

เอกสารอ้างอิง


- American Society for Testing Material, "Annual Book of ASTM Standards" ,
vol. 04.08 , 1990.
- Davidson D.T. "Soil stabilization with Chemicals". Ames , Iowa ;
Iowa Highway Research Board Bulletin 22, 1960.
- Demirel , T. , Benn , C.H. , and Davidson "Use of Phosphoric Acid in
Soil Stabilization." Highway Research Board Bull. 282,38-58 (1961)
- Grim, R.E. "Applied Clay Mineralogy" , New York : The Mcgraw-Hill Book
Company , 1963
- Grim, R.E. " Clay Mineralogy " , 2nd ed. New York : The Mcgraw-Hill Book
Company , 1968
- Hoover , James M. and D.T. Davidson : "Organic Cationic Chemicals as
Stabilizing Agent for Iowa Loess, "Highway Research Board Bull.
129 , 1956
- Kezdi, A. "Stabilized Earth Roads," New York : Elsevier Scientific
Publishing Co., 1979
- Lambe, T.W. "The Effect of Polymers on Soil Properties." Proc. Third
Intern. Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng. , Switzerland, 1953
- "____", T.W. "Civil engineering need for soil Chemicals". industrial and
Engineering Chemistry 47 (1955)
- "____", T.W. "The Structure of Compacted Clay, " Proc. ASCE, Paper
1654 , May 1958
- "____", T.W. "The Engineering Behavior of Compacted Clay, "Proc. ASCE ,
Paper 1655 , May 1958
- "____", T.W. - Michaels A.S. : Altering soil properties with chemicals
Chemical and Engineering News 32 , 1954, 488-497

- Leonards, G.A. "Foundation Engineering" New York, The Mc-Graw Hill Book Company, 1962
- Lyons, J.M., McEwan, F.J., and Siehenthal, C.D., "Phosphoric Acid in Soil Stabilization II : Secondary Additives, Acid Source, and Mechanism" HRB Bull 318, 15-24, 1962
- Mainfort, R.C. "A Summary Report on Soil Stabilization by the Use of Chemical Admixtures, "Civil Aeronautic Admin., Tech. Rept 136
- Michaels, A.S., Williams, P.M. and Randolph K.B., "Acidic Phosphorus Compounds as Soil Stabilizers. "Ind. Eng. Chem. 50, 1958
- "_____", A.S. and Tausch, F.W., Jr., "Fine-Grained Soil Stabilization with Phosphoric Acid and Secondary Additives. "HRB. Bull 241, 109-118, 1960
- "_____", A.S. and Tausch, F.W., Jr., "Phosphoric Acid Stabilization of Fine-Grained Soils : Improvements with Secondary Additives" HRB Bull. 282, 28-37, 1961
- Mitchell, J.K. "Fundamentals of Soil Behavior , "New York, John-Wileys and Sons Inc., 1976
- Murray, G.E. "Soil Stabilization by Chemical means" Proceedings of the Conference on Soil Stabilization. Cambridge, Mass. Massachusetts Institute of Technology, 1952
- RRP International. "Soil Stabilization Effect by means of RRP". RRP Report and Manual , Krizevci, 1988
- Sherwood, P.T. "Soil stabilization by the use of chemical admixtures" a review of the present position. Road and Road Construction, April 1961
- Slater, C.D., Ny berg, D.G., and Vikin, J., Infrared Spectroscopy Willard Grant Press, Boston, 1974

Smith, J.C. "Mixing chemicals with soil" Industrial and Engineering Chemistry 47, 1955, p.2240-2244

Whittig, L.D. "X-ray Diffraction Technique for Mineral Identification and Mineralogical Composition", Method of soil Analysis, Agronomy No.9, Chap 49, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 1965

พิมพ์ เรียบνάฒนา "สเบกโตรสโคปีขั้นพื้นฐาน กับการประกุคต์ทางเคมี" สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์,
พ.ศ.2525



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

- ก. การวิเคราะห์โดยวิธี X-ray diffraction
- ข. การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบสารเคมีด้วยคลื่นอินฟราเรด
- ค. วิธีการทดสอบคุณสมบัติการพองตัว และการทรุดตัวของดินเหนียวในแนวตั้ง
(ASTM D4546)



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์โดย X-ray diffraction

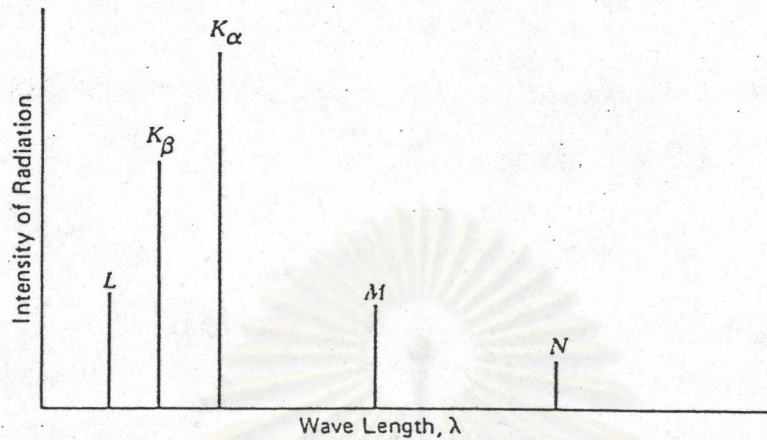
X-ray diffraction เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ศึกษาส่วนประกอบของแร่ที่เป็นผลึก โดยรังสีเอ็กซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.01 ถึง 100 Å รังสีเอ็กซ์เกิดจากการที่อิเล็กตรอนความเร็วสูงวิ่งเข้าชนสารที่ใช้ทำเป้า ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์อันหนึ่งอันใดใน 2 ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้น คือ

1. อิเล็กตรอนความเร็วสูงวิ่งเข้าไปชนและแทนที่อิเล็กตรอนที่อยู่ใน shell ชั้นในของอะตอมหนึ่งในสารที่ใช้ทำเป้า ดังนั้นอิเล็กตรอนที่อยู่ใน shell ชั้นนอก ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าจะลงมาแทนที่ จึงปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาเป็นรังสีเอ็กซ์ ส่วนความยาวคลื่นและความเข้มของการแผ่รังสี ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของอะตอมของสารที่ใช้ทำเป้า แต่เนื่องจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนสามารถเกิดขึ้นได้หลาย shell และแทนที่ในแต่ละ shell จะให้คุณลักษณะของรังสีเอ็กซ์ที่แตกต่างกัน ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสี (Intensity of radiation) กับความยาวคลื่นแสดงในรูปที่ ก.1

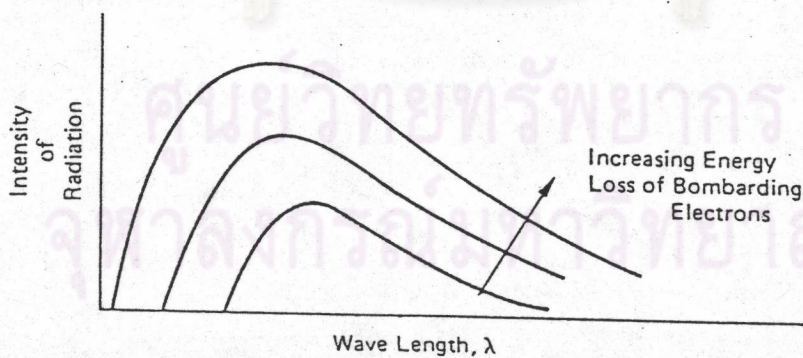
2. อิเล็กตรอนความเร็วสูงไม่ได้วิ่งเข้าไปชนอิเล็กตรอนในอะตอมของสารที่ใช้ทำเป้าโดยตรง เพียงแต่ความเร็วของอิเล็กตรอนช้าลงไป สนามไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับนิวเคลียสของอะตอม ดังนั้น พลังงานที่ลดลงจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนและโปรตอนของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดโดยวิธีนี้ คุณสมบัติจะไม่ขึ้นกับธรรมชาติของอะตอมที่ถูกชน คือจะให้ผลเป็นแถบของคลื่นต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่นแปรเปลี่ยนไปดังรูปที่ ก.2

ผลรวมของรังสีเอ็กซ์จากปรากฏการณ์ทั้ง 2 นี้จะเป็นดังรูป ก.3 ในทางปฏิบัติแล้ว รังสีเอ็กซ์จะถูกสังเคราะห์โดยใช้หลอดที่มีขั้วหนึ่งสร้างอิเล็กตรอน และด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 50,000 โวลต์ ทำให้เกิดลำอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนสารที่ใช้ทำเป้ารังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นนี้จะใช้ Curve crystal monochromator ทำให้มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียวหรืออาจจะใช้สารซึ่งสามารถดูดซึมรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ เป็นตัวกรองรังสีทำให้รังสีเอ็กซ์ที่มีความคลื่นเพียงค่าเดียว ความยาวคลื่นของ Monochromatic radiation จะขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ทำเป้าโดยความยาวคลื่นจะ

เป็น 0.71 \AA เมื่อใช้ฟิล์มลิถิئمทำเป้าจนถึง 2.29 \AA เมื่อใช้โครเมียมทำเป้า ส่วนทองแดงซึ่งเป็นสารที่ใช้กันมากในการวิเคราะห์แร่ดินเหนียวจะมีความยาวคลื่น เท่ากับ 1.54 \AA



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสี และความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนใน shell ต่างๆ โดยตัวอักษรแสดงถึง shell ที่ถูกแทนที่



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีกับความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดความเร็วของอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้า

การสะท้อนรังสีเอ็กซ์

เนื่องจากความยาวคลื่นประมาณ 1 \AA นี้เป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับระยะห่างของ Atomic plane ในสารที่มีโครงสร้างเป็นแบบผลึกทำให้อรังสีเอ็กซ์มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก Atomic plane กับรังสีเอ็กซ์ จะมีพฤติกรรมต่อกันคล้ายกับการสะท้อนของแสง กล่าวคือเมื่อรังสีเอ็กซ์กระทบกับโครงสร้างผลึกหลายล้านชั้น (layers) ก่อนที่จะถูกดูดซับที่แต่ละ Atomic plane ลำรังสีจะถูกดูดซับ โดยแต่ละอะตอมและจะเกิดการแกว่งเหมือนกับ dipole แล้วจะเกิดการแผ่รังสีในทุกทิศทาง การแผ่รังสีในทิศทางของคลื่นแสงรังสีเอ็กซ์ที่คลื่นเสริมกันนี้ จะถูกดักจับด้วยฟิล์มหรือเครื่องมือวัดรังสี

รูปที่ ก.4 แสดงลำรังสี ที่ขนานกันของรังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่น λ กระทบกับโครงสร้างผลึก ทำมุม θ กับ atomic plane ที่ขนานและห่างกันเป็นระยะ d ถ้าการสะท้อนของคลื่นจากจุด C ไปเป็นคลื่นเสริมกับที่สะท้อนมาจาก A แล้วผลต่างของระยะทางของคลื่นที่ 2 นี้ จะเท่ากับผลรวมของความยาวคลื่น คือ $n\lambda$ ผลต่างของระยะทางคือ ระยะ $BC+CD$

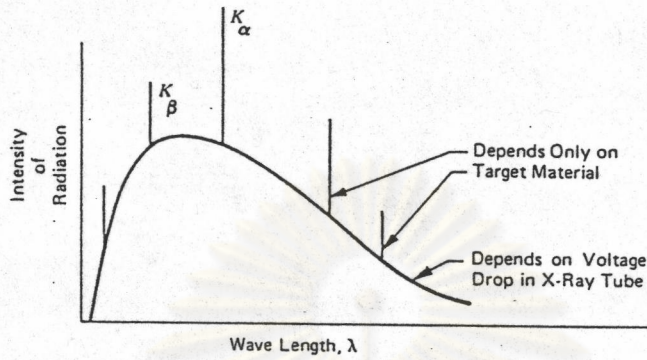
$$BC + CD = n\lambda \quad (1)$$

แต่จากการสมมาตรกัน $BC = CD$ และจากความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติ $CD = d \sin \theta$ ดังนั้นสมการ (1) จะเขียนใหม่ได้เป็น

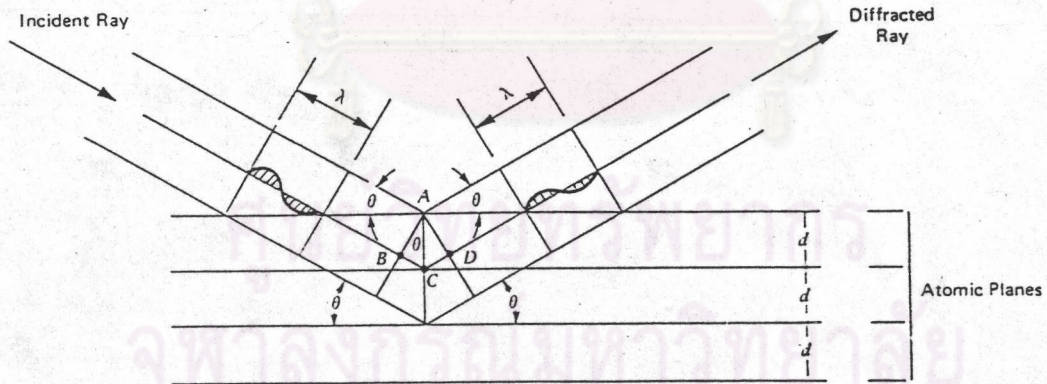
$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

ความสัมพันธ์นี้เรียกว่ากฎของ Bragg ซึ่งเป็นกฎพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของผลึกเมื่อใช้ X-ray diffraction เนื่องจากระยะห่างของ atomic plane ใน 3 มิติของแร่แต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้น มุมของรังสีสะท้อนจึงสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ชนิดของแร่ได้ X-ray diffraction เหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของแร่ดินเหนียว ด้วยเพราะระยะห่างของ atomic plane (001) มีค่าเฉพาะสำหรับแต่ละชนิดของแร่ดินเหนียว basal plane จะสะท้อนรังสีได้ดีที่สุดในโครงสร้างผลึกเพราะอะตอมใน plane นี้จะอยู่กันอย่างหนาแน่น นอกจากนี้ X-ray

diffraction ยังสามารถที่จะใช้ตรวจสอบแร่ที่ไม่ใช่ดินเหนียวในดินได้ดีเช่นกัน



รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์รวมของความเข้มของการแผ่รังสีเอกซ์กับความยาวคลื่น



รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของการสะท้อนรังสีเอกซ์ตามกฎของ Bragg

การตรวจนับรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนออกมา

รังสีที่สะท้อนออกมาจะถูกนับโดยใช้เครื่องมือ 2 ชนิดคือ

1. फिल्म โดยติดตั้งอยู่ในกล่องรูปทรงกระบอก การที่สามารถใช้ฟิล์มบันทึกผลได้เพราะรังสีเอ็กซ์ ทำให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับแสงอาทิตย์
2. Geiger Muller counting tube เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีที่สะท้อนออกมาโดยตรงแล้ว บันทึกค่าโดยอัตโนมัติ

การเตรียมตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ดินเหนียว โดยใช้ X-ray diffraction มีอยู่ 2 วิธี คือ

- Random powder method
- Oriented aggregate method

1. Random powder method เป็นการเตรียมตัวอย่างดินโดยใช้ตัวอย่างที่บดละเอียดและผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำมาใส่ในถ้วยดี เนื่องจากอนุภาคเล็ก ๆ แต่ละอนุภาคจะมีการจัดเรียงตัวในทิศทางต่าง ๆ กัน ดังนั้น จึงมีโอกาสที่เป็นไปได้ที่จะมีบางอนุภาคจัดเรียงตัวขนานกัน เมื่อถูกรังสีเอ็กซ์มาตกกระทบและจะสะท้อนออกไปด้วยความเข้มของรังสีต่าง ๆ แล้วถูกนับโดยแผ่นฟิล์มหรือ Geiger Muller counting tube ความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาจากการเตรียมตัวอย่างดิน ด้วยวิธีนี้จะเป็นสัดส่วนใกล้เคียงกับจำนวนผลึกที่อยู่ในสารมากกว่าตัวอย่างดินที่ติดตั้งโดย oriented aggregate method

การยัดตัวอย่างดินที่เตรียมแบบ random powder นี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

ก. Rod method ทำโดยเอาตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาบีบให้เป็นแท่งที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ถึง 0.5 มม. โดยใช้ตัวประสานพวก Gum tragacant ซึ่งตัวประสานนี้จะมีผลเล็กน้อยต่อ X-ray diffraction

ข. Wedge method ทำโดยเอาตัวอย่างดินที่เป็นผงละเอียดมาใส่ในตัวยึดที่ออกแบบให้ตัวอย่างดินเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Jeffries และ Jackson, 1949) การใส่ตัวอย่างดินไปในที่ยึดทำโดยใช้แผ่นแก้วกดให้เรียบ

2. Oriented aggregate method ทำโดยนำตัวอย่างดินที่ถูกแยกขนาดโดยใช้ deflocculating agent ช่วย แล้วนำสารที่ตกตะกอนอยู่ด้านบนซึ่งมีขนาด Clay size มาหยดบนแผ่นแก้วหรือ เซรามิค ดังนั้นอนุภาคดินเหนียวที่อยู่บนแผ่นแก้วหรือเซรามิคจะมีการจัดเรียงตัวขนาน ทำให้การสะท้อนรังสีจาก plane (001) มีความเข้มมากขึ้น ส่วนระนาบอื่น ๆ จะสะท้อนรังสีเอ็กซ์ได้น้อยลง X-ray diffraction ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีนี้จะได้ผลดี เมื่อใช้ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง แบบ Random powder

เพื่อให้การวิเคราะห์หาชนิดของแร่ดินเหนียวทำได้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น จึงได้มีการเตรียมตัวอย่างแบบ Oriented aggregate 4 แบบคือ

1. Mg-Saturation , air dry sample
2. Mg-Saturation , glycerol solvated sample
3. K-Saturated , air dry sample
4. K-Saturated , heated Sample (500 องศาเซลเซียส)

เนื่องจากว่าประจุบวกต่างชนิดกันจะทำให้มีปริมาณน้ำในปฏิกิริยา hydration แตกต่างกัน (Barshad, 1950 ; Norris , 1954 และ Mielenz, et.al , 1955) ดังนั้น ตัวอย่างดินที่เตรียมสำหรับการวิเคราะห์ X-ray diffraction จึงควรมีประจุบวกเพียงชนิดเดียว เพื่อจะได้มั่นใจว่าการขยายตัวซึ่งมีผลจากปฏิกิริยา hydration นั้นจะเป็นแบบเดียวกันในโครงสร้างผลึก การวิเคราะห์โดยทั่วไปมักทำกันในสภาพที่ตัวอย่างแห้งในอากาศ (air dry) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกประจุบวก ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง Mg^{2+} เป็นประจุบวก

ที่จำกัดการดูดซึมน้ำ ใน interlayer ของชั้นซิลิเกต ขยายตัวเป็นแบบเดียวกัน และ K^+ เป็นประจุบวกที่จำกัดการดูดซึมน้ำใน inter layer ของเวอรัมมิคูโลส ดังนั้นจึงเป็นประจุบวกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยทั่วไป (Hellman, et.al, 1943 , Mac Evan 1946 และ Walker, 1957)

ตัวอย่างที่ทำให้ห่อตัวด้วย K^+ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจะทำให้ hydroxy complex ถูกทำลายลง ซึ่งจะทำให้ระยะห่าง interlayer ของเวอรัมมิคูโลสหดตัวลง แต่คลอไรด์จะไม่มีเปลี่ยนแปลง

ตัวอย่างที่ผสมกลีเซอรอล ($C_3H_5(OH)_3$) ลงไปจะทำให้ระยะห่างของ interlayer ในแร่ดินเหนียวมอนท์โมริลโลไนท์ ขยายตัวจาก 14 \AA เป็น 17.7 \AA (Mac Evan, 1944; Bradley, 1945 ; White และ Jackson, 1947) ในขณะที่แร่ดินเหนียวเวอรัมมิคูโลสจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง (Walker, 1950; Barshad, 1950) ปรากฏการณ์นี้เป็นข้อแตกต่างที่จะใช้ในการแยกชนิดของแร่ดินเหนียวทั้ง 2 ชนิดนี้ สำหรับตารางที่ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวโดยวิธี X-ray diffraction จากการเตรียมตัวอย่างดินทั้งหมด 4 แบบดังกล่าวข้างต้นได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.1

การวิเคราะห์ X-ray pattern

X-ray diffraction pattern ที่ได้ไม่ว่าจะเป็นจากฟิล์มหรือจาก Geiger Muller counting tube จะให้ผลที่ประกอบด้วยมุมที่รังสีเอ็กซ์ตกกระทบกับแนวระนาบ (θ) กับความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนจากผลึกของแร่ในตัวอย่างดินชั้นแรก ในการวิเคราะห์ทำโดยหาระยะห่างของ interlayer โดยใช้กฎของ Bragg ดังแสดงไว้ในตารางที่ ก.2 จากโลหะที่ใช้ทำเป้าแตกต่างกันจะทำให้ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ที่จะนำมาวิเคราะห์แตกต่างกันในการทดลองนี้ใช้ทองแดง (Cu) เป็นเป้า ดังนั้นความยาวคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเท่ากับ 1.54 \AA ในการวิเคราะห์ ผลจะนำระยะห่างระหว่าง interlayer (d) ของตัวอย่างดินที่ได้มาเปรียบเทียบกับ pattern มาตรฐานของแร่บริสุทธิ์ ข้อมูล X-ray diffraction pattern ของแร่ที่พบโดยทั่วไปในดิน แสดงไว้ในตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ชนิดของแร่ดินเหนียวโดยวิธี X-ray Diffraction

Diffraction spacing (Å.)	Mineral (or minerals) indicated
<u>Mg-saturated, air-dried</u>	
14-15	Montmorillonite, vermiculite, chlorite
9.9-10.1	Mica (illite), halloysite
7.2- 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>Mg-saturated, glycerol-solvated</u>	
17.7-18.0	Montmorillonite
14-15	Vermiculite, chlorite
10.8	Halloysite
9.9-10.1	Mica (illite)
7.2- 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>K-saturated, air-dried</u>	
14-15	Chlorite, vermiculite (with interlayer aluminum)
12.4-12.8	Montmorillonite
9.9-10.1	Mica (illite), halloysite, vermiculite (contracted)
7.2- 7.5	Metahalloysite
7.15	Kaolinite, chlorite (2nd-order maximum)
<u>K-saturated, heated (500° C.)</u>	
14	Chlorite
9.9-10.1	Mica, vermiculite (contracted), montmorillonite (contracted)
7.15	Chlorite (2nd-order maximum)

ศูนย์วิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 การแปลงมุม θ ไปเป็นระยะห่าง ของ interlayer ตามกฎของ Bragg
เมื่อสารที่ใช้ทำเป้าเป็นทองแดง (Cu K α)

θ	0' (0)	6' (0.1)	12' (0.2)	18' (0.3)	24' (0.4)	30' (0.5)	36' (0.6)	42' (0.7)	48' (0.8)	54' (0.9)
0		44.32	220.66	147.11	110.33	88.265	73.555	63.048	55.167	49.038
1	44.134	40.123	36.779	33.950	31.526	29.425	27.586	25.964	24.521	23.230
2	22.069	21.020	20.065	19.193	18.393	17.658	16.980	16.351	15.767	15.224
3	14.717	14.243	13.798	13.380	12.987	12.617	12.268	11.937	11.623	11.325
4	11.042	10.773	10.517	10.273	10.040	9.8172	9.6043	9.4004	9.2050	9.0176
5	8.8377	8.6648	8.4986	8.3387	8.1847	8.0363	7.8933	7.7553	7.6220	7.4932
6	7.3688	7.2435	7.1320	7.0192	6.9100	6.8042	6.7016	6.6021	6.5054	6.4115
7	6.3203	6.2317	6.1456	6.0619	5.9804	5.9011	5.8239	5.7487	5.6755	5.6041
8	5.5345	5.4666	5.4004	5.3358	5.2727	5.2111	5.1510	5.0922	5.0347	4.9785
9	4.9236	4.8700	4.8176	4.7663	4.7161	4.6669	4.6187	4.5715	4.5253	4.4800
10	4.4357	4.3923	4.3497	4.3079	4.2669	4.2267	4.1873	4.1486	4.1106	4.0733
11	4.0367	4.0008	3.9656	3.9310	3.8970	3.8635	3.8306	3.7983	3.7666	3.7354
12	3.7047	3.6745	3.6448	3.6156	3.5869	3.5587	3.5309	3.5036	3.4767	3.4502
13	3.4241	3.3984	3.3731	3.3482	3.3237	3.2995	3.2757	3.2522	3.2291	3.2063
14	3.1839	3.1618	3.1400	3.1185	3.0973	3.0764	3.0558	3.0354	3.0153	2.9955
15	2.9760	2.9567	2.9377	2.9190	2.9005	2.8822	2.8642	2.8464	2.8289	2.8116
16	2.7945	2.7776	2.7609	2.7444	2.7281	2.7120	2.6961	2.6804	2.6649	2.6496
17	2.6345	2.6196	2.6048	2.5902	2.5758	2.5615	2.5474	2.5334	2.5196	2.5060
18	2.4926	2.4793	2.4661	2.4531	2.4402	2.4274	2.4148	2.4024	2.3901	2.3779
19	2.3659	2.3540	2.3422	2.3305	2.3189	2.3075	2.2962	2.2850	2.2739	2.2629
20	2.2520	2.2412	2.2306	2.2201	2.2097	2.1994	2.1892	2.1790	2.1690	2.1591
21	2.1493	2.1396	2.1299	2.1204	2.1110	2.1017	2.0924	2.0832	2.0741	2.0651
22	2.0562	2.0473	2.0385	2.0298	2.0213	2.0128	2.0044	1.9960	1.9877	1.9795
23	1.9713	1.9632	1.9552	1.9473	1.9394	1.9316	1.9239	1.9163	1.9087	1.9012
24	1.8938	1.8864	1.8790	1.8717	1.8645	1.8574	1.8503	1.8433	1.8363	1.8294
25	1.8226	1.8158	1.8091	1.8024	1.7958	1.7892	1.7826	1.7761	1.7697	1.7634
26	1.7571	1.7508	1.7446	1.7384	1.7323	1.7262	1.7202	1.7143	1.7084	1.7025
27	1.6967	1.6909	1.6851	1.6794	1.6737	1.6681	1.6625	1.6570	1.6515	1.6461
28	1.6407	1.6353	1.6300	1.6247	1.6195	1.6143	1.6091	1.6040	1.5989	1.5938
29	1.5887	1.5837	1.5788	1.5739	1.5690	1.5642	1.5594	1.5546	1.5499	1.5452
30	1.5405	1.5358	1.5312	1.5266	1.5221	1.5176	1.5131	1.5087	1.5043	1.4999

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ข้อมูล X-ray Diffraction ของแร่ที่พบทั่วไปในดิน

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

^a *Italics: (00l) spacing.*

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

การวิเคราะห์หาปริมาณของแร่ โดยวิธี X-ray diffraction

การหาปริมาณของแร่ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของตัวอย่างดินเหนียวโดยใช้การเปรียบเทียบความสูงของ diffraction peak หรือพื้นที่ใต้ diffraction peak โดยใช้หลักการเปรียบเทียบแบบธรรมดา ๆ นั้น ไม่สามารถจะทำได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากความแตกต่างกันของคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารซึ่งเป็นส่วนประกอบ ลักษณะผิวของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาค เป็นต้น ดังนั้นการเปรียบเทียบปริมาณของสารซึ่งเป็น ส่วนประกอบของตัวอย่างดินเหนียวจึงเป็นไปได้ยาก แต่อาจจะทำได้ผลที่ดีเมื่อใช้ internal standard ซึ่งเป็นสารประกอบพวก ZnO_2 มาใช้ประกอบการวิเคราะห์

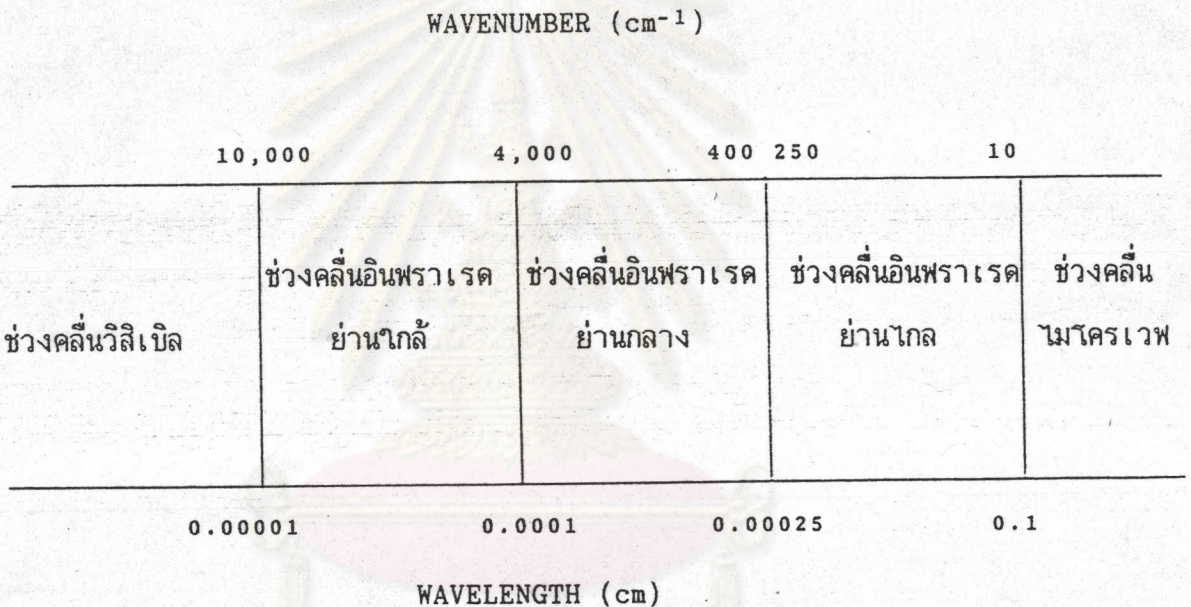
เนื่องจากหลักที่ว่าความสูงของ diffraction peak จะแปรโดยตรงกับปริมาณของสารประกอบที่ก่อให้เกิดสารประกอบชนิดเดียวกัน ในแต่ละตัวอย่างดินเหนียวโดยประมาณได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Infrared Spectroscopy

อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากที่สุดวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาโครงสร้างของโมเลกุล และใช้ในการทำคุณภาพวิเคราะห์สารเคมี ได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ รวมทั้ง Cation หรือ Anion ที่มีหลายอะตอม คลื่นอินฟราเรดมีความคลื่นอยู่ระหว่างช่วงคลื่นวิลิ เบิล และ คลื่นไมโครเวฟ หรือคลื่นวิทยุ ดังแสดงอยู่ในรูปต่อไปนี้



รูปที่ ข.1 ตำแหน่งของช่วงคลื่นอินฟราเรดในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ช่วงคลื่นอินฟราเรด อาจแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง คือ อินฟราเรดย่านใกล้ อินฟราเรดย่านกลาง (fundamental) และอินฟราเรดย่านไกล

ในช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ นั้น แถบดูดกลืนแสงส่วนใหญ่เกิดขึ้นจาก overtones ของ Hydrogen - stretching vibration ซึ่งมักใช้ประโยชน์สำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์ของ functional groups ต่าง ๆ เช่น -NH₂ , -OH เป็นต้น

ในช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านกลาง หรืออินฟราเรดหลัก มีแถบดูดกลืนแสงที่ให้ข้อมูล เกี่ยวกับการทำคุณภาพวิเคราะห์ของ functional groups และข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของ โมเลกุล

สำหรับช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ rotational transition เป็น ส่วนใหญ่ รวมทั้ง vibrational mode ของ crystal lattice และ skeletal vibrations ของโมเลกุลขนาดใหญ่

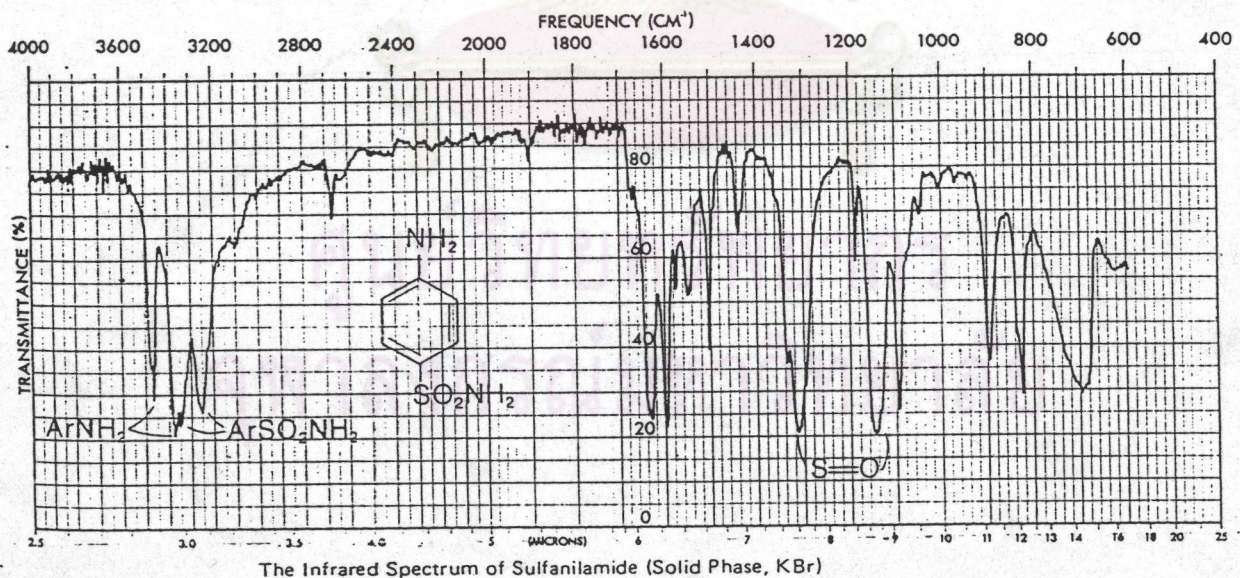
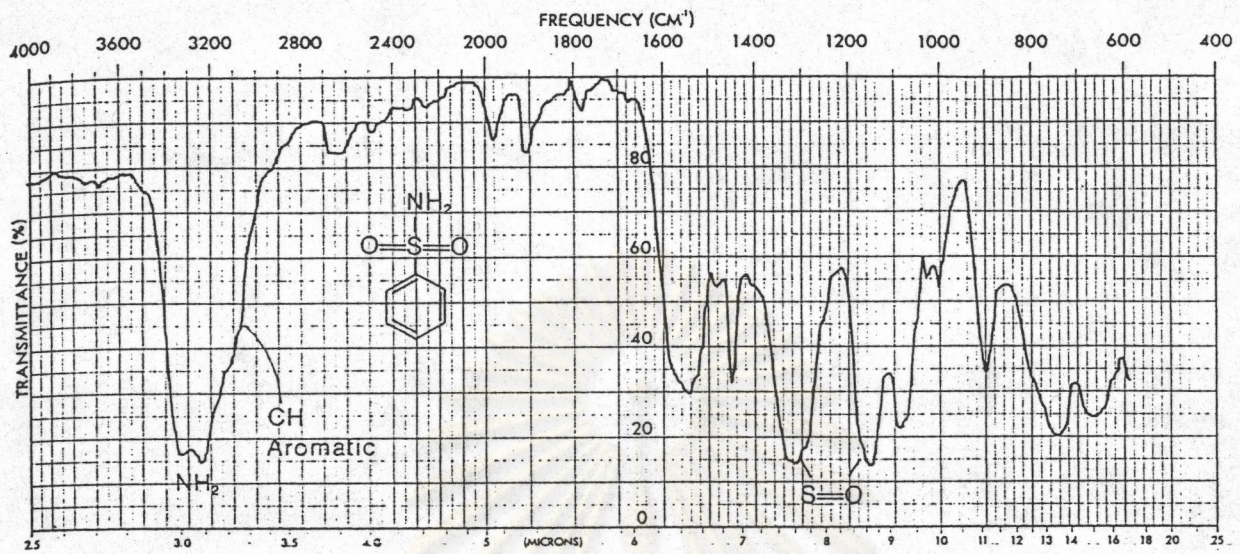
จากหลักการที่ว่า สารเคมีเกือบทุกชนิดดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดได้ ยกเว้นสาร ประเภทที่มีอะตอมเดี่ยว (monoatomic substances) เช่น Ne, He และสารที่มี 2 อะตอมซึ่ง เหมือนกัน เช่น O₂, N₂ และ H₂ ไม่ดูดกลืนคลื่นอินฟราเรด นอกจากนั้นยังพบว่า ไม่มี สารประกอบ 2 ชนิดใด ๆ ที่มีโครงสร้างต่างกัน จะมีอินฟราเรดสเปกตรัมเหมือนกันทั้งหมด ยกเว้น สารประเภท optical isomers และโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลบางชนิด ถึงแม้ว่าอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี จะเป็นเทคนิคที่มีขีดจำกัดต่ำสุดและความไวในการวิเคราะห์น้อยกว่าเทคนิคอื่น ๆ เช่น อุลตราไวโอเลต และ วิสibelสเปกโตรสโคปี ก็ตาม แต่นักเคมีก็นิยมใช้อินฟราเรด , สเปกโตรสโคปี กันมาก เพื่อตรวจสอบ functional groups ของสารอินทรีย์และใช้ในการหา โครงสร้างของโมเลกุล

ทฤษฎีการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรด

ในการที่สารจะดูดกลืนคลื่นแสงอินฟราเรดนั้น ต้องอาศัยวิธีการสำคัญ 2 ข้อคือ

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต้องมีพลังงานที่แน่นอน และเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการเกิด vibration transition ของสารนั้นพอดี
2. ต้องมีการทำปฏิกิริยา (coupling) ระหว่างคลื่นอินฟราเรดกับสารนั้น

คลื่นอินฟราเรดมีขนาดของพลังงานไม่สูงนัก แต่ก็มีค่ามากพอที่จะทำให้เกิด vibration transition ในโมเลกุลได้ ดังนั้นถ้าคลื่นอินฟราเรดมีความถี่เท่ากับ vibrational frequency ของโมเลกุลพอดี คลื่นอินฟราเรดก็จะดูดกลืนโดยโมเลกุลได้ แต่จะต้องเป็นไปตามข้อ 2 นั้นคือ



รูปที่ ข.2 ตัวอย่างอินฟราเรด สเปกตรัม ของสาร Benzenesulfonamide และ Sulfanilamide

โมเลกุลจะต้องมีการเปลี่ยนแปลง โดโพลโมเมนต์ หลังจากที่มีโมเลกุลนั้นเกิด fundamental vibrations แต่ถ้าโมเลกุลเกิด vibration แล้วจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง โดโพลโมเมนต์ จะทำให้ไม่มีปฏิกริยาร่วมระหว่างคลื่นอินฟราเรดกับโมเลกุลนั้น การสั่นสะเทือนดังกล่าวนี้เป็นแบบที่เรียกว่า infrared-inactive vibration ซึ่งไม่ดูดกลืนคลื่นอินฟราเรด

การประยุกต์ทางเคมีของอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

การนำเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีมาใช้ประโยชน์ทางเคมีที่สำคัญ 3 อย่างคือ

- การทำปริมาตรวิเคราะห์
- การทำคุณภาพวิเคราะห์
- ประโยชน์ในการหาโครงสร้าง

1. การทำคุณภาพวิเคราะห์ ในการตรวจสอบคุณภาพสารตัวอย่างและของผสมที่เป็นทั้ง สารอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยอินฟราเรดสเปกตรัมของสารใด ๆ จะมีคุณลักษณะเฉพาะของสารนั้น ดังนั้นอินฟราเรดสเปกตรัมของสารผสม ก็จะเป็นผลรวมของสเปกตรัมของสารที่เป็นส่วนประกอบหรือ เป็นสเปกตรัมรวมที่มีการซ้อนทับกันของแต่ละสเปกตรัม

สารอินทรีย์ทุกชนิดดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ ให้แถบดูดกลืนแสงเป็นจำนวนมาก แตกต่างกันทั้งตำแหน่ง ความเข้ม และรูปร่างของแถบ ส่วนสารอนินทรีย์ทุกชนิดประกอบด้วย อีออนบวก หลายอะตอม หรือ อีออนลบที่มีหลายอะตอม ดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ แต่แถบดูดกลืนแสงของ สารอนินทรีย์มีจำนวน peak น้อยกว่า และมีลักษณะกว้างกว่า IR peak ของสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ สารอนินทรีย์จะมีแถบดูดกลืนแสงในช่วงความถี่ต่ำกว่า 400 cm^{-1}

การทำคุณภาพวิเคราะห์ทำได้รวดเร็ว ใช้ปริมาณสารเพียงเล็กน้อยเพียง 10 ไมโครกรัม และเป็นเทคนิคที่ไม่เน้นการทำลายสารตัวอย่าง เกณฑ์ที่ใช้ทดสอบคุณภาพสารตัวอย่าง เดี่ยว ๆ หรือสารผสมตัวอย่าง คือ ใช้เปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมของสารตัวอย่างว่าเหมือนกับ สเปกตรัมของสารที่ทราบสูตรแน่นอนหรือไม่ พิจารณา functional group ตำแหน่งและความเข้ม ของ peak

2. การทำปริมาตรวิเคราะห์ การหาปริมาตรสารโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี มักมี ปัญหาหลายอย่าง เช่น มักมีการเบี่ยงเบนไปจากกฎของเบียร์ ทั้งนี้เพราะ IR peak มีลักษณะ แหลมคมจึงต้องเปิดช่องแสงผ่านออกให้กว้าง เพื่อเพิ่มพลังงานแสงให้เพียงพอต่อการวัดความเข้ม อันนี้เมื่อผลต่อการใช้คลื่นแสงที่ไม่เป็นคลื่นเดี่ยว นอกจากนี้ยังพบปัญหาคลื่นแสงจากที่อื่น รวมทั้งการปรับ 0% T และ 100 % T

3. การหาโครงสร้างของสาร มักใช้ช่วงความถี่ที่เรียกว่า group frequency region ($2-7 \mu\text{m}$) โดยนำสเปกตรัมของสารตัวอย่างมาศึกษาอย่างละเอียด พิจารณาแถบดูดกลืนแสงที่มีความเข้มสูงสุด โดยพยายามตรวจสอบดูว่าประกอบด้วย functional group อะไรบ้าง ตรวจสอบแถบที่มีความเข้มปานกลาง และความเข้มต่ำ ขั้นสุดท้ายใช้โมเดลหลายแบบประกอบการหาโครงสร้าง ทำนายทั้งจำนวนและชนิดของ fundamental frequency โดยใช้กฎของโครงสร้าง เปรียบเทียบกับค่าจริงที่สังเกตได้จากการทดลอง

ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

เครื่องมือที่ใช้ศึกษาการดูดกลืนคลื่นแสงมีหลายชนิด แตกต่างกันทั้งการออกแบบ การสร้าง และการใช้งาน อย่างไรก็ตามเครื่องมือเหล่านี้มีส่วนประกอบพื้นฐานเหมือนกัน 5 ส่วนดังนี้

1. แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (source of electromagnetic radiation) นิยมใช้วัตถุทึบไฟที่เรียกว่า Globar เป็นแท่งกลมทำด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ หรือ Nernst glower เป็นแท่งกลมทำด้วยออกไซด์ผสมของเซอร์โคเนียม และ อิตเทรียม

2. เครื่องมือแยกคลื่นแสงออกเป็นแถบหรือช่วงคลื่นแคบ ๆ wavelength selector ประกอบด้วย ฟิลเตอร์ และ โมโนโครมาเตอร์

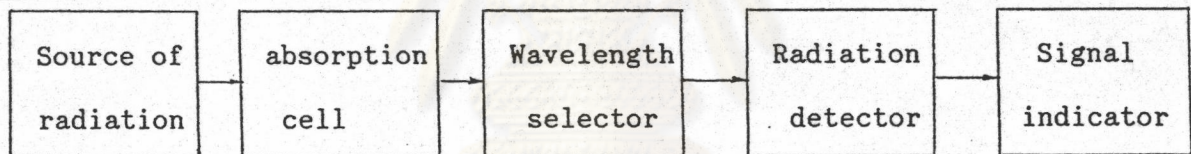
3. ภาชนะโปร่งแสงสำหรับใส่สารที่จะวิเคราะห์ (absorption cell)

4. เครื่องวัดความเข้มของคลื่นแสง (Radiation detector) สำหรับคลื่นอินฟราเรด

ย่านใกล้ จะใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น ตะกั่วซัลไฟด์ เจอร์มาเนียม เป็นต้น ส่วนคลื่นอินฟราเรดย่านกลาง และย่านไกล จะใช้เครื่องวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เช่น Thermo couple , Balometer , Gelay cell เป็นต้น

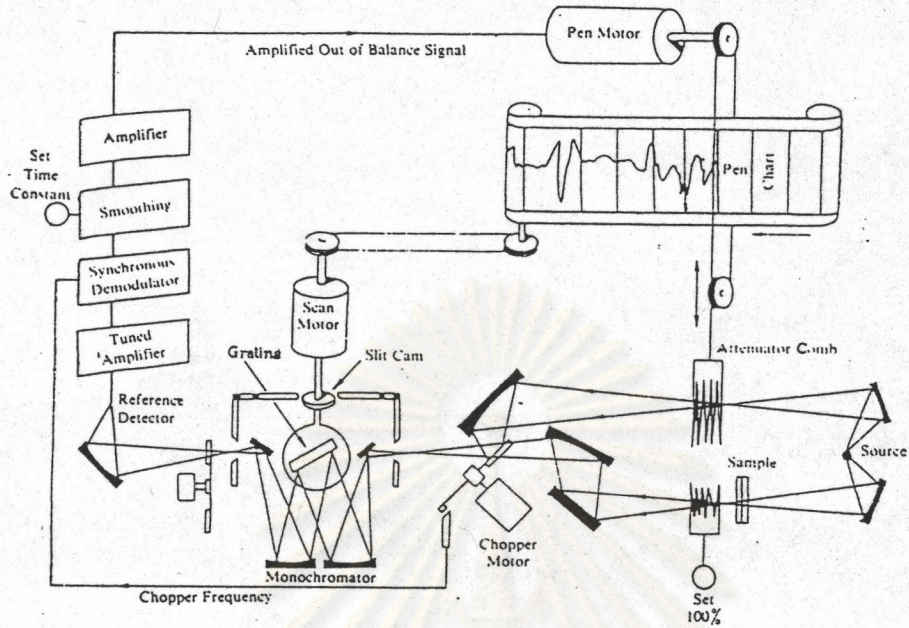
5. เครื่องอ่านหรือแปลสัญญาณ (signal indicator or Read-out device) มี 2 แบบ คือ แบบอ่านโดยตรงโดยใช้มิเตอร์ (direct reading) และแบบทำให้สัญญาณสมดุล (null-balance)

การจัดเรียงส่วนประกอบพื้นฐานแสดงในแผนภาพรูปที่ ข.3 จะเห็นได้ว่า เครื่องมือที่ใช้คลื่นอินฟราเรด มีเซลล์อยู่ตามหลังแหล่งของแสง เพราะไม่มีปัญหาเรื่องการสลายตัวของสารด้วยคลื่นแสง เพราะแสงอินฟราเรดมีพลังงานต่ำ

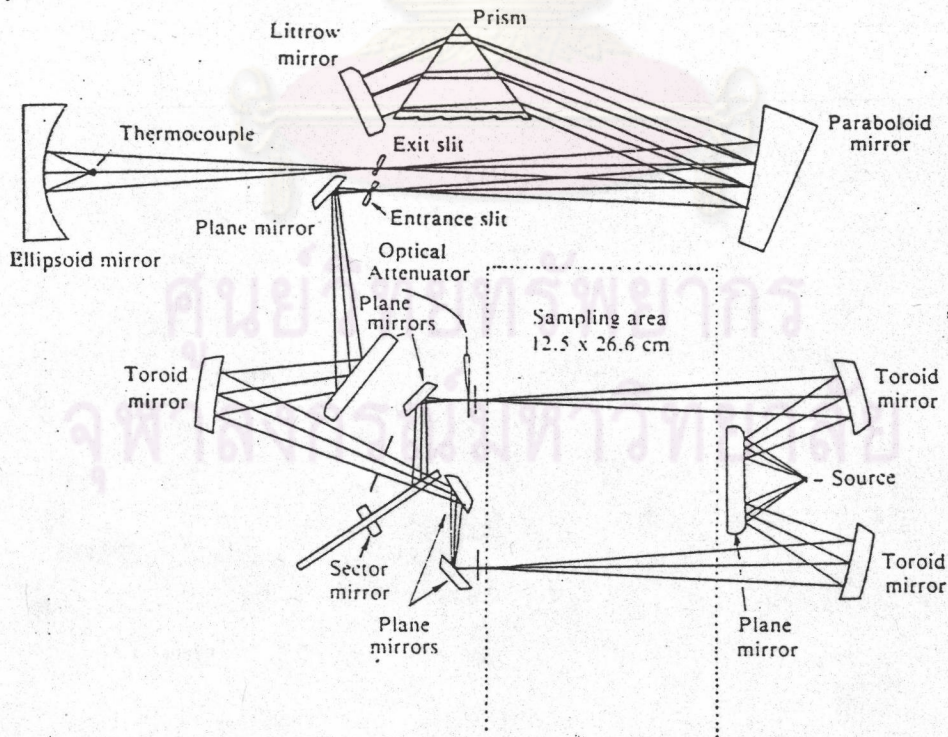


รูปที่ ข.3 แผนผังขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือวัดการดูดคลื่นอินฟราเรด

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงรังสีอินฟราเรด อาจแบ่งได้กว้างดังนี้ คือ filter photometer , สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบบันทึกไม่ได้ (manual or non-recording Spectrophotometer) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แบบอัตโนมัติ (Automatic recording Spectrophotometers) ตัวอย่างแผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องมือ แสดงในรูป ข.4 และ ข.5



รูปที่ ข.4 เครื่องมือบันทึกสเปกตรัมแบบอัตโนมัติ แบบทั่วไปที่ใช้ระบบ Optical-null



Schematic diagram of Perkin-Elmer model 137

รูปที่ ข.5 แผนผังอุปกรณ์ภายในของเครื่องมือบันทึกอินฟราเรดสเปกตรัม แบบ Perkin-ELMER รุ่น 137

ภาคผนวก ค.

วิธีการทดสอบคุณสมบัติการพองตัว และการทรุดตัวของดินเชื่อมแน่นในแนวตั้ง

(One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils)

ในการศึกษาคุณสมบัติการพองตัวของดินที่มีความเชื่อมแน่น (cohesive soil) จำเป็นจะต้องทราบขนาดการพองตัวหรือการทรุดตัว ภายใต้แรงกดในแนวตั้งซึ่งวิธีการทดสอบนี้ จะทำให้สามารถคำนวณหาขนาดการพองตัวหรือการทรุดตัว ภายใต้แรงกดในแนวตั้งที่ทราบค่าแล้วได้ และยังสามารถหาค่าแรงกดในแนวตั้งที่ไม่ทำให้ตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร วิธีการทดสอบนี้ใช้ได้กับดินสภาพที่ไม่ถูกรบกวน และดินที่ผ่านการบดอัด (undisturbed or compacted cohesive soil)

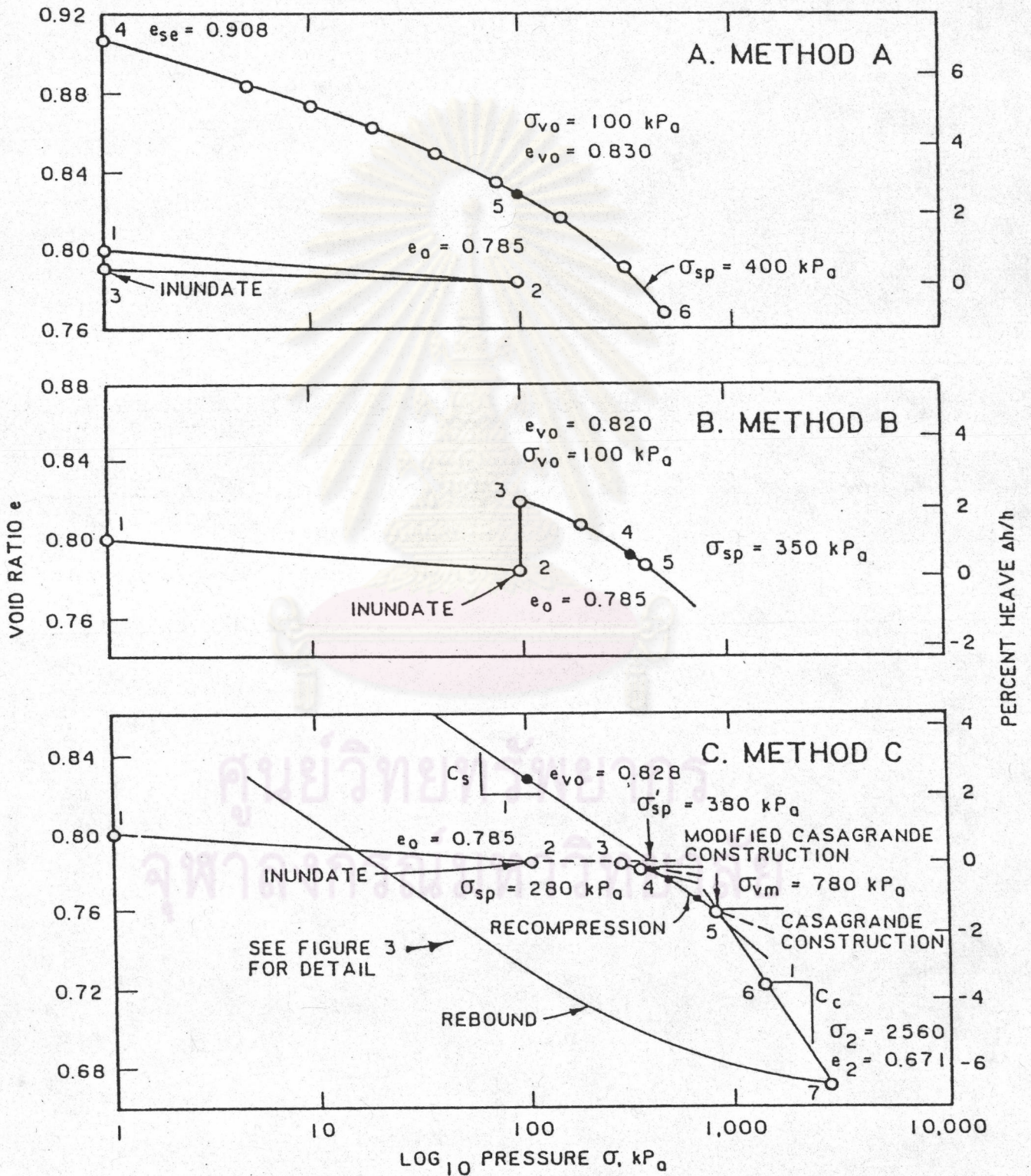
การทดสอบคุณสมบัติการพองตัวและทรุดตัวนี้สามารถใช้ในการประมาณค่าการออกและการทรุดตัว (heave or settlement) โดยกำหนดปริมาณความชื้นและสภาพน้ำหนักต่าง ๆ เช่นเดียวกับสภาพที่ทำการก่อสร้างโดยคัดเลือกวิธีการ, การให้น้ำหนัก และลำดับการแช่น้ำ (inundation sequences) ให้ใกล้เคียงกับสภาพเป็นจริง ขณะก่อสร้าง และหลังทำการก่อสร้าง

การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ สำหรับสภาพดินที่ทำการบดอัด จะควบคุมหน่วยน้ำหนัก (unit weight) และปริมาณความชื้น (water content) ให้ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุด แล้วจึงนำไปทำการทดสอบตามวิธีการ ซึ่งแยกตามวัตถุประสงค์การใช้งาน 3 วิธีดังนี้คือ

1. Method A วิธีการทดสอบนี้จะใช้วัดค่า free swell, percent heave ภายใต้แรงดันแนวตั้งที่เพิ่มขึ้นจนถึงแรงดันแนวตั้งที่เพิ่มขึ้นจนถึงแรงดันการพองตัว และวัดค่าแรงดันการพองตัว (swell pressure)

2. Method B วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า percent heave หรือ settlement ภายใต้แรงดันแนวตั้งเทียบเท่าน้ำหนักกดทับจริงในสนาม (insitu vertical overburden pressure) หรือภายใต้แรงดันที่เพิ่มขึ้นจนถึงแรงดันการพองตัวและวัดค่าแรงดันการพองตัว (swell pressure)

3. Method C วิธีการทดสอบวัดค่าการพองตัว (swell pressure) ,ค่าแรงดันการยุบอัดตัวคายน้ำ (Preconsolidation pressure) และค่า percent heave or settlement ภายในช่วงแรงดันแนวตั้งที่กำหนด

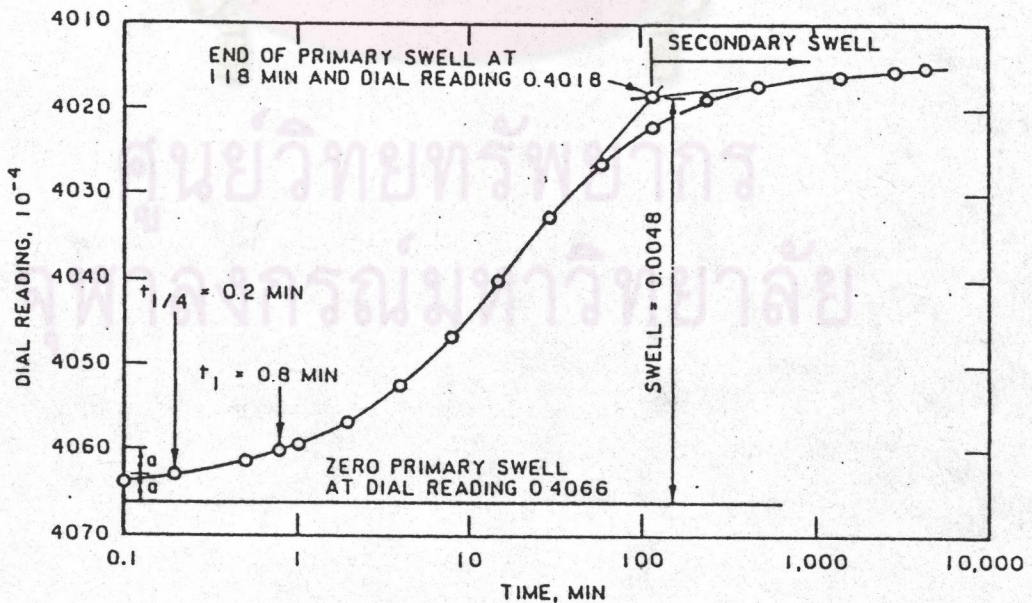


รูปที่ ค.1 Void Ratio - log Pressure Curve

การดำเนินการทดสอบทั้ง 3 วิธีการ จะใช้ตัวอย่างดินที่เตรียมโดยจำกัดพื้นที่ด้านข้าง และให้หน้าหนักกดในแนวตั้ง ด้วยเครื่องทดสอบการยุบตัวของดิน (consolidometer) โดยยังไม่ต้องเติมน้ำ แล้วทำการติดตั้งอย่างดินพร้อมทั้งให้แรงกดเริ่มต้น (seating pressure, σ_{se}) ซึ่งเป็นแรงดันเนื่องจากน้ำหนักหินพูนและแผ่นน้ำหนักที่อยู่บนตัวอย่างมีค่าประมาณไม่น้อยกว่า 1 kPa (20 lb/ft²) เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงทำการทดสอบด้วยวิธีการตาม Method A, B หรือ Method C ดังต่อไปนี้

Method A

ภายหลังจากการบันทึกค่าเริ่มต้น ภายใต้อันตรัด seating pressure ให้เติมน้ำ (inundate) ท่วมตัวอย่างทันที แล้วอ่านค่าจนกระทั่งการพองตัวเริ่มแรก (primary swell) สิ้นสุด จากนั้นจึงเพิ่มแรงกดในแนวตั้งทีละค่าเริ่มจาก 5, 10, 20, 40, 80 kPa เป็นต้น ทำเช่นเดียวกับ การทดสอบ Consolidation Test ตามมาตรฐาน ASTM D2435 จนกระทั่งตัวอย่างดินถูกกดอัด (recompress) จนถึงค่า initial void ratio/height เหมือนเดิม



รูป ค.2 Time - Swell Curve

Method B

เพิ่มแรงดัน ให้มากกว่าแรงดันเริ่มต้น (seating pressure) เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงเติมน้ำท่วมตัวอย่างดินทันที จนกระทั่งการพองตัวเริ่มแรก (primary swell) สิ้นสุดลง จากนั้นกระทำการทดลองเช่นเดียวกับ Method A จนได้ค่า initial void ratio/height เท่าเดิม

Method C

เพิ่มแรงดันขั้นแรก σ_1 ให้ใกล้เคียงกับค่าแรงดันแนวตั้งในสนาม โดยประมาณหรือเท่ากับ แรงดันการพองตัวเป็นระยะเวลา 5 นาที หลังจากนั้นจะเติมน้ำท่วมตัวอย่างดินทันที และเพิ่มแรงดัน แนวตั้งพอเพียงที่จะไม่ทำให้ดินเกิดการพองตัว คือระยะที่อ่านได้อยู่ในช่วง 0.005 มม. และไม่เกิน 0.010 มม. แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักเช่นเดียวกับวิธีการแรก เพื่อหาค่าจุดเปลี่ยนเว้าสูงสุด (Maximum point of curvature) บนกราฟ consolidation พร้อมทั้งหาค่าความชันของ virgin compression curve ส่วนการถอนน้ำหนัก (rebound) ทำตามการทดสอบมาตรฐาน ASTM D2435

การคำนวณผล

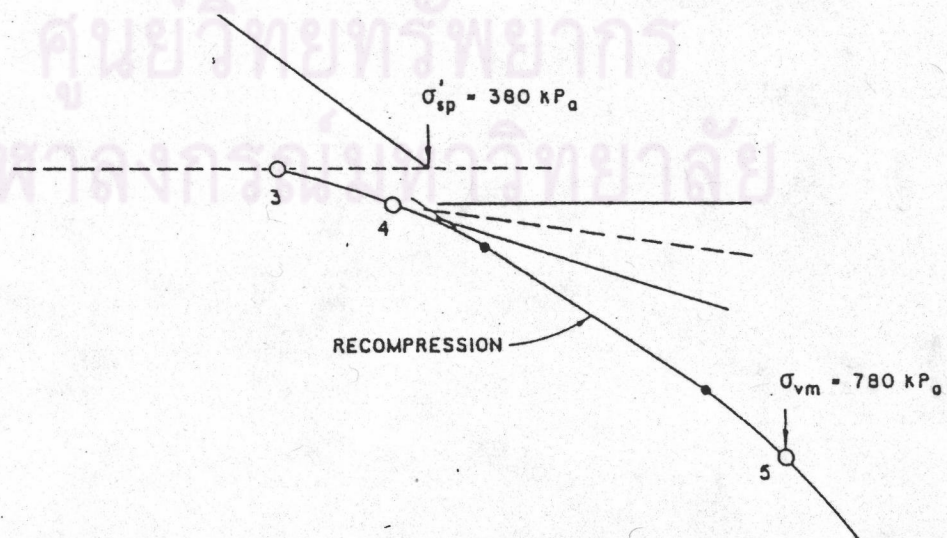
1. Percent heave or settlement ภายใต้อันตรึงแรงดันแนวตั้ง σ_v เปรียบเทียบกับ initial void ratio e_0

$$h/h_0 \times 100 = e - e_0 / (1 + e_0) \times 100$$

โดย h = การเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่าง
 h_0 = ความสูง เริ่มแรก of ตัวอย่างดิน
 e = void ratio ภายใต้อันตรึงแรงดันที่กำหนด σ_v
 e_0 = void ratio เริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ

2. Swell pressure, σ_{sp} (Method C) การรบกวนและกระบวนการเพิ่มแรงดันแนวตั้ง อาจทำให้เกิดการขยายตัว ซึ่งมีผลทำให้ค่าความดันการพองตัวสูงสุดที่สังเกตได้ลดลง จึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้ที่เหมาะสมโดยใช้ค่า preconsolidation pressure, σ_{vm} เป็นหลัก และพิจารณาเส้น Virgin compression curve แทน หากสังเกต recompression curve ได้ไม่ชัดเจน แล้วทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ก. กำหนดจุดเปลี่ยนเว้าสูงสุด (Maximum point of curvature)
- ข. วาดเส้นแนวอน, เส้นสัมผัสโค้งและเส้นแบ่งกึ่งกลาง ที่จุดเปลี่ยนเว้าสูงสุด
- ค. ลากเส้นจาก compression curve กลับไปตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลาง (bisector) ที่จุด preconsolidation pressure σ_{vm} ซึ่งความดันการพองตัวก็คือ preconsolidation pressure สำหรับกรณีที่มีความชันของ rebound curve น้อยกว่า compression curve มาก ส่วนในกรณีที่ σ_{sp} น้อยกว่า σ_{vm} จะลากเส้น recompression line ไปตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลาง จุดตัดนั้นคือแรงดันการพองตัวที่ปรับแก้แล้ว (corrected swell pressure)
- ง. ลากเส้นตรงขนานกับ rebound curve เพื่อหา void ratio ซึ่งอยู่เหนือจุด e_0 จะได้ void ratio, e_{v0} หลังจากการพองตัวที่ความดันแนวตั้งเริ่มต้น σ_{v0}



รูป ค.3 Construction Detail for Method C

ประวัติผู้เขียน

นายอาคม เตชะธัญญกุล เกิดเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2508 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี ในปีพ.ศ.2531

จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ในปีถัดมา



คณบดีวิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย