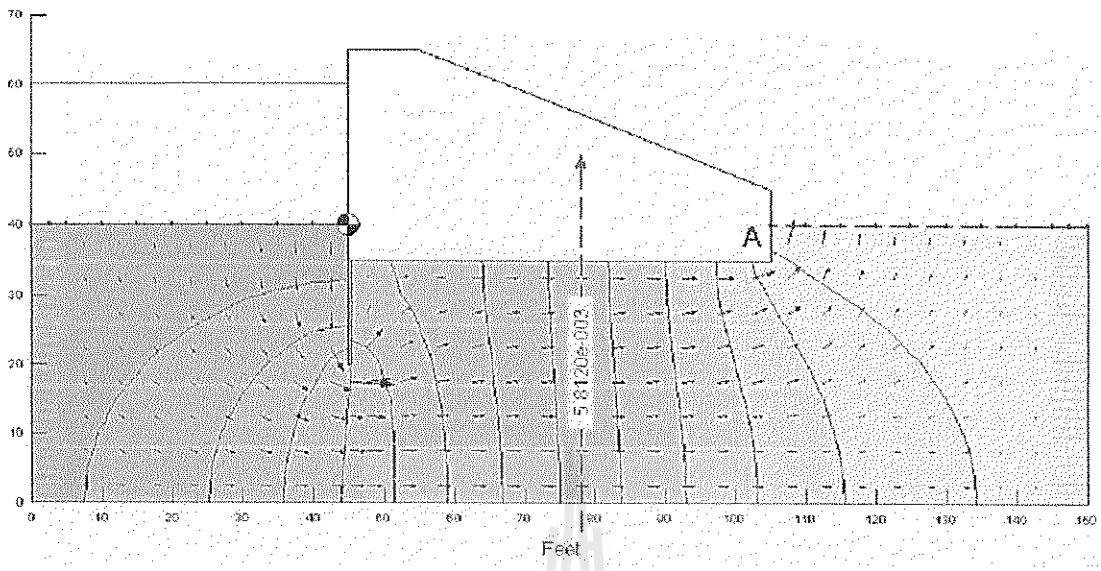
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1) คำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฐานราก

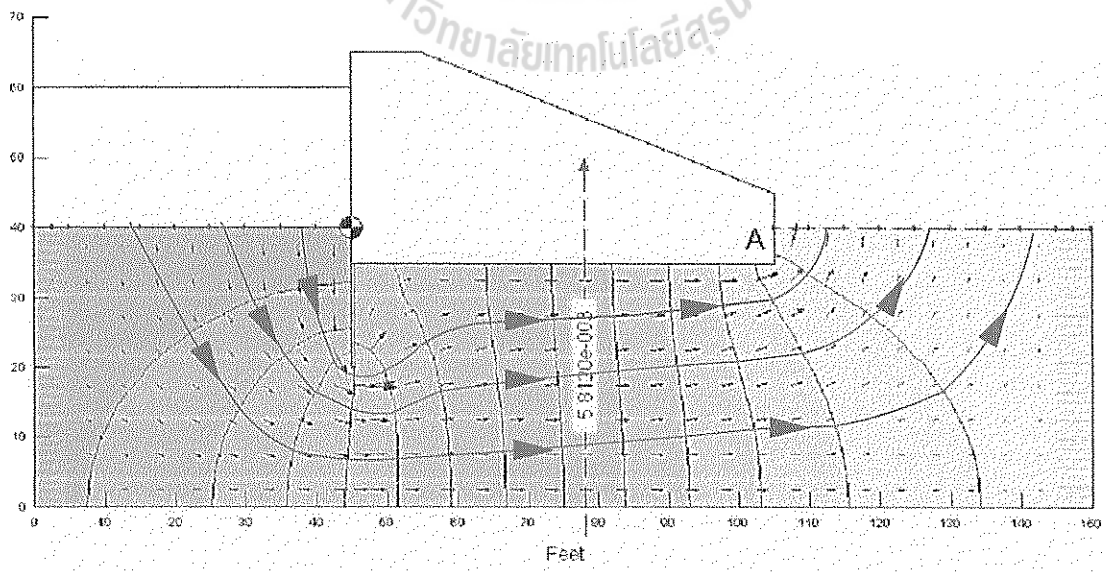


ช่องทางการไหล

Equipotential Lines

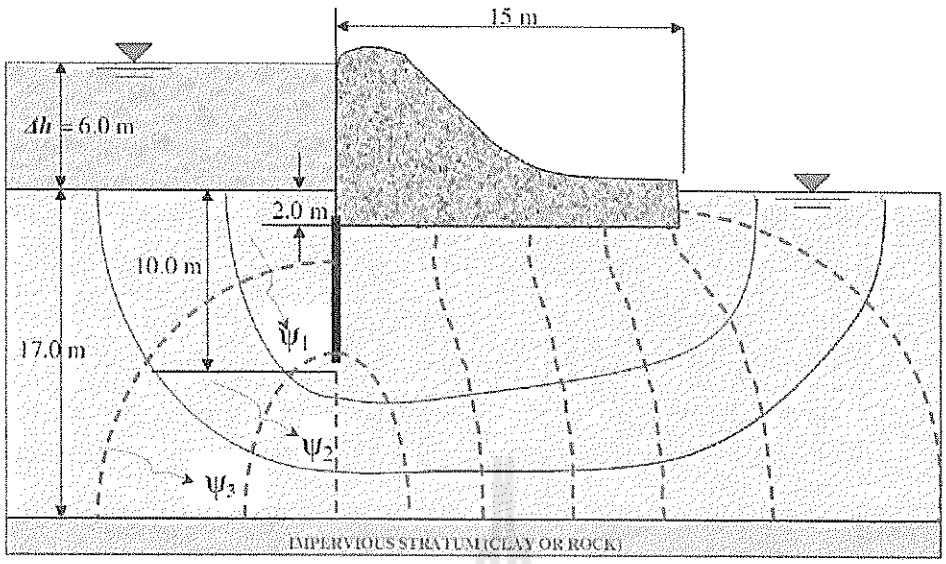


Flow Lines



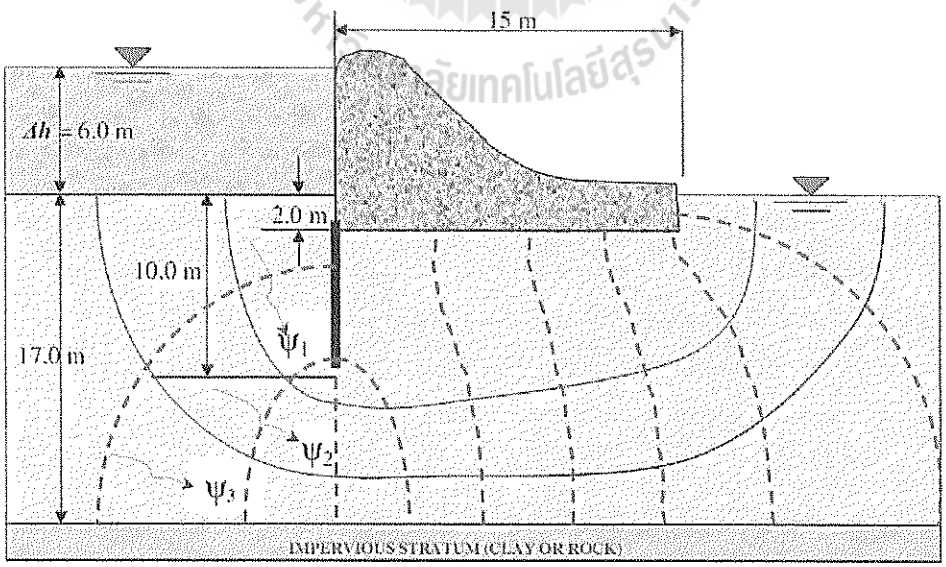
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1) คำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฐานราก



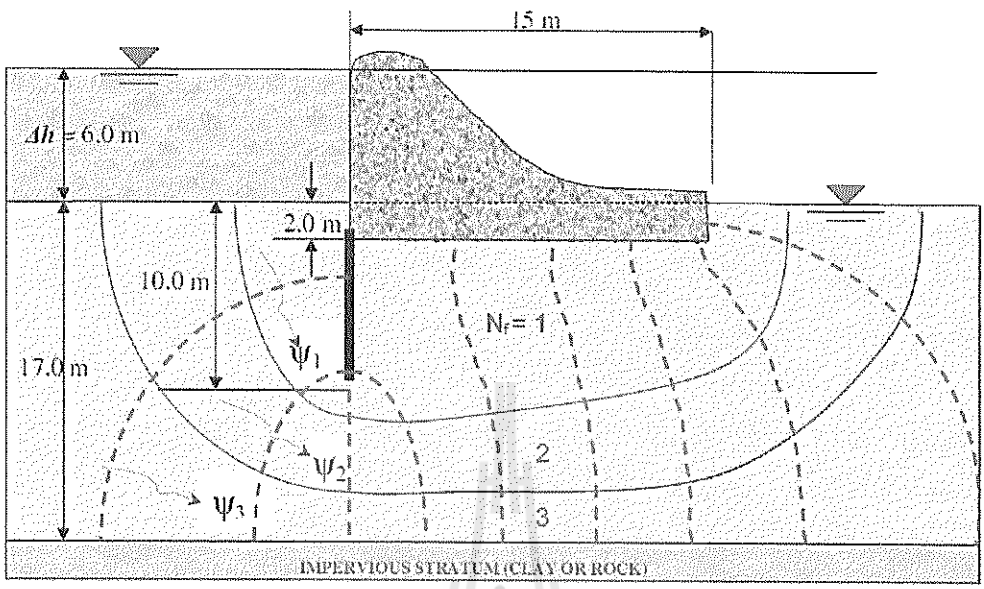
$$q = k \cdot \Delta h \cdot \frac{N_f}{N_{eq}}$$

คำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฐานราก

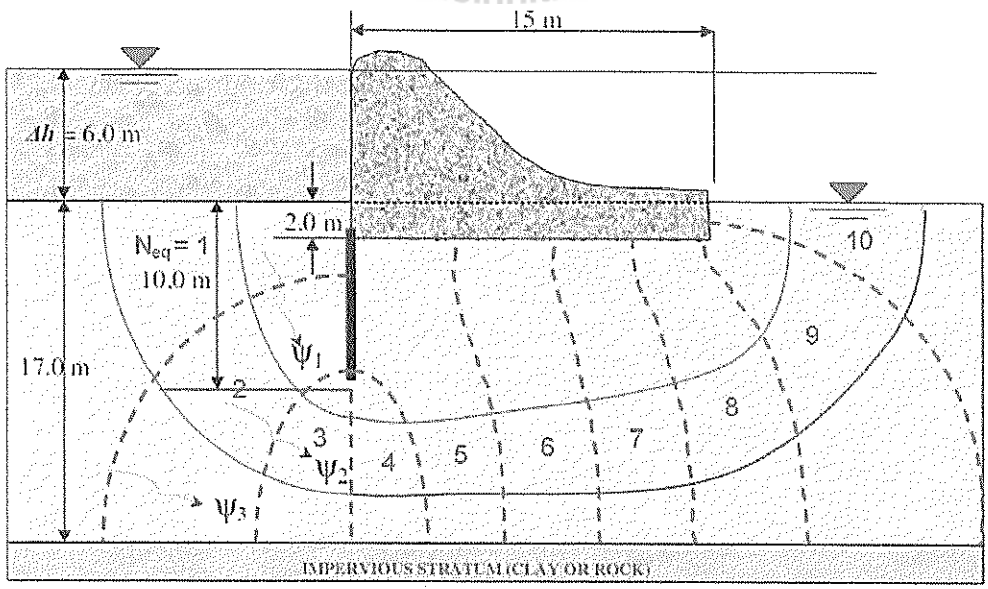


$$q = k \cdot \Delta h \cdot \frac{N_f}{N_{eq}}$$

N_f - จำนวนช่องทางการไหล

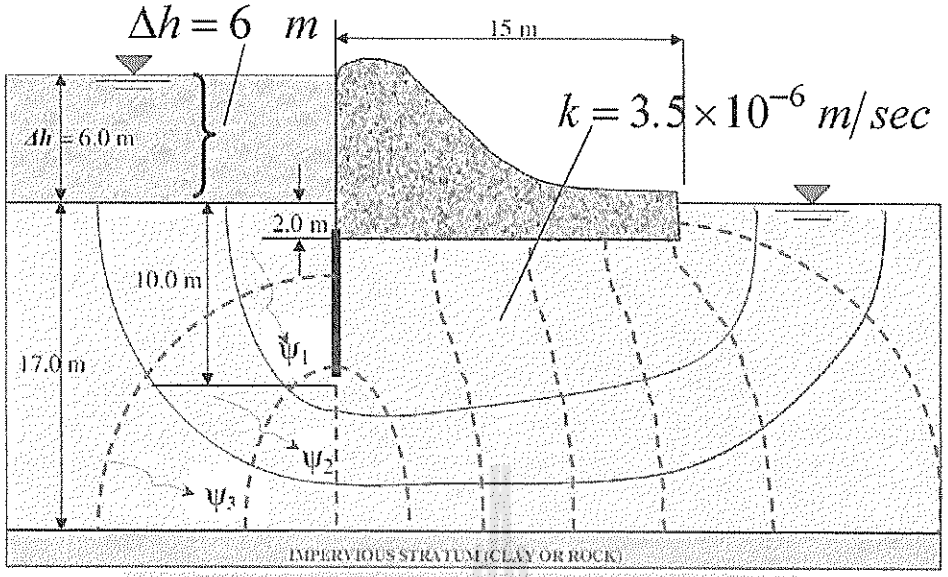


N_{eq} – จำนวนช่องการลดของความดันชลศาสตร์



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

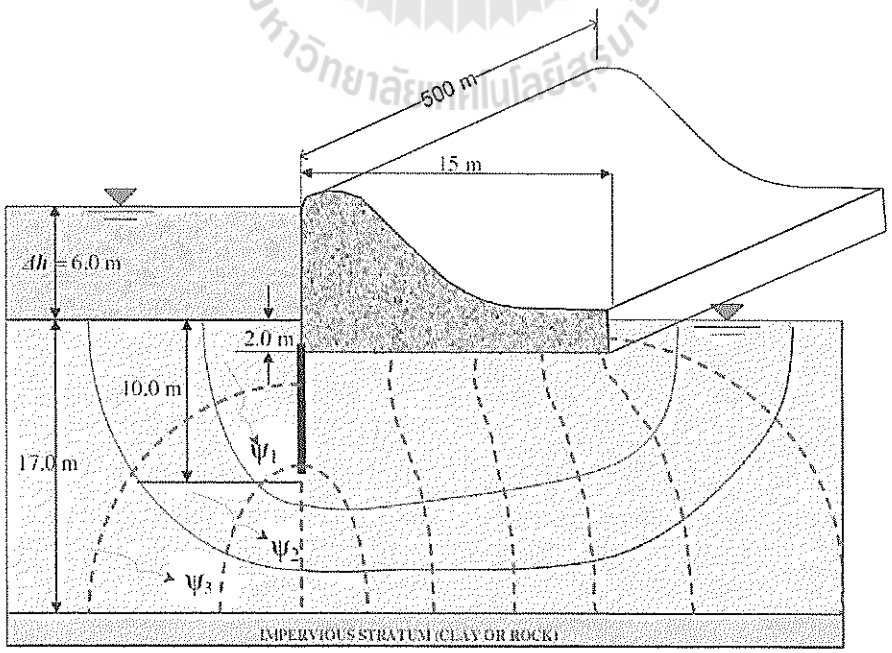
คำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฐานราก



$$q = k\cdot\Delta h\cdot\frac{N_f}{N_{eq}} = (3.5\times10^{-6}\ m/sec)\cdot(6m)\cdot\left(\frac{3}{10}\right)$$

$$= 6.3\times10^{-6} m^2/sec\ per\ m\ of\ dam\ width$$

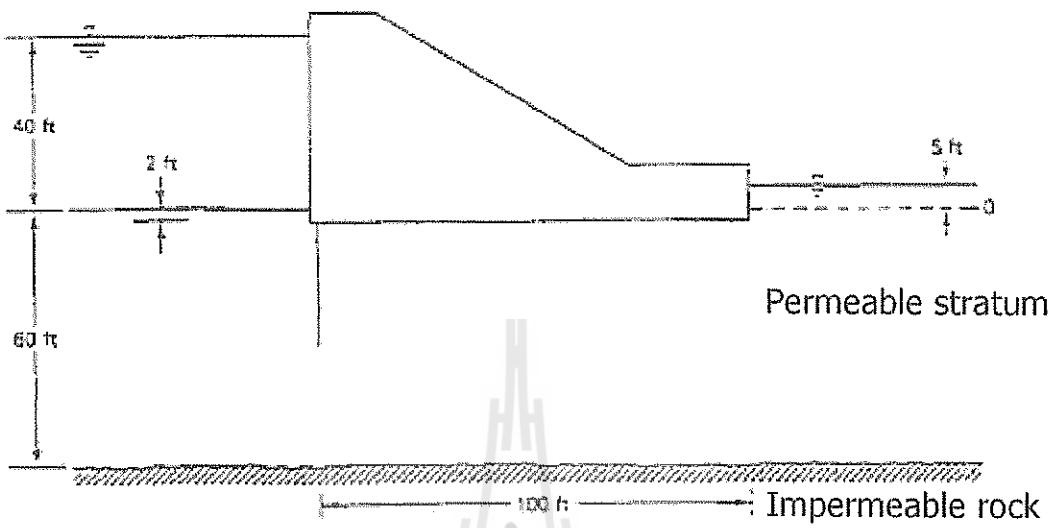
ถ้า....ตัวเขื่อนกว้างเท่ากับ 500 เมตร



$$Q = L\times q = \left(6.3\times10^{-6} m^2/sec\right)\times500m$$

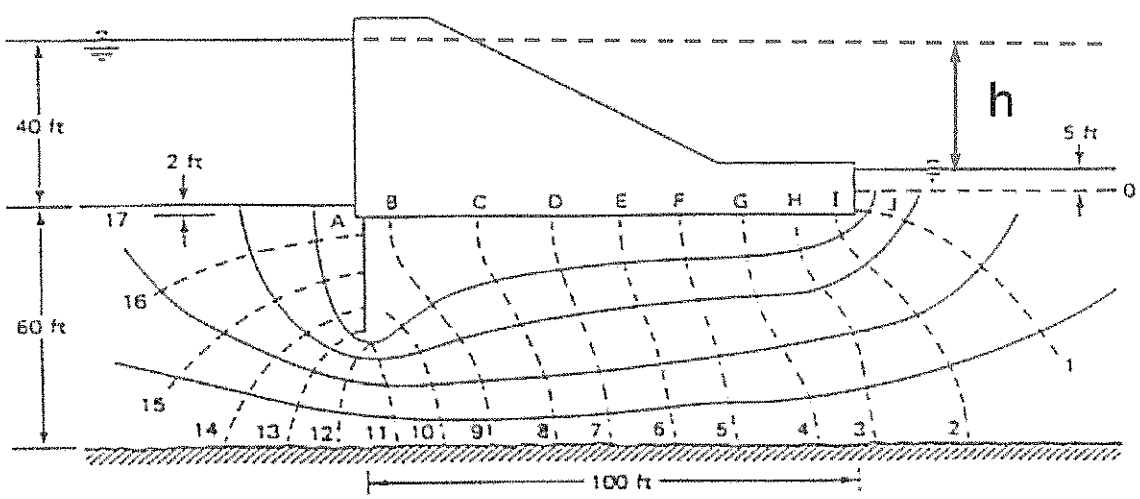
$$= 3.15\times10^{-3} m^3/sec$$

Example: A dam is constructed on a permeable stratum underlain by an impermeable rock. A row of sheet pile is installed at the upstream face. If the permeable soil has a hydraulic conductivity (K) of 150 ft/day, determine the rate of flow or seepage under the dam.



Flow Nets: Example

The flow net is drawn with: $N_f = 5$ and $N_{eq} = 17$



การคำนวณอัตราการไหล (Flow Rate, q)

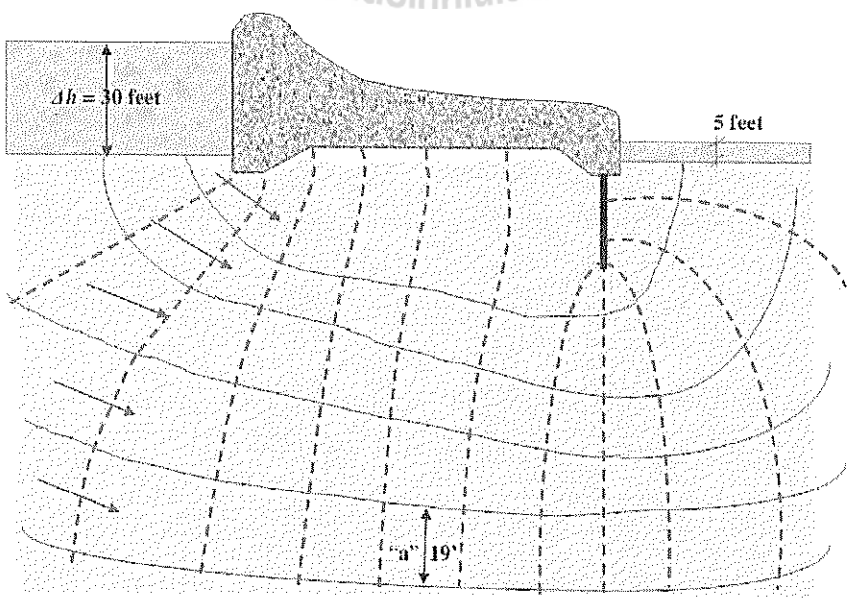
Solve for the flow per unit width:

$$q = k \times \Delta h \times (N_f/N_{eq})$$

$$= (150 \text{ ft/day}) \times (35 \text{ ft}) \times (5/17)$$

$$= 1544 \text{ ft}^2\text{/day per ft of dam width}$$

Using the flow net shown below, (1) determine the seepage underneath the 1,000 foot wide concrete dam, and (2) the velocity at point "*a*" in feet/hour, where the height of the net's square is 19 feet. The soil has a $G_S = 2.67$, $D_{10} = 0.01$ mm. Overestimate the flow by using Hazen's coefficient $C = 15$ to determine the permeability k.



Find the permeability k using Hazen's formula:

$$k = C(D_{10})^2 = 15(10^{-2}mm)^2 = 0.0015\frac{mm}{\sec}$$

Using Forheimer's equation with flow lines $N_f = 5$ and equipotentials $N_{eq} = 12$,

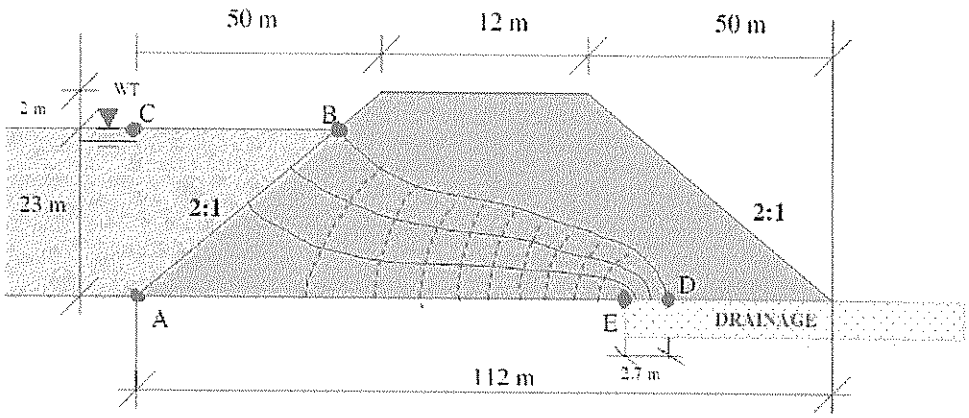
$$q = k\Delta h\frac{N_f}{N_{eq}} = \left(0.0015\ \frac{mm}{\sec}\right)\left(\frac{1\ in}{25.4\ mm}\right)\left[\frac{1\ ft}{12\ in}\right]\left(\frac{3.600\ \sec}{1\ hour}\right)(30'-5')\left(\frac{5}{12}\right) = 0.185\frac{ft^3}{hr-ft\ of\ dam}$$

$$\therefore Q = Lq = (1.000\,ft)\left(0.185\frac{ft^2}{hr}\right) = 185\frac{ft^3}{hr}$$

The velocity at "a" has a flow q in only that channel, or $q/5$,

$$v = \frac{q}{A} = \left(\frac{\frac{0.185\ ft^3}{5\quad hr}}{(19\,ft\ high)(1\,ft\ wide)}\right) \approx 0.002\frac{ft}{hr}$$

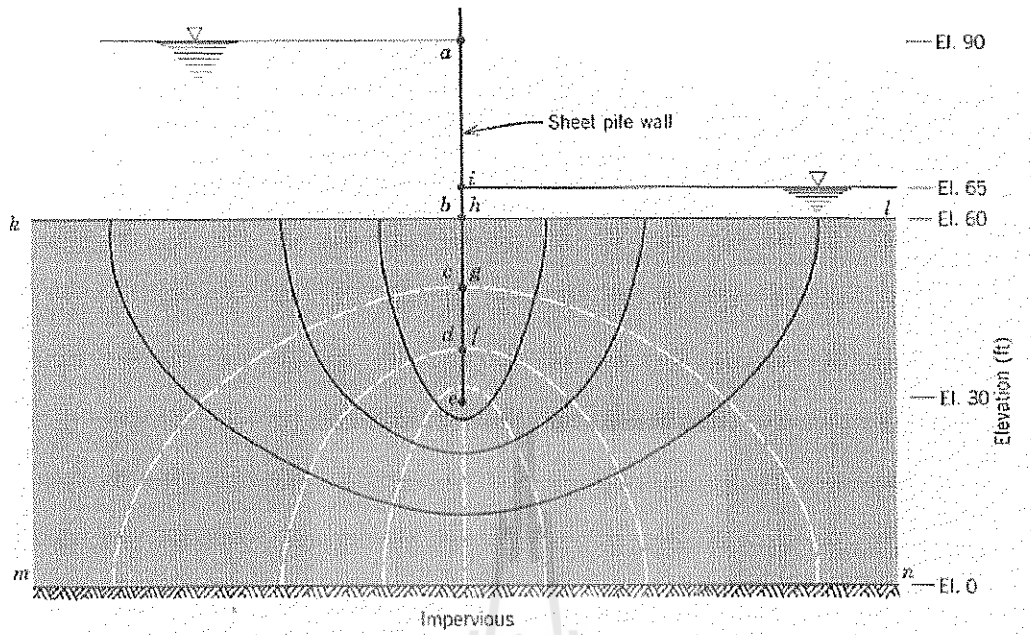
In western Miami-Dade County, the Everglades are contained with levees. Levee #111 runs North-South about 2 kilometers west of Krome Avenue and its cross section is show below. Laboratory tests indicate that the permeability of the 80-year old levee is 0.30 m/day. What is the volume of water lost through the levee along each kilometer in m^3/day?



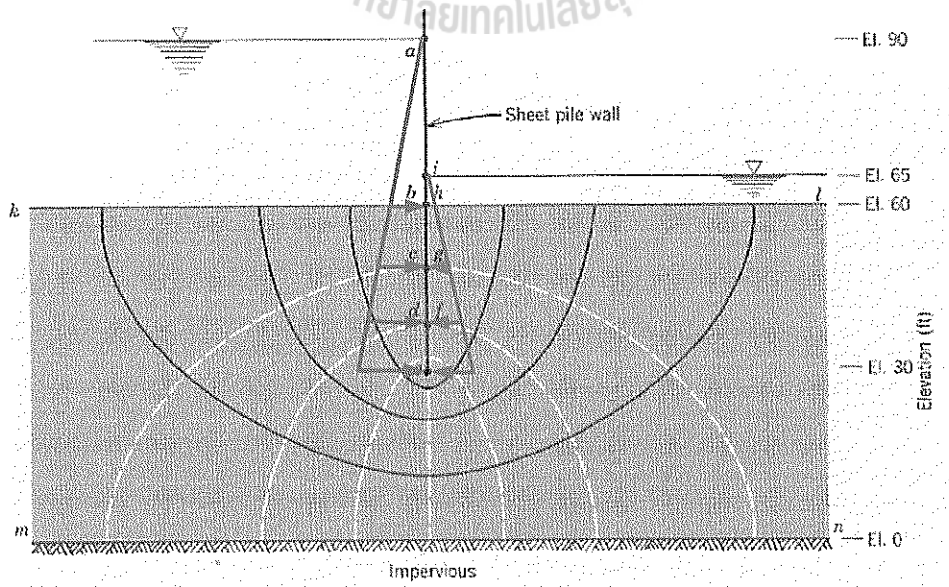
Using Forheimer's equation,

$$Q = Lq = L\left(k\Delta h\frac{N_f}{N_{eq}}\right) = (1.000\,m)\left(0.3\frac{m}{day}\right)(23m)\left(\frac{3}{10}\right) = 2.070\frac{m^3}{day}$$

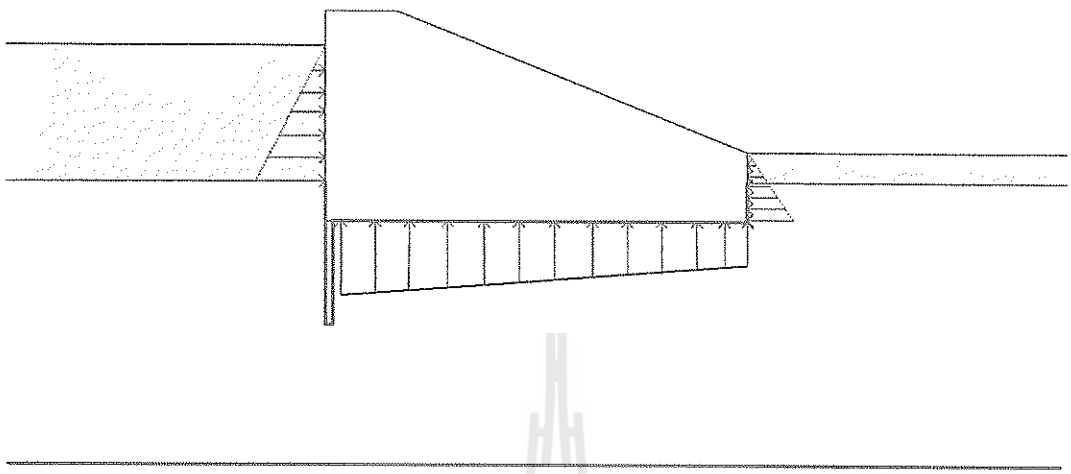
2) ใช้คำนวณแรงดันบน sheet pile wall



2) ใช้คำนวณแรงดันบน sheet pile wall...

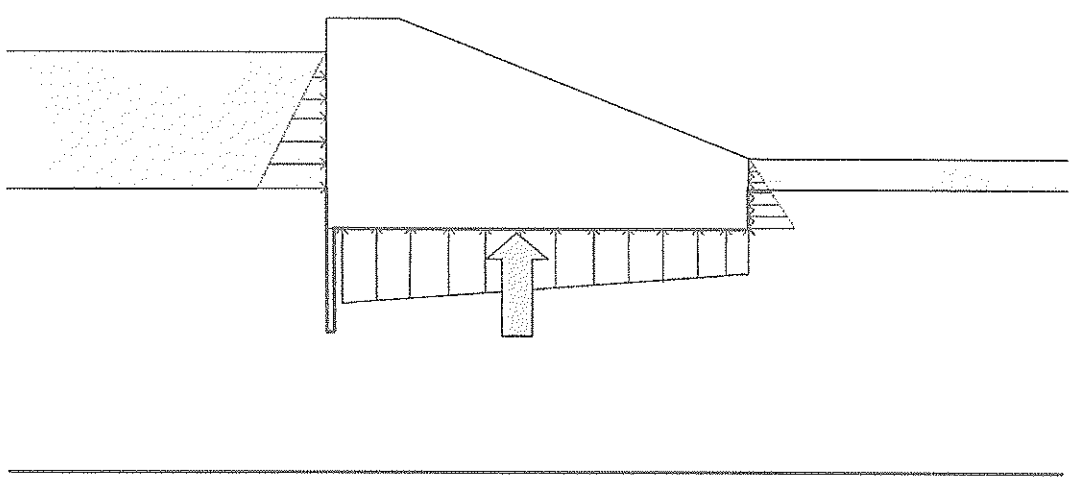


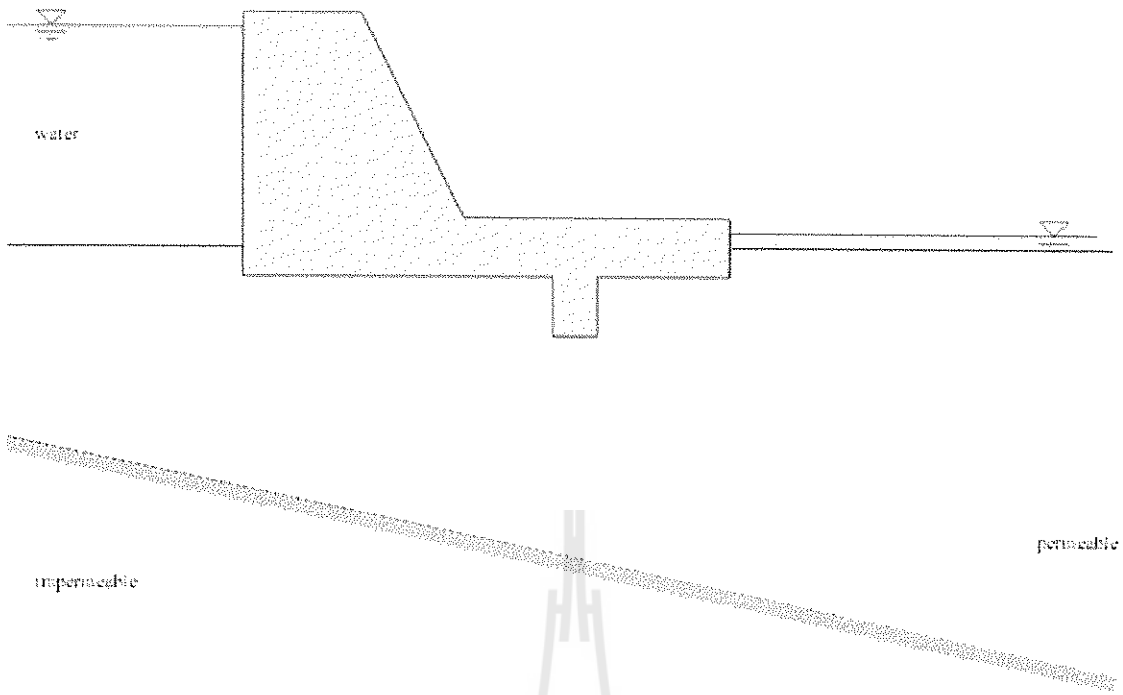
3) ใช้คำนวณแรงยกตัว (Pressure Lift up)ใต้ฐานราก เมื่อทราบค่า Pressure Head แต่ละตำแหน่งบนฐานราก

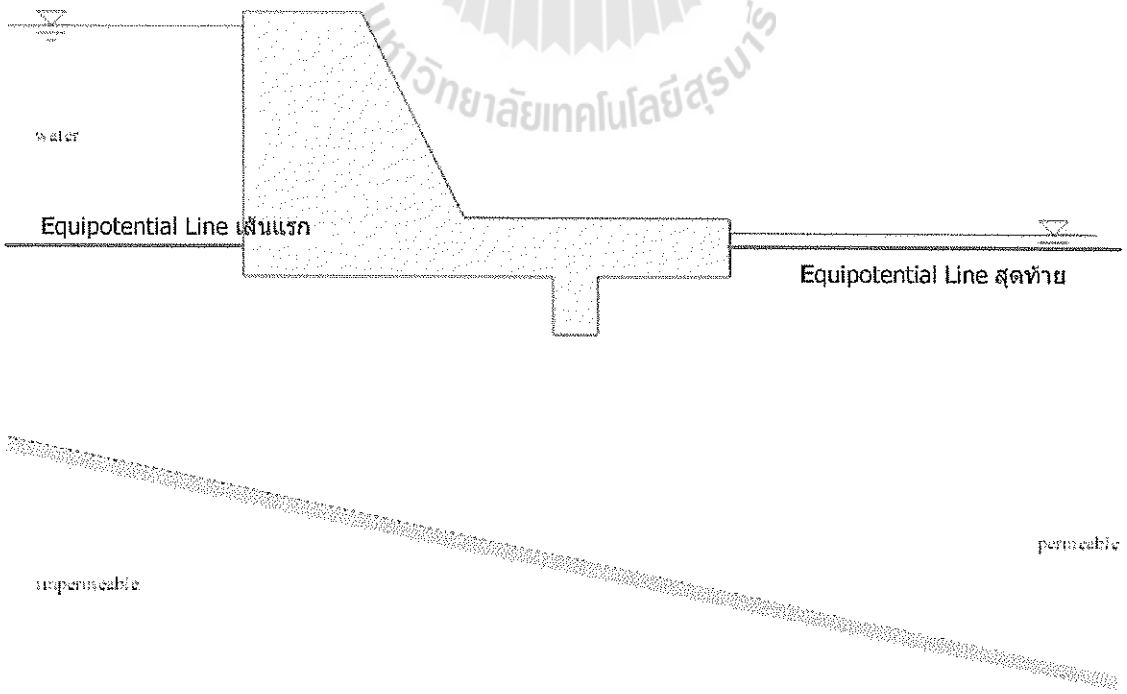


3) ใช้คำนวณแรงยกตัว (Pressure Lift up)ใต้ฐานราก เมื่อทราบค่า Pressure Head แต่ละตำแหน่งบนฐานราก

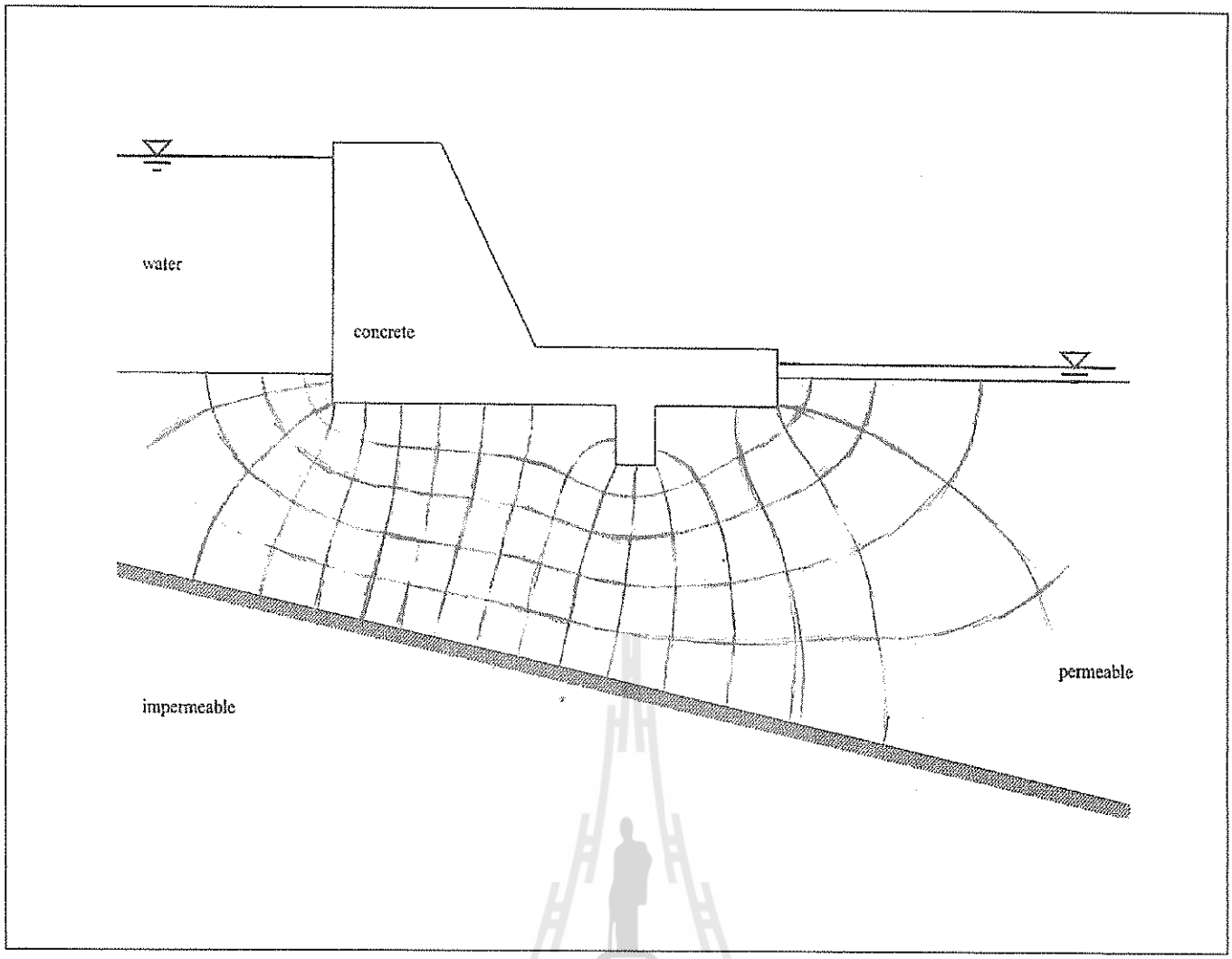
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี