

ปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics)



1.1 ประวัติและที่มาของวิชาปฐพีกลศาสตร์

ดินเป็นวัสดุที่มนุษย์รู้จักและคุ้นเคยมาตั้งแต่สมัยโบราณ อาจนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ด้านเกษตรกรรม ด้านวิศวกรรม ด้านปฏิกิริยากรรม เป็นต้น แต่ในทางวิศวกรรมนั้นจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับงานของวิศวกรรมโยธา เป็นส่วนใหญ่และจะมุ่งเน้นไปทางการหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมในด้านต่าง ๆ การมุ่งเน้นหาคุณสมบัติของดินนั้น เพราะว่าดินเป็นสิ่งที่มีมนุษย์ไม่ได้สร้างขึ้นมา แต่เป็นการเกิดจากการแตกสลายผุร่อนของหินทั้งโดยวิธีการทางกายภาพ (Physical Weathering) และโดยวิธีการทางเคมี (Chemical Weathering) แล้วมีการเคลื่อนย้ายพัดพา (Transportation) โดยตัวกลางต่าง ๆ เช่น น้ำ ธารน้ำแข็ง และลม เป็นต้น นำพาไปตกตะกอนทับถมในที่ต่าง ๆ กัน และมีคุณสมบัติต่าง ๆ กันไปขึ้นอยู่กับแร่ธาตุประกอบของดิน และสถานที่ทับถม ดังนั้นวิศวกรที่จะนำดินมาใช้งานจะต้องศึกษาหาข้อมูลของดินเหล่านั้น แล้วจึงจะสามารถนำไปออกแบบโครงสร้างได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

การจำแนกประเภทของดินตามความหมายทางวิศวกรรมอาจจำแนกหยาบ ๆ ตามขนาดของเม็ดดินได้ 4 ประเภทด้วยกัน คือ กรวด (Gravel) ทราย (Sand) ตะกอนทราย (Silt) และดินเหนียว (Clay) และผู้ที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในสาขาวิชาปฐพีกลศาสตร์ก็คือ ดร. Karl Terzaghi เกิดเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม ค.ศ. 1883 ที่เมือง Prague และเสียชีวิตเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม ค.ศ. 1963 ซึ่งเป็นผู้บรรจุวิชาปฐพีกลศาสตร์เข้าเป็นวิชาพื้นฐานในสาขาวิศวกรรมโยธาและได้เสนอผลงาน การศึกษาการคำนวณหาค่าอัตราการยุบตัวของดินเหนียวภายใต้แรงดันในปี ค.ศ. 1923 จากผลงานค้นคว้า วิเคราะห์วิจัยจากปี ค.ศ. 1919-1925 ได้รวบรวมจัดพิมพ์เป็นหนังสือภาษาเยอรมันชื่อ “ Erdbaumechanik “ (Soil Mechanics) ในปี ค.ศ. 1925 และได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งปฐพีกลศาสตร์ (Father of Soil Mechanics)

1.2 ความสำคัญของดินในงานวิศวกรรม

ในการทำงานด้านวิศวกรรมโยธานั้นค่อนข้างยากที่จะหลีกเลี่ยงการ เกี่ยวข้องกับดิน ซึ่งเราอาจใช้ดินในสองลักษณะด้วยกันคือ การใช้ดินเป็นฐานรองรับฐานรากของโครงสร้างสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ และการใช้ดินเป็นวัสดุในการก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ

1.2.1 การใช้ดินเป็นฐานรากรองรับฐานรากของโครงสร้าง (As Foundation Materials)

ฐานราก (Foundation) เป็นส่วนของโครงสร้างที่รองรับการถ่ายน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้างลงสู่ชั้นดินหรือหินที่รองรับ ดังนั้นคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินหรือหินที่เกี่ยวข้อง คือ ความแข็งแรง (Strength) ความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทาน (Bearing Capacity) การทรุดตัว (Settlement) และการพองตัว (Swell) เป็นต้น เมื่อทราบคุณสมบัติเหล่านั้นแล้วทำให้สามารถไปกำหนดรูปแบบหรือลักษณะของฐานรากได้อย่างเหมาะสม ซึ่งหมายถึงการประหยัดแล ความปลอดภัย ควบคู่กันไป เช่น กำหนดรูปแบบเป็นฐานรากตื้น (Shallow Foundation) ฐานรากลึก (Deep Foundation) เป็นต้น



รูปที่ 1.1 บิดาแห่งปฐพีกลศาสตร์
ดร. Karl Terzaghi

1.2.2 การใช้ดินเป็นวัสดุในการก่อสร้างโครงสร้าง (As Construction Materials)

ดินที่เรานำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างโครงสร้างมีด้วยกันหลายชนิด เช่น กรวด หยาบ ดิน ดินลูกรัง หรือหินคลุก เป็นต้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างนั้น ๆ ในการนำดินหรือหินมาเป็นวัสดุก่อสร้างนั้น มักพบปัญหาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมและเสถียรภาพของมวลดิน ดังนั้นการนำดินและหินมาเป็นวัสดุก่อสร้าง ส่วนใหญ่จะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดังกล่าวให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ซึ่งเรียกว่าการปรับปรุงดินให้มีเสถียรภาพมั่นคง (Soil Stabilization) ซึ่งนิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันได้เป็นสองประเภท คือ การปรับปรุงโดยวิธีทางกล (Mechanical Stabilization) และการปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (Chemical Stabilization)

จากที่กล่าวข้างต้นทำให้วิศวกรต้องสนใจคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน หรือ หิน ได้แก่

- ก. การกระจายขนาดคละของเม็ดดิน (Particle Size Distribution) วิธีการนี้จะทำให้เราสามารถบอกได้ว่ามวลดินนั้น ประกอบด้วยเม็ดดินขนาดเท่าใด และมีปริมาณเท่าใด
- ข. ความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) เช่น กรณีใช้ทำแกนดินเหนียวในเขื่อนดิน (Clay Core) เป็นต้น
- ค. ความแข็งแรง (Strength)
- ง. คุณสมบัติทางเคมีของดิน เช่น ในกรณีทำดินซีเมนต์ (Soil Cement) เป็นต้น
- ช. การทรุดตัว (Settlement)

1.3 ปัญหาของดินทางงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับดินหรือมวลดิน แยกได้สองประการ คือ ปัญหาเกี่ยวกับความสมดุลย์ หรือความมั่นคงของมวลดิน (Problems of Equilibrium or Stability) และปัญหาเกี่ยวกับการหดตัวและการขยายตัวของมวลดิน (Problems Concerning Elastic and Plastic Deformation)

ในปัญหาที่เกี่ยวกับความสมดุลย์หรือความมั่นคงของมวลดินนั้น เนื่องจากดินถูกใช้พื้นฐานรองรับน้ำหนัก แรงกระทำจากสิ่งก่อสร้าง ความสมดุลย์ หรือความมั่นคงของมวลดินภายใต้แรงกระทำ รวมทั้งความสามารถของมวลดินที่จะรับแรงกระทำดังกล่าวเป็นปัญหาสำคัญที่วิศวกรจะต้องพิจารณาความวิบัติ (Failure) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่มวลดินจำเป็นต้องรับน้ำหนักแรงกระทำเกินขีดความสามารถที่จะรับได้จะทำให้เกิดผลเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุดังกล่าวจะเกิดขึ้นโดยรวดเร็วและทันทีทันใด ทำให้มีโอกาสน้อยมากที่จะป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น การพังทลายของเขื่อนดินหรือการพังทลายของไหล่ถนน และคันคลอง เป็นความวิบัติในลักษณะของการวิบัติของลาดชัน (Slope Failure) การทรุดตัวหรือพังทลายอย่างรวดเร็วทันทีทันใดของอาคารหรือฐานรากของสะพานเป็นความวิบัติในลักษณะของการวิบัติของความจุแบกทาน (Bearing Capacity Failure) เป็นต้น

ส่วนปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและขยายตัวของมวลดินนั้น เนื่องจากมวลดินเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทั้งในด้านยืดหยุ่น (Elastic) พลาสติก (Plastic) การหดตัว (Shrinkage) และการพองตัว (Swell) ของมวลดิน ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการรับน้ำหนักของมวลดินนั้น ย่อมมีลักษณะแตกต่างไปจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างประเภทอื่น ๆ การทรุดตัวของมวลดินนั้น ในบางแห่งอาจเกิดขึ้นได้มากจนทำให้สิ่งก่อสร้างที่ตั้งอยู่บนผิวดินนั้นเกิดการเสียหายขึ้นได้ ความเสียหายในลักษณะนี้เรียกโดยทั่วไปว่า การวิบัติจากการทรุดตัว (Settlement Failure) การทรุดตัวของมวลดินนี้ทางทฤษฎีเรียกว่า การทรุดตัวแบบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Settlement) สิ่งก่อสร้างต่างชนิดกันย่อม สามารถออกแบบให้ยอมรับการทรุดตัวของฐานรากได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และความสำคัญของสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ เช่น อาคารสร้างไม้หรืออาคารเหล็ก ย่อมจะยอมรับขนาดการทรุดตัวของมวลดินที่รองรับอยู่ได้มากกว่าอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก อาคารที่เป็นบ้านเรือนที่อยู่อาศัยย่อมสามารถออกแบบให้ยอมรับการทรุดตัวของมวลดินฐานรากที่มีขนาดพอสมควรได้ ในขณะที่การออกแบบก่อสร้างฐานรากของสถานเฝ้าหรือเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู จะต้องกระทำอย่างพิถีพิถันระมัดระวังและยอมให้เกิดการทรุดตัวไม่ได้เลย เป็นต้น ในบริเวณการก่อสร้างแห่งเดียวกัน การทรุดตัวของมวลดินที่เกิดขึ้น ณ จุดต่างๆ อาจมีขนาดไม่เท่ากัน ผลที่เกิดขึ้นเรียกว่า การทรุดตัวไม่เท่ากัน (Differential Settlement) ถ้าเกิดขึ้นกับอาคารก่ออิฐ กำแพงจะแตกร้าวถ้าเกิดขึ้นกับอาคารไม้ คานและตงจะโก่งงอ หรือเบี่ยงเบนออกจากแนว เป็นต้น

ในทางกลับกัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในมวลดิน อาจทำให้มวลดินเกิดการขยายตัว หากมวลดินถูกจำกัดบริเวณไว้ การขยายตัวที่ถูกจำกัดขอบเขตจะเป็นผลให้มีแรงดันเกิดขึ้นภายในมวลดินนั้น การขยายตัวและแรงดันในการขยายตัว

(Swelling Pressure) ที่เกิดขึ้นนี้อาจมีขนาดและกำลังมากพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งก่อสร้างได้ ตัวอย่างเช่น การแตกร้าวและโก่งตัวของพื้นคอนกรีตที่หล่อบนดินภายในโรงงาน ห้องแถว โรงรถ ซึ่งเรียกว่า การวิบัติของพื้นที่วางบนดิน (Failure of Slab on Ground) หรือการทรุดตัวและการพังตัวของดินที่นำมาบดอัดก่อสร้างถนนมีผล ทำให้เกิดการแตกร้าวของผิวถนนคอนกรีตหรือทำให้ผิวจราจรของถนนลาดยางมีลักษณะเป็นลูกคลื่น เป็นต้น

จากปัญหาสำคัญทั้งสองกรณีที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า วิศวกรจำเป็นต้องอาศัยความรู้ที่ได้รับจากวิชาปฐพีวิศวกรรม ร่วมกับประสบการณ์ที่มีอยู่มาช่วยตัดสินใจแก้ปัญหาหรือวิเคราะห์คาดการณ์ เช่น

- ก. ในการสำรวจดินเพื่อใช้เป็นฐานรากในบริเวณที่จะทำการก่อสร้าง จะต้องทำการสำรวจโดยวิธีใด หากทำการเจาะหลุมสำรวจจะต้องเจาะหลุมสำรวจกี่หลุม แต่ละหลุมจะมีความลึกเท่าใด จะต้องเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ หรือไม่ จะต้องทำการวิเคราะห์หาคคุณสมบัติของดินบ้าง และจะต้องทำการทดสอบ เพื่อประเมินคุณสมบัติของดินในสนามอย่างไรบ้าง
- ข. การกระจายของน้ำหนักหรือแรงกระทำจากสิ่งก่อสร้าง ที่กระทำต่อมวลดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ มีค่าเท่าใด มวลดินที่ระดับของฐานรากจะสามารถรับแรงกระทำดังกล่าวได้หรือไม่ จะเกิดการวิบัติของแรงเฉือน (Shear Failure) ขึ้นภายในมวลดินหรือไม่
- ค. การเพิ่มขึ้นของแรงกระทำในมวลดิน จะทำให้เกิดการทรุดตัวของฐานรากและสิ่งก่อสร้างนั้นมากน้อยเพียงใด การทรุดตัวจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาานเท่าใด จะมีวิธีการใดที่จะสามารถแก้ปัญหานี้ได้อย่างเหมาะสมบ้าง
- ง. คุณสมบัติของมวลดินในแหล่งดินที่นำมาใช้ในการก่อสร้างเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุถม (Fill Materials) หรือไม่ จำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของมวลดิน (Soil Improvement) ก่อนที่จะใช้ทำการก่อสร้างหรือไม่ จะปรับปรุงคุณภาพของมวลดินโดยวิธีใด หรือควรจะทำแหล่งดินแห่งใหม่ (Borrow Pit) ที่มีความเหมาะสมมากกว่า
- จ. จะเกิดอะไรขึ้นกับโครงสร้างของมวลดิน หากมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินเกิดขึ้น การลดระดับน้ำในดินโดยการสูบน้ำออกจะมีผลต่อสภาพของพื้นดินและความมั่นคงของฐานราก และสิ่งก่อสร้างในบริเวณใกล้เคียงอย่างไรบ้าง
- ฉ. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำหรือความชื้นของมวลดิน จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมวลดินอย่างไรบ้าง จะมีวิธีการใดที่สามารถใช้ควบคุมการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวให้อยู่ภายในขอบเขตที่ต้องการได้
- ช. ความสามารถในการไหลซึมของน้ำผ่านมวลดินเป็นอย่างไร การระบายน้ำส่วนเกินออกจากมวลดินจะกระทำได้อย่างไรบ้าง ปัญหาดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับการระบายน้ำผ่านดินหรือการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ประโยชน์ ในทางกลับกันวิศวกรอาจต้องการดินที่มีคุณสมบัติเก็บกักน้ำได้ดี ยอมให้น้ำไหลซึมผ่านได้ยาก เช่น ในกรณีของการสร้างเขื่อนดิน สระเก็บน้ำเพื่อการเกษตรกรรม หรือก่อสร้างคันคลองส่งน้ำ เป็นต้น
- ณ. ในการขุดหรือออกแบบก่อสร้างลาดเอียงของคันดิน (Embankments Slope) เช่น คันคลองส่งน้ำชลประทาน ไหล่ถนนพื้นดินลาดเอียงลักษณะต่าง ๆ ลาดเอียงควรจะมีขนาดชันเท่าใด จึงจะสามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่เกิดการพังทลายขึ้นในภายหลัง

จากที่กล่าวข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของปัญหาที่วิศวกรจะต้องวิเคราะห์หาคำตอบ เมื่อทำงานเกี่ยวข้องกับดิน และฐานราก ปัญหาปลีกย่อยอื่น ๆ นั้นมีมากมายเกินกว่าที่จะสามารถนำมารวบรวมสรุปไว้ในนี้ได้ทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่า วิศวกรมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาค้นคว้าเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และจะต้องอาศัยความรู้ทางปฐพีวิศวกรรมและวิศวกรรมธรณีเทคนิครวมทั้งประสบการณ์ที่มีอยู่ ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ๆ จนแน่ใจได้ว่า จะไม่เกิดผลเสียหายต่อการก่อสร้างที่วางแผนไว้

1.4 ปฐพีวิศวกรรมและวิศวกร

การศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมธรณีเทคนิคนี้ เป็นการศึกษาทางทฤษฎีที่ประกอบไปด้วยข้อสมมุติฐานต่าง ๆ นานาประการ เพื่อให้การวิเคราะห์ทางทฤษฎีเกี่ยวกับปฏิกิริยาและการปฏิบัติตัวของมวลดินภายใต้สภาพการณ์ต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างมีเหตุผลในการปฏิบัติงานจริงหรือการนำทฤษฎีเหล่านี้ใช้งาน เนื่องจากมวลดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ วิศวกรจำเป็นต้องใช้วิจารณ์ญาณของตนเอง ในการตัดสินใจเปรียบเทียบกับความเป็นจริง กับข้อสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางทฤษฎีว่ามีส่วนใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด ความแตกต่างระหว่างความเป็นจริงที่ประสบอยู่

10 ภูมิกลศาสตร์ (Soil Mechanics)

ข้อสมมุติฐาน แต่ละประการจะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดไปมาน้อยเพียงใด และทฤษฎีหรือสมมุติฐานใดจะสามารถนำมาวิเคราะห์สภาพการณ์ที่ประสมอยู่ได้อย่างใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ดังนั้นเนื้อหาวิชาที่ศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมธรณีเทคนิค ซึ่งรวมถึงทฤษฎีต่าง ๆ ในวิชาปฐพีวิศวกรรมนี้ จึงเป็นเพียงแนวทางพื้นฐานที่จะช่วยให้วิศวกรสามารถวิเคราะห์หาคำตอบ และตัดสินใจในการหาคำตอบให้แก่ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ด้วยความมั่นใจยิ่งขึ้น มากกว่าที่จะใช้วิธีการเดาสุ่มและตัดสินใจโดยไร้กฎเกณฑ์ และ สิ่งหนึ่งที่วิศวกรจะขาดเสียมิได้ก็คือ สัญชาตญาณของความเป็นวิศวกร (Engineering Common-Sense) ที่จะใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ประสมอยู่ให้ลุล่วงไปด้วยดีและมีเหตุผล

1.5 แบบฝึกหัด

1. การจำแนกประเภทของดิน โดยใช้ขนาดของเม็ดดิน จำแนกเป็นกี่ประเภท ได้แก่อะไรบ้าง

2. จงบอกคุณลักษณะทางวิศวกรรมของดินที่สำคัญอย่างน้อย 3 คุณลักษณะ

1.

2.

3.

4.





การกำเนิดและคุณสมบัติ ทางกายภาพของดิน

การศึกษากำเนิดของดินนั้นจะต้องพิจารณาดังแต่เริ่มผุร่อนของหิน (Weathering) และการที่หินถูกเคลื่อนย้ายพัดพา (Transportation) เพราะสิ่งเหล่านั้นเป็นเหมือนประวัติความเป็นมาของดินนั้นๆ ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติของดินแตกต่างกันออกไป ส่วนในด้านคุณสมบัติทางกายภาพของดินก็อาจประกอบไปด้วยลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของเม็ดดิน การกระจายขนาดคละของเม็ดดิน (Gradation) ชีตจำกัดความชื้นเหลว (Consistency Limits) เป็นต้น

2.1 กระบวนการผุร่อน (Weathering Process)

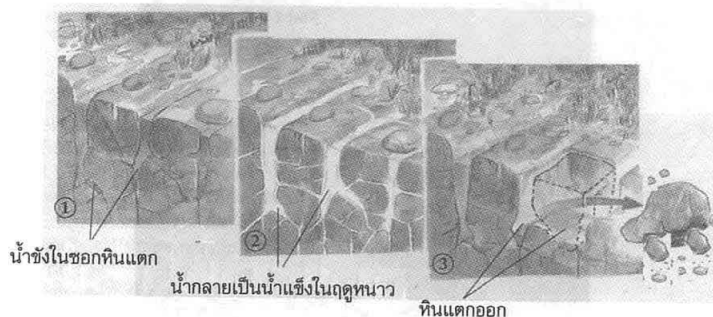
การศึกษาคุนสมบัติทางกายภาพ หรือคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน จำเป็นต้องศึกษาถึงการกำเนิดของดินเหล่านั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงคุณสมบัติของดินโดยแท้จริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผุร่อนซึ่งเป็นต้นกำเนิดของการเกิดดิน การศึกษาถึงโครงสร้างและองค์ประกอบของเม็ดดินและมวลดิน จะเป็นพื้นฐานทำให้เราสามารถเข้าใจถึงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เพื่อที่จะจำแนกประเภทของดินออกเป็นประเภทต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในทางวิศวกรรมต่อไป

การผุร่อนของหินจะเกิดขึ้นสองลักษณะด้วยกันคือการผุร่อนทางกล หรือทางกายภาพ (Mechanical or Physical Weathering) และการผุร่อนทางเคมี (Chemical Weathering)

2.1.1 การผุร่อนทางกายภาพ (Physical Weathering)

การผุร่อนทางกลหรืออาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าการผุร่อนทางกายภาพ โดยส่วนใหญ่จะเป็นการแตกของหินในลักษณะก้อนใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งยังคงประกอบด้วยแร่ธาตุของหินเดิมอยู่ และเรายังสามารถมองเห็นรูปทรงของเม็ดดินเหล่านั้นอยู่ เช่น พวกกรวด และทราย การผุร่อนทางกายภาพ เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุด้วยกัน ซึ่งในการผุร่อนบางชนิดนี้อาจเกิดขึ้นสาเหตุเดียวหรือหลาย ๆ สาเหตุพร้อมกันก็ได้ ดังต่อไปนี้

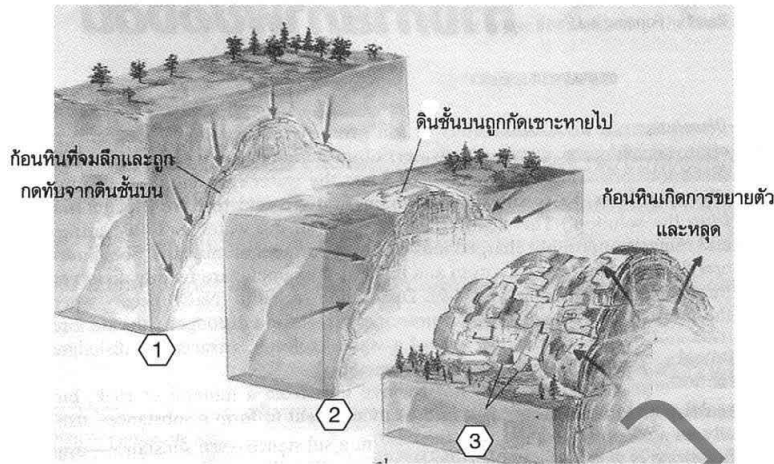
ก. สภาพอากาศ (Climate) การผุร่อนของหินโดยสาเหตุนี้ก็มาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เช่น ก้อนหินก้อนหนึ่งมีรอยแตกร้าว เมื่อฤดูฝน ฝนตกลงมาและเกิดน้ำขังในรอยแตกของหิน เมื่อถึงฤดูหนาวน้ำจะกลายเป็นน้ำแข็ง (จะเกิดเฉพาะพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็นจัดเท่านั้น) โดยปกติเมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็งปริมาณจะเพิ่มขึ้นประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดแรงดันขึ้นในช่องแตกของหินและทำให้อยแตกนั้นขยายตัวเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ก็จะทำให้รอยแตกขยายตัวขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดเกิดการแตกหลุดออกมาของก้อนหินนั้น หรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิประจำวันก็มีผลในเรื่องของการยืดหดตัวของหิน และส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวได้เช่นกัน



รูปที่ 2.1 การแตกของหินเนื่องจากน้ำที่ขังในช่องหิน เมื่ออุณหภูมิลดลงมาก ๆ จน น้ำกลายเป็นน้ำแข็งแล้วขยายตัวดันก้อนหินให้แตกร้าว

12 ภูมิพลศาสตร์ (Soil Mechanics)

ข. การหลุดร่อนของหินเป็นแผ่น (Exfoliation) การหลุดร่อนชนิดนี้เกิดจากหน่วยแรงที่เคยกดทับก้อนหินอยู่หายไป ทำให้เกิดการขยายตัวของก้อนหินที่บริเวณผิวแล้วเกิดการหลุดร่อนออกเป็นแผ่นๆ

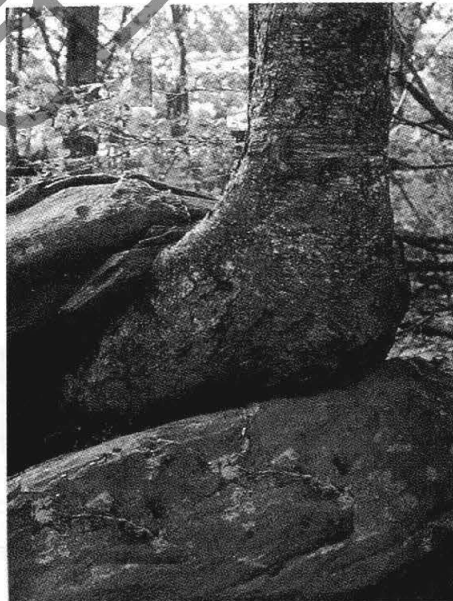


รูปที่ 2.2 การหลุดร่อนของหิน

ค. การผุกร่อนโดยลมและน้ำ กระบวนการนี้จะเป็นลักษณะการขัดสี และยังเป็นการนำพาให้เม็ดหินเล็ก ๆ เคลื่อนตัวไปตกทับที่อื่น

ง. การผุกร่อนโดยการเสียดสี (Abrasion) เป็นการเสียดสีกันระหว่างเม็ดหินสองชั้นเสียดสีกัน เช่น ก้อนกรวดในลำธารที่น้ำไหลเชี่ยว หรือ เม็ดทราย ที่ถูกลมพัดหอบไปในอากาศและมีการเสียดสีกัน

จ. การผุกร่อนโดยสิ่งมีชีวิต กระบวนการนี้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวกระทำ เช่น ราก หรือลำต้นของต้นไม้ที่เจริญเติบโต ในรอยแยกของหินแล้วดันให้หินแตกแยก หรืออาจเกิดจากสัตว์ เช่น พวกหนอน ที่คอยเจาะขุด ขอนไซ

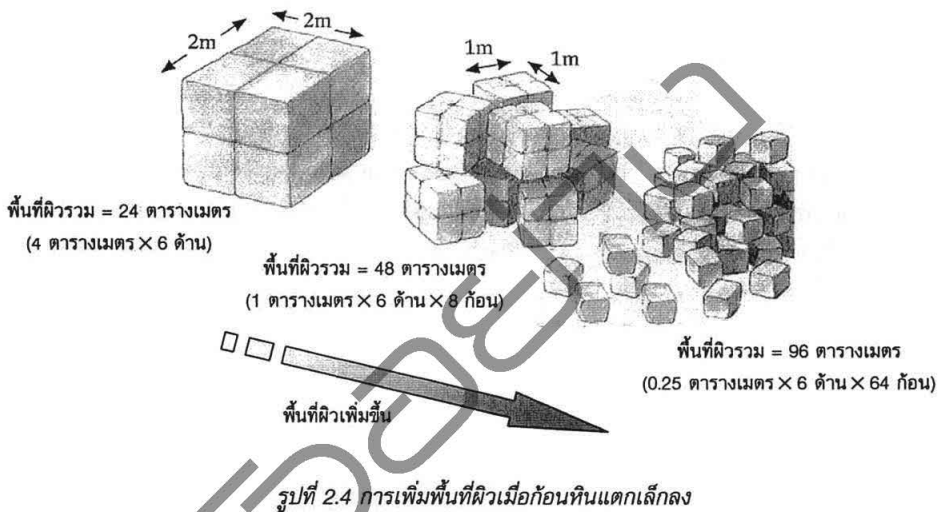


รูปที่ 2.3 การแตกของหินโดยการเจริญเติบโตของต้นไม้

2.1.2 การผุร่อนทางเคมี (Chemical Weathering)

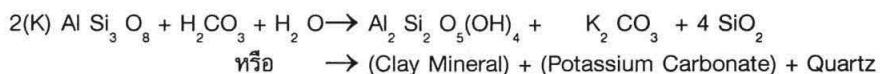
การผุร่อนทางเคมีต่อเม็ดดินนั้น กระบวนการนี้จะมีประสิทธิภาพกับก้อนดินหรือหินเม็ดเล็กๆ เนื่องจากมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (Specific Surface) กล่าวคือการทำปฏิกิริยาทางเคมีนั้นจะกระทำเฉพาะบริเวณผิวนอกของก้อนวัสดุเท่านั้น ดังนั้นถ้ามีพื้นที่ผิวในการสัมผัสมากก็จะสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีมากตามไปด้วย จากรูปที่ 2.4 เห็นได้ว่าก้อนหินขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร และสูง 2 เมตร จะมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 24 ตารางเมตร แต่ถ้าแตกแยกหินออกเป็นก้อนเล็กขนาดตามความกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และสูง 1 เมตร จะได้พื้นที่ผิวทั้งหมดเท่ากับ 48 ตารางเมตร นอกจากการผุร่อนของหินแล้วกระบวนการนี้จะไปเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของหินเดิมเนื่องจากถูกปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนแปลงให้เป็นสารประกอบต่าง ๆ ได้ การผุร่อนทางเคมีอาจเกิดได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

- ก. ปฏิกิริยา Oxidation ปฏิกิริยานี้ก็คือการเกิดสนิมนั่นเอง
- ข. การทำละลาย (Solution) หินบางชนิดจะละลายลงได้เมื่อสัมผัสกับน้ำโดยที่น้ำจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารประกอบ



ที่ประกอบขึ้นเป็นเนื้อหิน ทำให้สารประกอบเหล่านั้นละลายตัวลงไปอยู่ในรูปสารละลาย (Solution) เช่น หินปูน (Lime Stone) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามี Carbon Dioxide ผสมอยู่มากพอที่จะทำให้มีคุณสมบัติของกรด Carbonic อ่อน ๆ หรือน้ำนั้นมีค่า PH น้อยกว่า 7

- ค. การชะล้าง (Leaching) สำหรับหินบางชนิด เช่น Sedimentary Rocks น้ำจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่เป็นตัวเชื่อมของเนื้อหิน (Cementing Agents) ทำให้เม็ดหินเล็ก ๆ ที่เกาะตัวกันอยู่แยกตัวออกจากกัน
- ง. การแยกตัวของประจุบวกของไฮโดรเจน (Hydrolysis) ในบางครั้งปฏิกิริยาทางเคมีอันเนื่องมาจากสารประกอบทางเคมีหลายอย่างจะเกิดขึ้นกับหินพร้อมๆ กัน เช่น น้ำ และ กรด Carbonic (H_2CO_3) กระทำปฏิกิริยากับแร่ Orthoclase Feldspar ($KAlSi_3O_8$) ตามสมการดังนี้



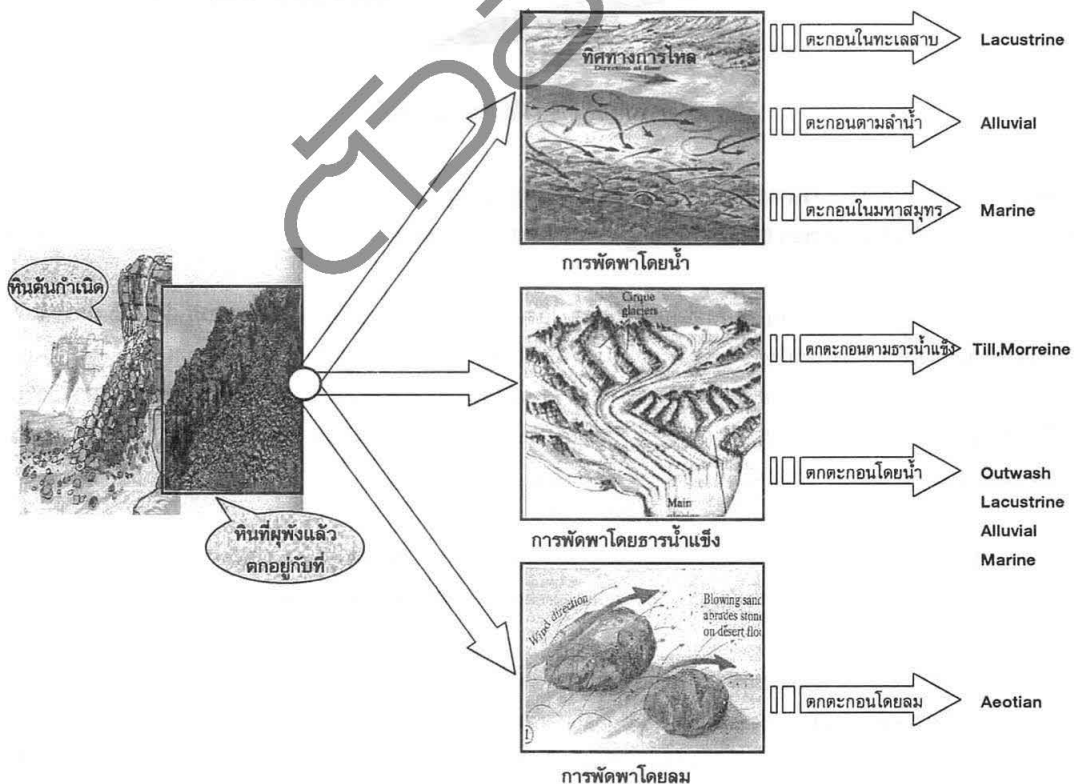
ในกรณีนี้ประจุ H^+ จากน้ำขับไล่ประจุ K^+ ออกจาก Feldspar และประจุ H^+ รวมตัวกับ Aluminum Silicate ทำให้เกิดแร่ประกอบดินเหนียว หลังจากนั้น Potassium Carbonate อาจจะละลายตัวลง และประจุ K^+ รวมตัวเข้ากับแร่ประกอบดินเหนียว (Clay Minerals) ในบริเวณใกล้เคียง การผุร่อนของหินโดยวิธีการทางเคมีแบบ Hydrolysis นี้จะเป็นที่มาของแร่ประกอบดินเหนียวที่พบอยู่โดยทั่วไปและมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของหินเดิม กลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่ขึ้น

2.2 การกำเนิดของดิน

ดินเกิดจากการผุร่อนของหินโดยทางธรรมชาติตั้งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แล้วมีการนำพาโดยตัวกลางต่าง ๆ เช่น ลม น้ำ ธารน้ำแข็ง เป็นต้น และไปตกตะกอนทับถมกันในที่ต่าง ๆ แต่ก็อาจจะมีบางส่วนไม่ถูกนำพาไปแต่ตกทับถมอยู่ใกล้บริเวณเดิม ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดจากการผุร่อนของหินที่อยู่ใต้ระดับผิวดินปัจจุบัน ดินพวกนี้เราจะเรียกว่า ดินเกิดในที่ (Residual Soils) ส่วนตัวที่เคลื่อนที่ไปในบริเวณอื่นแล้วมีองค์ประกอบอื่น ๆ นำพามาสะสมอยู่ในบริเวณที่พบได้ในปัจจุบันดินพวกนี้เราจะเรียกว่า ดินตะกอนจากการพัดพา (Sedimented Soils or Transported Soils) ซึ่งการศึกษาถึงที่มาของดินประเภทนี้ บางครั้งอาจทำได้ยากต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ทางธรณีวิทยาเข้าช่วย ตัวอย่างเช่น การผุร่อนของหินโดยวิธีการทางกายภาพทำให้เกิด กรวด และทราย กรวดและทรายนั้นถูกน้ำ และ/หรือ ลม พัดพาไปสะสมอยู่ในบริเวณแห่งอื่น หลังจากระยะเวลาอันยาวนานกรวดและทรายที่สะสมอยู่นั้น อาจจะถูกแรงกระทำของโลกอัดตัวให้เปลี่ยนสภาพเป็นหินทราย (Sandstone) หรือ หินตะกอน (Sedimentary Rocks) อื่น ๆ หลังจากนั้นอีกระยะเวลาหนึ่ง หินดังกล่าวเกิดการผุร่อนใต้ระดับผิวดิน ผลของการผุร่อนไม่ถูกนำพาไปที่ใดจึงทำให้เกิดดินซึ่งมีลักษณะเป็นดินเกิดในที่ (Residual Soils) ได้ ดังนั้นการบ่งชี้ดินตะกอนจากการพัดพา (Transported Soils) บางครั้งจำเป็นต้องอาศัยการศึกษาสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของหิน และดินในบริเวณนั้นประกอบการพิจารณา องค์ประกอบหรือตัวการที่ทำให้เกิดการนำพาเม็ดดิน (Transporting Agents) ไปสะสมในที่แห่งอื่น มีอยู่หลายอย่าง คือ

ก. การไหลของกระแสน้ำ (Running Water and Alluvial Deposit) เป็นตัวการสำคัญในการนำพาเม็ดดินไปตกตะกอนสะสมยังสถานที่แห่งใหม่โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดินเม็ดละเอียด จะสามารถถูกนำพาไปได้เป็นระยะทางไกลมาก

ข. การเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็ง (Glacial Deposit) ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในตอนปลายของยุคน้ำแข็งซึ่งเป็นระยะเวลาอันยาวนานมาแล้ว เมื่อธารน้ำแข็งเคลื่อนตัวลงสู่ที่ต่ำก็จะทำการเสียดสีขูดเซาะเอาเศษดินและหินในบริเวณหุบเขาที่ธารน้ำแข็ง เคลื่อนที่ผ่านติดไปด้วย เมื่อเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณที่อุณหภูมิสูงขึ้น ธารน้ำแข็งจะละลายและละลายตัวเศษดินและหินที่ปะปนอยู่ก็จะตกตะกอนสะสมอยู่ ณ บริเวณนั้น หรืออาจจะถูกน้ำพัดพาต่อไปได้



รูปที่ 2.5 การกำเนิดดินประเภทดินที่ถูกพัดพา (Transported Soils)

ค. การนำพาโดยลม (Wind Deposit) ลมจะเป็นตัวการนำพาเม็ดดินที่มีขนาดเล็กพอประมาณไปสะสมในที่ใหม่ ซึ่งอาจไม่ไกลจากบริเวณที่มีการผุร่อนของหินเดิมมากนักแต่การพัดพาอาจเกิดซ้ำซ้อนกันเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ทำให้เม็ดดินขนาดเล็กสามารถถูกพัดพาไปเป็นระยะทางไกล ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น ในทะเลทราย การเกิดของเนินทราย (Sand Dunes) และการเคลื่อนที่ของเนินทราย (Shifting Sand Dunes) ก็มีสาเหตุมาจากการพัดพาของลมที่มีกำลังแรงเป็นประจำ

ง. แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Deposit) เป็นตัวการนำพาเม็ดดินไปรวมตัวสะสมในบริเวณที่ไม่ห่างไปจากแหล่งกำเนิดมากนัก ตัวอย่างเช่น หินยอตพาเกิดการผุร่อน เมื่อแตกสลายตัวลง ก็ร่วงหล่นไปสะสมอยู่ในหุบเขาเบื้องล่าง หรือการถล่มทลายของหินบนภูเขาเคลื่อนที่ไปตามความลาดเอียงของเนินเขานั้น จนถึงดินเขาซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสะสมเกิดขึ้น

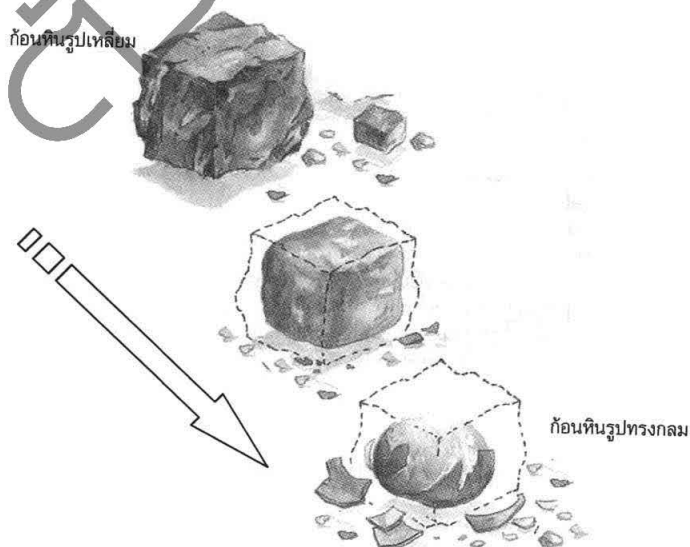
จ. น้ำใต้ดิน (Subsurface Water) การไหลของน้ำใต้ดิน จากที่สูงไปสู่ที่ต่ำสามารถนำพาเม็ดดินที่มีขนาดเล็ก ๆ ผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าไปด้วยได้บางครั้ง การกัดเซาะใต้ดิน มีมากพอที่จะทำให้ทางไหลของน้ำขยายตัวใหญ่ขึ้นเป็นธารน้ำใต้ดินได้ เม็ดดินที่ถูกน้ำกัดเซาะหรือทำปฏิกิริยาทางเคมีสามารถที่จะถูกนำพาไปรวมตัวสะสมกันอยู่ ณ ที่หนึ่งที่ได้

2.3 รูปร่างและโครงสร้างของมวลดิน

2.3.1 รูปร่างของเม็ดดิน

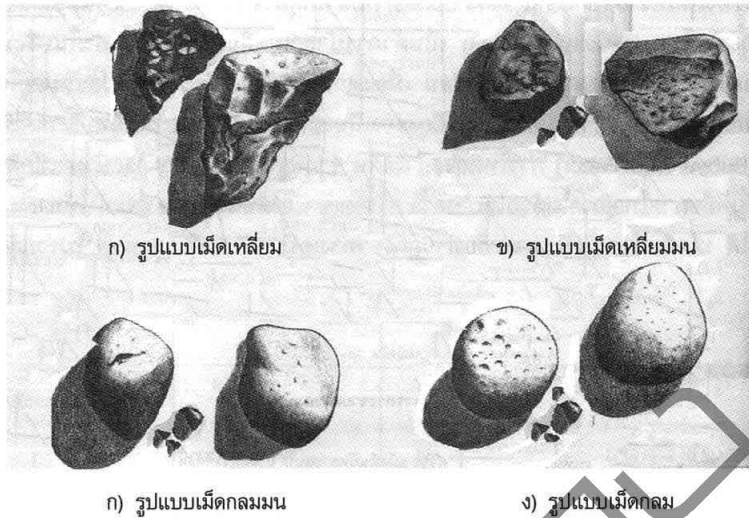
ลักษณะรูปร่างของเม็ดดินจะมีหลายรูปร่างด้วยกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น แร่ธาตุที่ประกอบเม็ดดิน การผุร่อน หรือการพัดพา เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วสามารถจำแนกออกเป็นสามรูปแบบใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

1. ลักษณะเป็นเม็ด (Equidimension Grains) โดยทั่วไปหมายถึงเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ขนาดใหญ่กว่า 0.01 มม.) เช่น พวกรวด ทราย เป็นต้น โดยปกติจะเกิดจากการผุร่อนของหินโดยวิธีทางกายภาพเม็ดดินยังคงมีองค์ประกอบและคุณสมบัติของหินต้นกำเนิด (รูปที่ 2.6) และเนื่องจากมีเม็ดขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะมีอิทธิพลของแรงดึงดูดจากประจุไฟฟ้าทำให้ดินพวกนี้จะไม่ยึดเหนี่ยวติดกัน (Cohesionless Soils) การรับกำลังจะอยู่ในรูปแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินซึ่งจะสามารถรับกำลังได้สูงและยุบตัวได้น้อย รูปร่างต่าง ๆ ของเม็ดดินจำแนกได้สี่รูปแบบด้วยกัน คือ รูปแบบเม็ดกลม (Round) รูปแบบเม็ดกลมมน (Subround) รูปแบบเม็ดเหลี่ยมมน (Subangular) และรูปแบบเม็ดเหลี่ยมคม (Angular) ดังรูปที่ 2.7

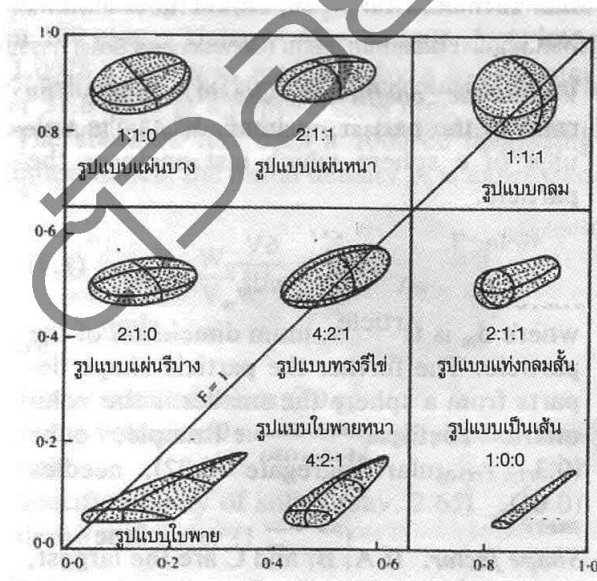


รูปที่ 2.6 รูปแบบการผุร่อนของหินโดยวิธีทางกายภาพ

2. ลักษณะเป็นแผ่น (Flaky) จะมีลักษณะเป็นแผ่นแบน เช่นพวก ตะกอนทราย (Silt) เป็นต้น
3. ลักษณะเป็นเส้น (Needle Shaped) ลักษณะจะเป็นเส้นยาวโดยทั่วไปจะมีขนาดเม็ดเล็กกว่าแบบที่ 1 และ 2 จะเป็นเม็ดดินของดินเหนียว



รูปที่ 2.7 รูปแบบของเม็ดดินชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.8 รูปร่างของเม็ดดินตามแนวคิด

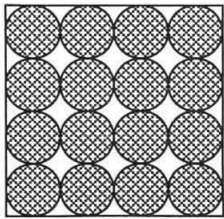
2.3.2 โครงสร้างของมวลดิน (Soil Structure or Soil Fabric)

โครงสร้างของมวลดินเราจำแนกออกได้เป็นสองจำพวกใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือพวกโครงสร้างเม็ดเดี่ยว หรือพวกโครงสร้างที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Granular Soils or Cohesionless Soils) กับดินพวกโครงสร้างมีแรงยึดเหนี่ยวหรือโครงสร้างดินเหนียว (Cohesive Soils)

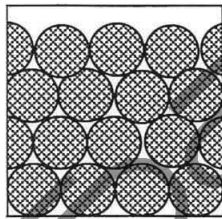
1. ดินจำพวกไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless Soils)

ดินจำพวกนี้ หมายถึงดินที่มีเม็ดดิน แต่ละเม็ดใหญ่เกินอิทธิพลของแรงดึงดูดเนื่องจากประจุไฟฟ้าระหว่างเม็ด ทำให้เม็ดอยู่แยกกันได้อิสระ การจัดเรียงตัวของเม็ดดินประเภทนี้เมื่อรวมตัวกันเป็นมวลดินเรียกว่า การจัดเรียงตัว (Packing) ซึ่งลักษณะของการจัดตัวดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับ การกระจายของขนาดของเม็ดดิน (Particle Size Distribution) และรูปร่างลักษณะของเม็ดดินแต่ละเม็ด (Particle Shape) ในมวลดินนั้น

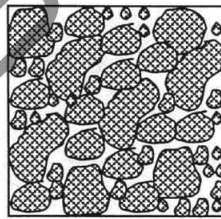
ในทางทฤษฎีแล้วการจัดเรียงตัว (Packing) ของรูปทรงกลมที่มีขนาดเท่า ๆ กัน อาจจะจัดตัวได้ในลักษณะของ Simple Cubical Packing ดังในรูปที่ 2.9 (ก) หรือในลักษณะของ Rhombic Packing ดังในรูปที่ 2.9 (ข) เห็นได้ว่าในการใช้จำนวนรูปทรงกลมเท่ากันการจัดตัวแบบ Rhombic Packing จะใช้ปริมาตรน้อยกว่าการจัดตัวแบบ Simple Cubical Packing ซึ่งจะมีผลให้ได้ความหนาแน่นมากกว่าและมีช่องว่างระหว่างมวลสารน้อยกว่า รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงการจัดเรียงตัวของเม็ดดินซึ่งขึ้นอยู่กับ การกระจายของขนาดของเม็ดดินในมวลดิน รูปที่ 2.10 (ก) เป็นการจัดตัวอย่างของเม็ดดินที่มีขนาดแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่ามวลดินจะมีความหนาแน่นมากกว่าการจัดตัวแบบในรูปที่ 2.10 (ข) ซึ่งเป็นการจัดตัวของเม็ดดินที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยสรุปจะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของการจัดตัวของเม็ดดินประเภทดินมวลหยาบ (Granular Soils) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



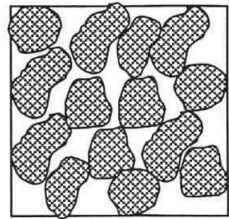
(ก)



(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.9 การจัดเรียงตัวของรูปทรงกลม

รูปที่ 2.10 การจัดเรียงตัวของเม็ดดินที่มีขนาดคละต่างกัน

ก. มวลดินที่มีการกระจายขนาดของเม็ดดินมาก ทำให้เม็ดดินขนาดเล็กสามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าได้ ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง มวลดินจึงมีความหนาแน่นมากขึ้น

ข. มวลดินที่ประกอบไปด้วยเม็ดดินที่มีขนาดเท่ากัน (การกระจายของขนาดของเม็ดดินน้อย) มวลดินที่ประกอบไปด้วยเม็ดดินที่มีขนาดโดยเฉลี่ยเล็กกว่าย่อมจะมีความหนาแน่นน้อยกว่ามวลดินที่ประกอบไปด้วยเม็ดดินที่มีขนาดโดยเฉลี่ยใหญ่กว่า

ค. มวลดินซึ่งประกอบไปด้วยเม็ดดินที่มีรูปร่างลักษณะ Angular จะมีความหนาแน่นน้อยกว่ามวลดินซึ่งประกอบไปด้วยเม็ดดินที่มีรูปร่างลักษณะอื่น

2. ดินจำพวกมีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesive Soils)

ลักษณะของดินจำพวกมีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesive Soils) ที่สามารถบ่งชี้ได้ในเบื้องต้น คือมวลดินที่ประกอบไปด้วยเม็ดดินที่มีขนาดเล็กมาก ๆ เม็ดดินเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีกำเนิดมาจากการผุร่อนของหินโดยวิธีการทางเคมี เม็ดดินส่วนใหญ่จะมีรูปร่างเป็นแผ่นแบนทำให้มีค่าพื้นที่จำเพาะ (Specific Surface) สูง (ค่า Specific Surface คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของวัตถุ กับมวลสารของวัตถุนั้น อนึ่ง บางแห่งอาจจะหมายถึงอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของวัตถุ

กับปริมาตรของวัตถุนั้นก็ได้) เม็ดดินแต่ละเม็ดจะมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ เม็ดดินแต่ละเม็ดจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน เรียกว่า การยึดเกาะกัน (Cohesion) สารประกอบทางเคมีซึ่งรวมกันขึ้นเป็นเม็ดดินเรียกว่า แร่ประกอบดินเหนียว (Clay Minerals) โดยปกติแล้วมวลดินที่ประกอบไปด้วยเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มม. มากกว่าครึ่งหนึ่ง(50%)ของมวลดินทั้งหมด (โดยน้ำหนัก) จะจัดอยู่ในประเภทดินเหนียว (Clay) ทั้งสิ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Interparticle Forces) ที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นผลมาจาก

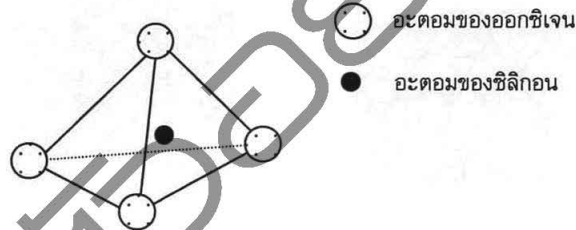
ก. Ionic Bonds เป็นแรงยึดเหนี่ยวซึ่งเป็นผลมาจากความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้า ในวงจรรอบนอกสุดของอะตอมซึ่งประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างพื้นฐานของเม็ดดิน

ข. Van der Waals Bonds เป็นแรงยึดเหนี่ยวซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประจุอิเล็กตรอน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ในนิวเคลียสของอะตอมที่ประกอบขึ้นเป็นเม็ดดินนั้น เป็นแรงยึดเหนี่ยวที่มีกำลังสูงในระยะทางใกล้ ๆ

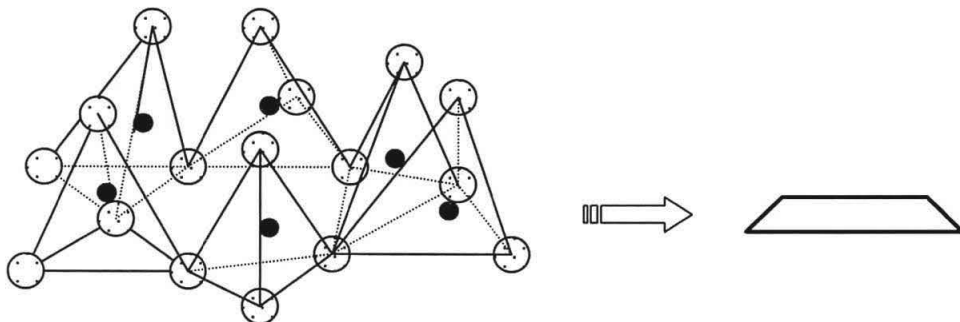
ค. แรงยึดเหนี่ยวอื่น ๆ เช่น Hydrogen Bonds และแรงดึงดูดระหว่างมวลของสาร (Gravitational Attraction)

การศึกษาถึงโครงสร้างของเม็ดดินประเภท Cohesive Soils นี้ จะต้องศึกษาละเอียดไปถึงโครงสร้างของแร่ประกอบดินเหนียว (Clay Minerals) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า 0.002 มม.) แร่ประกอบดินเหนียว หลายชั้นจะประกอบกันขึ้นเป็นอนุภาคของดินเหนียว (Clay Particle) อนุภาคของดินเหนียวนี้เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ แร่ประกอบดินเหนียวแต่ละชั้นจะประกอบไปด้วยโครงสร้างพื้นฐาน (Basic Unit) สองชนิด คือ

ก. หน่วยของซิลิกา (Silica Unit) ประกอบไปด้วยอะตอมของออกซิเจน 4 อะตอม วางตัวอยู่ในรูปของ Tetrahedron ล้อมรอบอะตอมของซิลิกอน (Silicon) ดังในรูปที่ 2.11 และเมื่อมีการเชื่อมติดกันระหว่าง หน่วยของซิลิกา (Silica Unit) หลายๆหน่วย เราจะเรียกว่า แผ่นของซิลิกา (Silica Sheet) สามารถเขียนแทนได้ด้วยรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังในรูปที่ 2.12

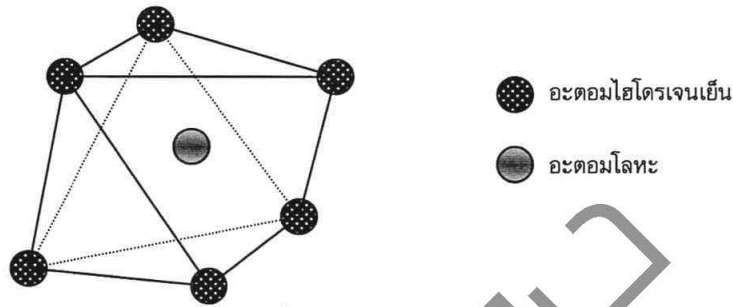


รูปที่ 2.11 หน่วยของซิลิกา

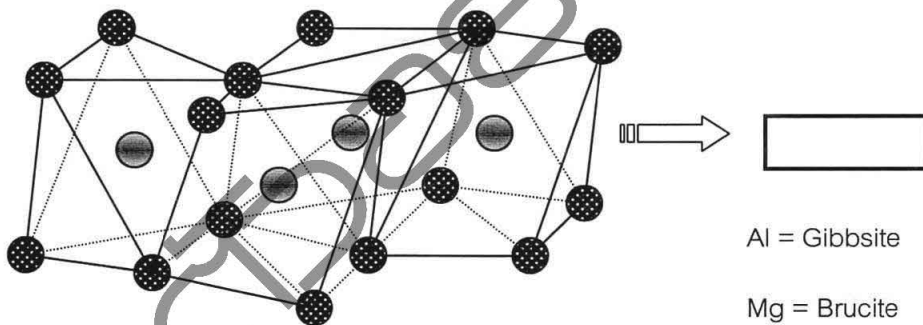


รูปที่ 2.12 แผ่นของซิลิกา และการเขียนอยู่ในรูปของสัญลักษณ์

ข. หน่วยของอ็อกตาไฮดรอน (Octahedron Unit) ประกอบไปด้วยไฮดรอกซิล (Hydroxyl) จำนวน 6 อะตอม วางตัวอยู่ในรูปของอ็อกตาไฮดรอน (Octahedron) ล้อมรอบ อะตอมของโลหะ ดังในรูปที่ 2.13 โดยปกติอะตอมของโลหะจะเป็น อะลูมิเนียม (Al) ซึ่งเรียกโครงสร้างพื้นฐานนี้ว่า กิบไซต์ (Gibbsite) หรือเป็นอะตอมของแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งเรียกโครงสร้างพื้นฐานนี้ว่า บรูไซต์ (Brucite) และเมื่อมีการเชื่อมติดกันระหว่างหน่วยของอ็อกตาไฮดรอน จะสามารถเขียนรูปแบบโครงสร้างนี้ได้โดยใช้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีสัญลักษณ์ของธาตุโลหะอยู่ตรงกลางดังในรูปที่ 2.14 ธาตุโลหะภายในหน่วยของอ็อกตาไฮดรอน (Octahedron Unit) นี้ บางครั้งอาจจะพบว่าเป็น ธาตุเหล็ก (Fe) ธาตุติตานิยม (Ti) ธาตุนิเกิล (Ni) ธาตุโครเมียม (Cr) หรือ ธาตุลิเทียม (Li) ก็ได้



รูปที่ 2.13 หน่วยของอ็อกตาไฮดรอน



รูปที่ 2.14 แผ่นของอ็อกตาไฮดรอน และการเขียนอยู่ในรูปของสัญลักษณ์

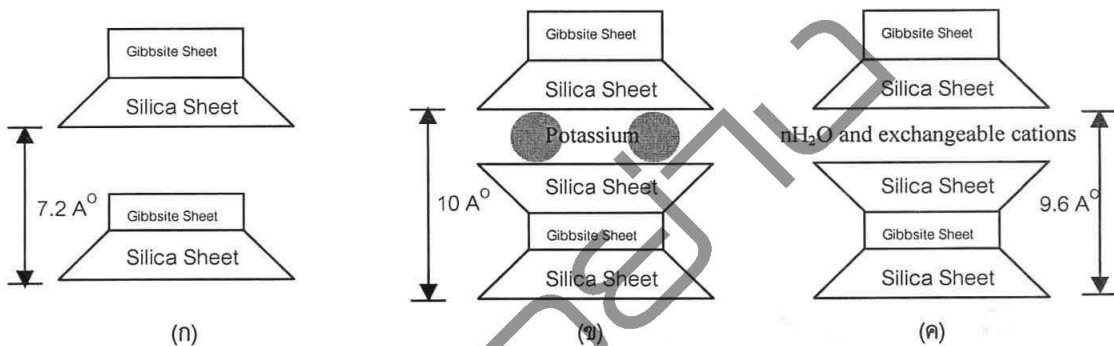
แหล่งที่มาสำคัญของแร่ประกอบดินเหนียวเหล่านี้คือ การผุพังของหินโดยวิธีการทางเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่ง หินที่มีแร่ Orthoclase Feldspar Plagioclase Feldspar หรือ Mica ปะปนอยู่ แร่เหล่านี้ล้วนแต่เป็นสารประกอบ Aluminium Silicate ทั้งสิ้น หน่วยโครงสร้างพื้นฐานดังกล่าวนี้ สามารถประกอบกันเป็นแร่ประกอบดินเหนียวที่สำคัญได้ 3 ชนิดดังนี้ คือ

ก. เกาลินไนท์ (Kaolinite) ประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐาน Silica Unit และ Gibbsite Unit สลับกัน แต่ละหน่วยเป็นแผ่นบาง มีความหนาประมาณ $7 \text{ \AA}$ สามารถเขียนเป็นสูตรทางเคมีได้ คือ $(\text{OH})_4 \text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_{10}$ เม็ดดิน Kaolinite ในเม็ดดินหนึ่งอาจประกอบไปด้วยหน่วยเหล่านี้จำนวน 70 ถึง 100 หน่วย แต่ละหน่วยยึดเหนี่ยวกันอยู่ด้วย Hydrogen Bonds และ Van der Waals Forces ดังในรูปที่ 2.15(ก) การยึดเหนี่ยวกันด้วย Hydrogen Bonds และ Van der Waals Forces ทำให้โครงสร้างของ Kaolinite มีความแข็งแรง และมั่นคงมาก จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือสลายตัวได้ยาก ทำให้ Kaolinite เป็นดินที่มีค่าการขยายตัว (Activity) ต่ำ

ข. อิลไลต์ (Illite) เป็นดินซึ่งมีกำเนิดมาจากการผุพังทางเคมีของแร่ Muscovite (Mica) มีสูตรทางเคมีโดยทั่วไปคือ $(\text{OH})_4 \text{K}_y (\text{Si}_{4-y} \text{Al}_y) (\text{Al}_4 \text{M}_{9-6y} \text{Fe}_4 \text{Fe}_6) \text{O}_{20}$ เมื่อ y มีค่าระหว่าง 1.0 ถึง 1.5 หน่วยโครงสร้างของเม็ดดินประเภท Illite ประกอบด้วย Gibbsite Unit ประกบไว้ด้วย Silica Units ทั้งด้านบนและล่างดังในรูปที่ 2.15(ข) หน่วยโครงสร้างแต่ละหน่วย

จะยึดเหนี่ยวกันอยู่ได้โดย Potassium Ions และ Van der Waals Forces การยึดเหนี่ยวในลักษณะนี้ทำให้โครงสร้างของ Illite มีความแข็งแรงและความมั่นคงน้อยกว่า Kaolinite

ค. มอนมอร์ริลโลไนท์ (Montmorillonite) เป็นแร่ประกอบดินเหนียวอีกประเภทหนึ่ง เขียนเป็นสูตรทางเคมีได้ในรูปของ $(OH)_4Si_4Al_4O_{20} \cdot nH_2O$ หน่วยโครงสร้างพื้นฐานมีลักษณะเช่นเดียวกับ Illite คือประกอบด้วย Gibbsite Unit ประกอบด้วย Silica Units ทั้งด้านบนและด้านล่าง ดังในรูปที่ 2.15(ค) แต่หน่วยโครงสร้างยึดเหนี่ยวกันอยู่ได้โดย Van der Waals Forces และมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ระหว่างหน่วยโครงสร้างทำให้การยึดเหนี่ยวไม่แข็งแรงและมั่นคง เท่ากับการยึดเหนี่ยวโดย Hydrogen Bonds ใน Kaolinite หรือ Ionic Bonds ใน Illite นอกจากนั้น ยังมีการแทนที่ของอะตอมของโลหะ ในลักษณะของ Isomorphous Substitution เกิดขึ้น เช่น Silicon ใน Silica Tetrahedron Unit ถูกแทนที่ด้วย Mg, Fe, Li, หรือ Zn เป็นต้น การแทนที่ในลักษณะ Isomorphous Substitution นี้ เป็นการแทนที่โดยอะตอมของธาตุที่มีวาเลนซ์ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระขึ้นหลังจากการแทนที่ เป็นผลให้มีความสามารถในการดึงดูดโมเลกุลของน้ำเข้ามาแทรกตัวอยู่ระหว่างหน่วยโครงสร้างได้มาก ทำให้ Montmorillonite เป็นดินที่มีค่าการขยายตัวสูงกว่า Kaolinite และ Illite



รูปที่ 2.15 แร่ประกอบดินเหนียวที่สำคัญได้ 3 ชนิด (ก) Kaolinite (ข) Illite (ค) Montmorillonite

หมายเหตุ 1 Angstrom ($\text{\AA}$) = 1×10^{-10} เมตร

2.3.3 คุณสมบัติของแร่ประกอบดินเหนียว (Clay Minerals)

แร่ประกอบดินเหนียวโดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็น Kaolinite, Illite หรือ Montmorillonite จะมีคุณสมบัติและคุณลักษณะหลายอย่างคล้ายคลึงกัน คือ

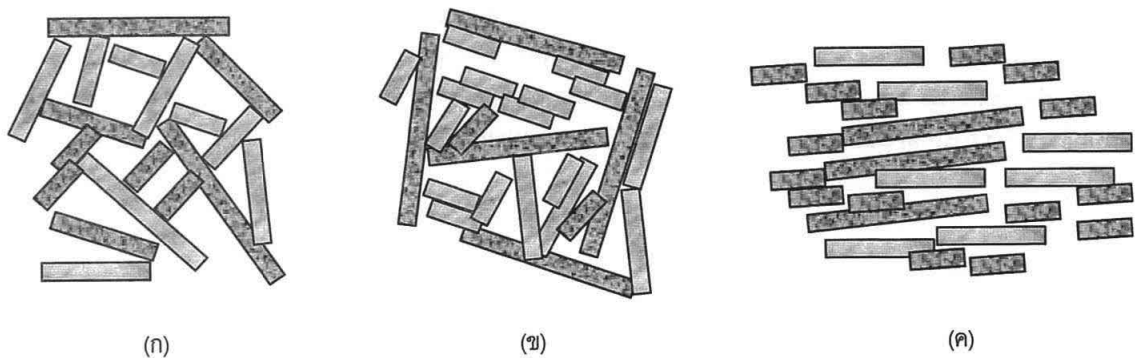
2.3.3.1 Hydration เม็ดดินประเภทดินเหนียวส่วนมากจะอยู่ในสภาพ Hydrate เสมอ คือ ล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ ซึ่งเรียกว่า น้ำเคลือบผิว (Adsorbed Water) โดยปกติ น้ำเคลือบผิวนี้นี้ จะมีความหนาประมาณ 2 โมเลกุลของน้ำจากผิวของเม็ดดิน แผ่นฟิล์มของน้ำที่ล้อมรอบเม็ดดินอยู่นี้ อาจจะเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Diffuse Layer หรือ Double Diffuse Layer แต่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า Double Layer

2.3.3.2 การขยายตัว (Activity) เราจะพบว่า ตามขอบผิวของเม็ดดินนั้น จะมีประจุไฟฟ้าลบรวมตัวกันอยู่เป็นผลให้เม็ดดินพยายามที่จะดึงดูดประจุไฟฟ้าบวกใด ๆ เข้ามารวมตัวกับเม็ดดิน เพื่อทำให้เกิดความสมดุลย์ทางประจุไฟฟ้า จึงทำให้มีแรงดึงดูดเกิดขึ้น ประจุไฟฟ้าบวกที่ถูกดูดเข้ามาส่วนใหญ่จะเป็น Hydrogen Ions ในโมเลกุลของน้ำ แรงดึงดูดนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าลบอิสระที่มีอยู่บนผิวของเม็ดดิน เม็ดดินที่มีประจุไฟฟ้าลบอิสระอยู่มากจะมีแรงดึงดูดมากและสามารถดึงดูดโมเลกุลของน้ำได้มาก เรียกว่ามีการขยายตัว (Activity) สูง เช่น Montmorillonite ส่วนเม็ดดินที่มีประจุไฟฟ้าลบอิสระน้อย จะมีแรงดึงดูดน้อยเรียกว่ามีการขยายตัว (Activity) ต่ำ เช่น Kaolinite การขยายตัวของดินโดยทั่วไปพอจะประมาณได้ดังนี้ คือ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการขยายตัวของดินประเภทต่างๆ

ประเภทของดิน	ค่าการขยายตัว (Activity)
Kaolinite	0.4 0.5
Illite	0.5 1.0
Montmorillonite	1.0 7.0

2.3.3.3 การจัดตัวของเม็ดดินประเภทดินเหนียว มวลดินซึ่งประกอบด้วยเม็ดดินประเภทอนุภาคของดินเหนียวจะมีแรงกระทำในลักษณะของแรงผลัก (Repulsive Force) และ แรงดึงดูด (Attractive Force) แรงดึงดูดจะเกิดขึ้นระหว่างเม็ดดินสองเม็ดใดๆที่วางตัวอยู่ใกล้เคียงกันเมื่อผลรวมของแรงกระทำระหว่างเม็ดดินคู่ใดเป็นแรงดึงดูด เม็ดดินจะเกิดการยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันและเกาะตัวกันอยู่ในลักษณะระเกะระกะ (Flocculate) หากผลรวมของแรงกระทำระหว่างเม็ดดินคู่ใดเป็นแรงผลัก เม็ดดินจะเคลื่อนตัวออกจากกันในลักษณะที่เรียกว่าแบบเป็นระเบียบ (Disperse) แรงดึงดูดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดดินจะเป็นผลมาจาก Van der Waals Forces และ Gravitational Attraction Forces ที่มีอยู่ระหว่างเม็ดดิน นอกจากนั้นแล้ว นักวิจัยในเรื่องนี้ยังได้ศึกษาพบว่าบนผิวของเม็ดดินนอกจากจะมีประจุไฟฟ้าลบอิสระอยู่เป็นจำนวนมากแล้วยังจะมีประจุไฟฟ้าบวกอิสระเกิดขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน (โดยหลักการของ Colloidal Theories) แต่ประจุไฟฟ้าบวกอิสระนี้มีจำนวนน้อย มากเมื่อเทียบกับประจุไฟฟ้าลบอิสระที่มีอยู่และโดยปกติประจุไฟฟ้าบวกอิสระเหล่านี้จะวางตัวอยู่บนบริเวณขอบและมุมของอนุภาคของดินเหนียว (Clay Particles) การที่มีประจุไฟฟ้าอิสระทั้งสองชนิดอยู่บนผิวของเม็ดดินทำให้เม็ดดินที่วางตัวอยู่ใกล้กันมากๆ มีแรงดึงดูดเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดประจุไฟฟ้า แรงดึงดูดที่กล่าวมาแล้วนี้จะมีผลทำให้เม็ดดินเกิดการยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกัน และการยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินอยู่ในรูปของด้านขอบกับด้านหน้า (Edge to Face) ดังในรูปที่ 2.16(ก) ลักษณะการยึดเหนี่ยวแบบนี้ถูกกำหนดโดยแรงดึงดูดประจุไฟฟ้าระหว่างเม็ดดิน ในกรณีของดินที่ตกตะกอนสะสมในน้ำที่มีสารประกอบประเภทเกลือเจือปนอยู่ (น้ำทะเล) ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบอิสระจะเกิดขึ้นมาก เนื่องจากการแตกตัวเป็น Ions ของสารประกอบเกลือเกาะอยู่ตามผิวของเม็ดดินโดยทั่วไป ทำให้แรงดึงดูดประจุไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไปบนผิวของเม็ดดิน การยึดเกาะของเม็ดดินสามารถมีลักษณะขนานกันได้มากขึ้น ดังเช่นในรูปที่ 2.16 (ข) ส่วนแรงผลักระหว่างเม็ดดินนั้นจะเป็นผลเนื่องมาจากประจุไฟฟ้าอิสระบนผิวของเม็ดดินเป็นประจุไฟฟ้าลบเป็นส่วนมาก และ Hydrated Ions มีขนาดใหญ่ทำให้แรงดึงดูดระหว่างเม็ดดินเนื่องมาจาก Van der Waals Forces ลดลง ทำให้ผลลัพธ์ของแรงกระทำเป็นแรงผลัก เม็ดดินจะจัดตัวกันอยู่ในลักษณะขนาน เคลื่อนที่ห่างจากกัน ดังในรูปที่ 2.16 (ค)



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของมวลดินประเภทดินเหนียว (Cohesive Soils)

ระยะห่างระหว่างเม็ดดินจะถูกกำหนดโดยขนาดของแรงผลัก และความหนาของ Double Layer ของเม็ดดินทั้งสอง จากการศึกษาวิจัยพบว่าเราสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะการเกาะตัวของเม็ดดินให้อยู่ในลักษณะระเกะระกะ (Flocculation) หรือ ลักษณะเป็นระเบียบ (Dispersion) ได้โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและคุณลักษณะของสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาของ Double Layer ของเม็ดดิน การเกาะตัวของเม็ดดิน มีแนวโน้มที่จะเกาะตัวกันในลักษณะ ระเกะระกะ (Flocculation) ถ้า

- ก. ความเข้มข้นของ Electrolyte เพิ่มขึ้น และ/ หรือ
- ข. มีการเพิ่มขึ้นของ Ion Valence และ / หรือ
- ค. อุณหภูมิของสารละลายที่ล้อมรอบเม็ดดิน หรืออยู่ในมวลดินสูงขึ้น และ / หรือ
- ง. ค่า pH ของสารละลายลดลง คือสารละลายมีความเป็นกรดมากขึ้น และ / หรือ
- จ. ค่า Dielectric Constant ลดลง และ / หรือ
- ฉ. ขนาดของ Hydrated Ions ลดลง และ / หรือ
- ช. การเกาะตัวของประจุไฟฟ้าลบอิสระ (Anion Adsorption) บนผิวของเม็ดดินลดลง

ลักษณะการจัดตัวดังกล่าวมาแล้วนี้ สามารถเกิดขึ้นได้ไม่ว่าเม็ดดินจะประกอบไปด้วยแร่ประกอบดินเหนียว (Clay Minerals) ประเภทใด และการจัดตัวของเม็ดดินอาจจะเป็นไปในลักษณะใดก็ได้ระหว่าง ลักษณะระเกะระกะสมบูรณ์ (Completely Flocculated) กับ ลักษณะเป็นระเบียบสมบูรณ์ (Completely Dispersed)

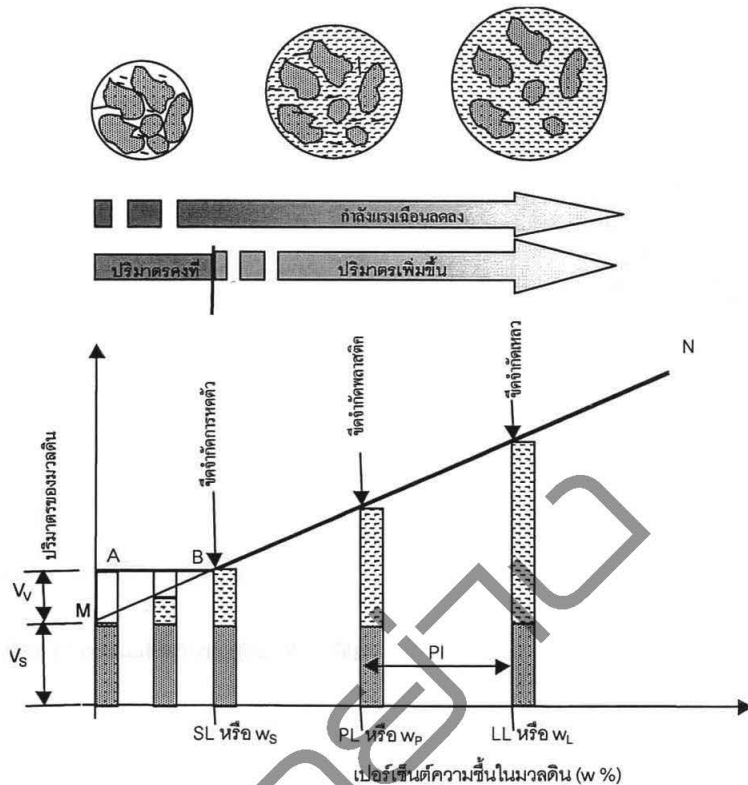
2.4 ขีดจำกัดความชื้นเหลว (Consistency Limits)

ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวเป็นคุณสมบัติของดินเม็ดละเอียด (Fine-Grained Soils) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 0.42 มม. (หรือร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันขนาด หมายเลข 40) ในช่วงปี ค.ศ. 1911 นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ชื่อ Atterberg ได้พัฒนาวิธีการเพื่อจะอธิบายค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวของมวลดินเม็ดละเอียดเมื่อมีสภาวะความชื้น (Moisture Content) ที่ต่างกัน โดยที่ถ้าความชื้นในมวลดินต่ำมวลดินนั้นจะแสดงลักษณะคล้ายของแข็ง (Solid) และเมื่อความชื้นในมวลดินเพิ่มสูงขึ้นมาก ๆ มวลดินนั้นจะแสดงลักษณะว่าจะไหลได้คล้ายกับของเหลว (Liquid) ซึ่งโดยสภาพของมวลดิน ที่เปลี่ยนแปลงความชื้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นชั้น ๆ ดังนี้

1. สารแขวนลอย (Suspension in Liquid)
2. ของเหลวหนืด (Viscous Liquid)
3. ของแข็งปั้นได้โดยไม่เกิดรอยแตก ดินเหนียว (Plastic Solid)
4. ของกึ่งแข็ง ดินแข็ง (Semi-Solid)
5. ของแข็ง ดินเผา (Solid)

ความชื้นในมวลดินลดลงจากการเปลี่ยนแปลงของมวลดินตามปริมาณความชื้นในมวลดินที่เปลี่ยนแปลงนั้น ช่วงแบ่งสภาพของมวลดินแต่ละช่วงนี้เราเรียกว่าขีดจำกัดความชื้นเหลว (Consistency Limits) หรือ บางคนอาจเรียก Atterberg Limits เพื่อเป็นเกียรติ แก่ นาย Atterberg รูปที่ 2.17 แสดงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสภาพของมวลดินในรูปของความ สัมพันธ์ระหว่าง การเปลี่ยนแปลงของความชื้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมวลดิน เรียกว่า Phase diagram



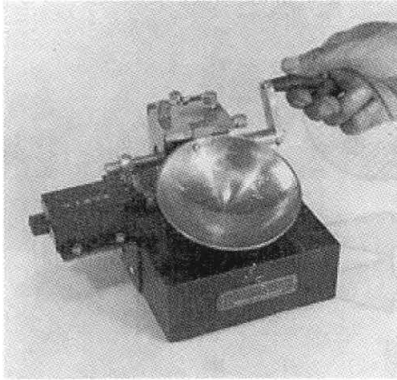


รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสภาพของมวลดินในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของความชื้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมวลดิน

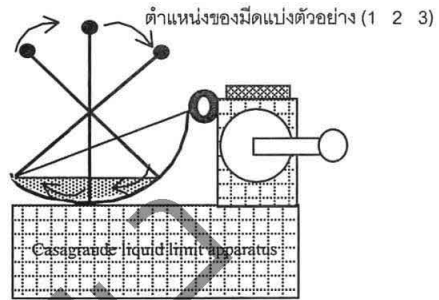
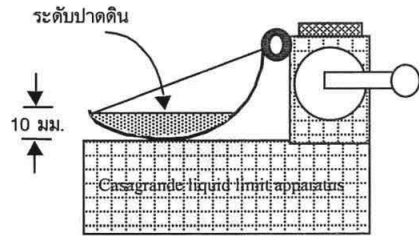
2.4.1 ชีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL or w_L)

ขีดจำกัดเหลวคือค่าความชื้นในมวลดินที่ซึ่งมวลดินเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็งป็นได้ (Plastic) นั่นคือมวลดินมีกำลังการยึดเหนี่ยวกันมากขึ้นจนสามารถต้านทานการไหลเปลี่ยนรูปร่างได้ Casagrande (คศ.1932) ได้สรุปไว้ว่าเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit Device) (รูปที่ 2.18) ในการวิเคราะห์ตามทฤษฎีพลังงานแล้วการเคาะหนึ่งครั้งจะทำให้เกิดแรงเฉือนต่อมวลดิน 1 กรัมต่อตร.ซม. (≈ 0.1 กิโลนิวตันต่อ ตร.ม) ซึ่งค่ากำลังแรงเฉือนประมาณ 25 กรัม ต่อ ตร.ซม เป็นกำลังแรงเฉือนในการทำให้ดินเริ่มเป็นของแข็งป็นได้ ดังนั้นในการทดสอบเพื่อหาค่าขีดจำกัดเหลวของมวลดินจะใช้เครื่องมือดังกล่าวแล้วข้างต้น โดยนำดินเปียกใส่ลงไปในส่วน กะทะปาดให้เรียบแล้วกรีดแบ่งเป็นสองส่วนด้วยมีปาดร่องมาตรฐาน (Grooving Tool) หลังจากนั้นหมุดเคาะให้กะทะบรรจุดินตกลงโดยอิสระเป็นระยะ 10 มม. ด้วยความเร็ว 120 ครั้งต่อนาที ให้ดินไหลมาชนกันยาวประมาณ 13 มม. ($\frac{1}{2}$ นิ้ว) ดังรูปที่ 2.18 แล้วนำตัวอย่างดินบริเวณที่ชนกันไปหาความชื้นในมวลดิน

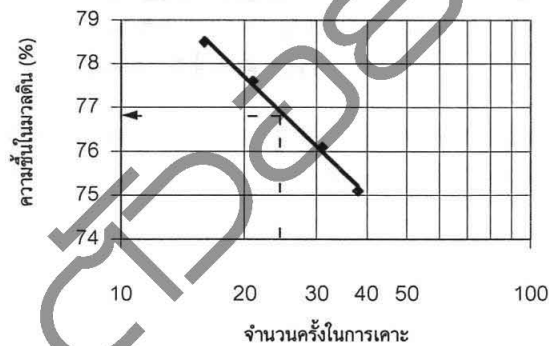
การทดสอบใช้การเคาะตัวอย่างดินแล้วดินเลื่อนมาชนกันในช่วงการเคาะระหว่าง 10-50 ครั้ง จากนั้นนำค่าความชื้นของมวลดินและจำนวนครั้งในการเคาะมาเขียนกราฟ โดยให้ความชื้นในมวลดินอยู่ในแกนธรรมดา(แกนตั้ง) และจำนวนครั้งในการเคาะอยู่ในแกนมาตราส่วน log (แกนนอน) ลากกราฟเส้นตรงเฉลี่ยค่าระหว่างจุดที่กำหนด แล้วจึงลากตัดเส้นกราฟที่การเคาะ 25 ครั้งลากขึ้นไปตัดเส้นกราฟ และลากตามแนวนอนไปตัดเพื่ออ่านค่าความชื้นในมวลดินซึ่งจะเป็นค่าขีดจำกัดก่ดเหลวนั่นเอง รูปที่ 2.20



รูปที่ 2.18 เครื่องหาค่าขีดจำกัดเหลว



รูปที่ 2.19 ระดับการปาดดินและการปาดดินโดยใช้มีดปาดดิน



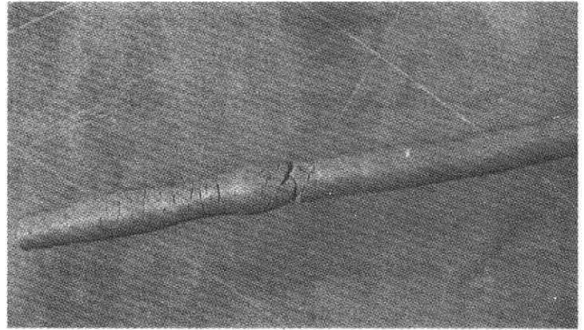
รูปที่ 2.20 ผลการทดสอบพิกัดเหลว (LL = 76.8 %)

2.4.2 ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit PL, w_p)

ขีดจำกัดพลาสติกคือความชื้นของมวลดินขณะที่มวลดินเปลี่ยนสภาพจากพลาสติก (Plastic) หรือเรียกว่าสภาพปั้นได้โดยไม่เกิดรอยแตกร้าวไปเป็นสภาพกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Material) หรือเป็นค่าความชื้นของมวลดินที่น้อยที่สุดที่มวลดินนั้นคงอยู่ในสภาพพลาสติก การทดสอบในห้องปฏิบัติการกำหนดขึ้นโดยให้ค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เป็นค่าความชื้นของมวลดินซึ่งเมื่อนำมวลดินนั้นไปคลึงบนแผ่นกระจกเป็นเส้นกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. แล้วมวลดินจะอยู่ในสภาพที่กำลังจะแตกแยกตัวออกจากกัน (Crumbling) คือไม่สามารถเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้อีกต่อไป (ดังในรูปที่ 2.21)



(ก) การหาค่าขีดจำกัดพลาสติก

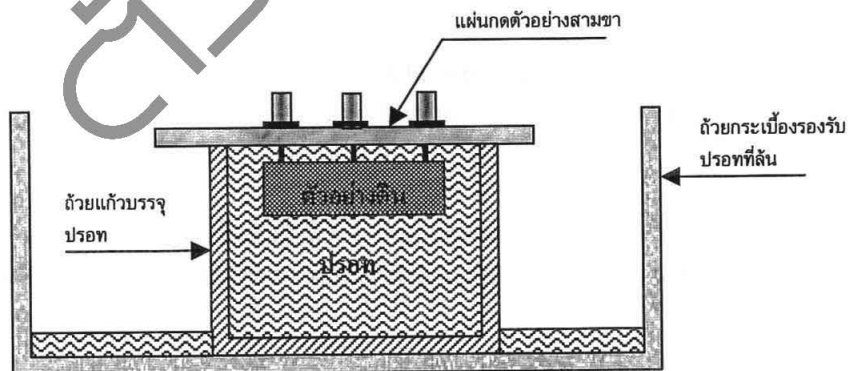


(ข) สภาพของดินกึ่งของแข็ง

รูปที่ 2.21 การหาค่าขีดจำกัดพลาสติกและสภาพของดินกึ่งของแข็ง

2.4.3 ขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limit SL หรือ w_s)

ขีดจำกัดการหดตัว คือ ค่าความชื้นของมวลดินขณะที่มวลดินเปลี่ยนสภาพจากกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Material) เป็นของแข็ง (Solid Material) หรือเป็นค่าความชื้นของมวลดินขณะที่มวลดินนั้นมีปริมาตรน้อยที่สุด แม้ว่าความชื้นของมวลดินจะลดลงไปต่ำกว่านี้ ปริมาตรของมวลดินรวมจะไม่เปลี่ยนแปลง (ลดลง) ไปอีก (จุด B ในรูปที่ 2.17) การทดสอบเพื่อประเมินค่าขีดจำกัดการหดตัวของมวลดินในห้องปฏิบัติการ กระทำได้โดยนำดินเปียก ที่มีความชื้น w_L ใส่ในถ้วยทดสอบที่มีปริมาตร V_1 ให้เต็มโดยมีให้มีช่องอากาศหลงเหลืออยู่ในมวลดินนั้น แล้วนำไปอบให้แห้งวัดปริมาตรของมวลดินแห้ง (V_2) โดยการแทนที่ในปรอท จากผลการทดสอบสามารถเขียนรูปกราฟจุด N และ จุด A บน Phase Diagram ได้ จากนั้นอาศัยค่าความถ่วงจำเพาะของมวลดินที่ใช้ทำการทดสอบและน้ำหนักของมวลดินแห้ง จะสามารถคำนวณหาปริมาตรของเนื้อดินแห้งได้ (V_s) โดยใช้สูตร $V_s = (w_s / G_s \gamma_w)$ เราจะสามารถเขียนรูปกราฟจุด M และในที่สุดก็จะกำหนดจุด B บน Phase Diagram ได้



รูปที่ 2.22 การหาปริมาตรของตัวอย่างดินอบแห้งโดยการแทนที่ในปรอท

ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลว (Consistency Limits หรือ Atterberg Limits) ที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นค่าแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของมวลดินซึ่งสามารถอธิบายได้ทางทฤษฎี ส่วนในทางปฏิบัตินั้นการประเมินค่าเหล่านี้ให้ได้ผลแน่นอนจะเป็นไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องกำหนดวิธีการขึ้นในรูปแบบเชิงประสบการณ์ (Empirical) ทั้งสิ้น ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ของมวลดินได้อีกดังต่อไปนี้

ก. ดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity Index, PI หรือ I_p) คือช่วงความแตกต่างระหว่างค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) กับ ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) หรือ ช่วงการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นของมวลดินโดยที่มวลดินนั้นจะยังคงรักษาสภาพเป็นวัสดุพลาสติก หรือวัสดุปั้นได้โดยไม่เกิดรอยแตกร้าว (Plastic Material) อยู่ได้ (รูปที่ 2.16)

$$PI = LL - PL \quad \dots\dots\dots 2.1$$

ข. ดัชนีความเหลว (Liquidity Index, LI หรือ I_L) คือปริมาณที่จะเปรียบเทียบให้ทราบว่ามวลดินที่นำมาพิจารณานั้น มีสภาพของความชื้นตามธรรมชาติอยู่ในลักษณะใด

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL} \quad \text{เมื่อ } w \text{ มีหน่วยเป็นร้อยละ} \quad \dots\dots\dots 2.2$$

ถ้าดัชนีความเหลวของมวลดินมีค่ามากกว่า 1.0 แสดงว่ามวลดินนั้นมีสภาพตามธรรมชาติเป็นของเหลว ($w > LL$) ถ้า Liquidity Index ของมวลดินมีค่าระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 แสดงว่ามวลดินนั้นมีสภาพตามธรรมชาติเป็น Plastic Material ถ้า Liquidity Index ของมวลดินมีค่าติดลบ แสดงว่ามวลดินนั้นมีสภาพตามธรรมชาติเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ($w < PL$) รูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ดัชนีความเหลว

ค. อัตราส่วนการหดตัว (Shrinkage Ratio, SR) คืออัตราการลดลงของปริมาตรของมวลดิน เปรียบเทียบกับอัตราการลดลงของความชื้นของมวลดินนั้น หรืออีกนัยหนึ่งคือค่าความชื้นของเส้นตรง MN ใน phase diagram ของมวลดินนั้น (รูปที่ 2.17)

ง. แอคติวิตี (Activity, A) คือค่าที่บ่งบอกการที่เม็ดซึ่งประกอบกันขึ้นเป็นมวลดินนั้นสามารถดึงดูดโมเลกุลของน้ำเข้ารวมตัวกับเม็ดดินได้มากหรือน้อย การประเมินค่าแอกติวิตีของมวลดินจะประเมินได้จาก

$$A = \frac{\text{Plasticity Index}}{\% \text{ by weight finer than } 0.002 \text{ mm.}} \quad \dots\dots\dots 2.3$$



ตารางที่ 2.2 แสดงค่าพฤติกรรมโดยค่าแอกติวิตี้ของดิน

แอกติวิตี้ (Activity, A)	ค่าแอกติวิตี้ของดิน
น้อยกว่า 0.75	เป็นดินไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่อการถูกรบกวน
ระหว่าง 0.75 ถึง 1.5	เป็นดินมีค่าแอกติวิตี้ปกติ
มากกว่า 1.5	เป็นดินมีค่าแอกติวิตี้สูง

หรือเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าดัชนีพลาสติกซิตีของมวลดินกับปริมาณของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มม. ที่มีอยู่ในมวลดินนั้น คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักของมวลดินทั้งหมด

จ. การหดตัวตามแนวยาว (Linear Shrinkage, LS) ในกรณีที่มีเม็ดดินประเภทอนุภาคของดินเหนียว (Clay Particles) อยู่ในมวลดินเป็นจำนวนน้อย หรือ ในกรณีมวลดินมีค่าแอกติวิตี้ (Activity) ต่ำเนื่องจากมวลดินมีค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ต่ำ ทำให้ยากแก่การประเมินค่าขีดจำกัดชั้นเหลว (Consistency Limits) ต่าง ๆ ของมวลดินนั้น การประเมินค่าการหดตัวตามแนวยาว (Linear Shrinkage) ของมวลดินเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ของมวลดินที่มีลักษณะดังกล่าว การทดสอบกระทำโดยใช้มวลดินที่มีความชื้นใกล้เคียงกับค่าขีดจำกัดเหลวของมวลดินนั้น (โดยประมาณ) ใส่ลงในรางทองเหลืองมีรูปด้านตัดเป็นรูปครึ่งวงกลม (รางมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่ถูกผ่าครึ่งยาว แล้ววางไว้แนวนอน) เส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม. ยาว 140 มม. หลังจากอบแห้งแล้ว วัดความยาวของมวลดินที่แห้งสนิท จะคำนวณค่าการหดตัวตามแนวยาว (Linear Shrinkage) ของมวลดินได้จาก

$$LS = \left[1 - \frac{\text{ความยาวของดินที่อบแห้ง}}{\text{ความยาวของดินในรางก่อนอบ}} \right] \times 100 \% \quad \dots\dots\dots 2.4$$

การเปรียบเทียบผลการทดสอบจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) และค่าการหดตัวตามแนวยาว (Linear Shrinkage) ของมวลดิน ดังนี้

$$PL = 2.13 \times LS \quad \dots\dots\dots 2.5$$

เมื่อ LS บ่งบอกในหน่วยของร้อยละ จากการทดสอบนี้จะเห็นได้ว่าการหดตัวตามแนวยาว (Linear Shrinkage) ของมวลดินก็คือ ค่าร้อยละของการหดตัวของมวลดินในแบบทิศทางเดียว (One Dimensional) เมื่อความชื้นของมวลดินลดลง จากค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) จนกระทั่งถึงค่าขีดจำกัดหดตัว (Shrinkage Limit) ของมวลดินนั้น

2.5 แบบฝึกหัด

1. จงอธิบายความหมายของการผุกร่อนทางกายภาพ โดยสังเขป

2. จงอธิบายความหมายของการผุกร่อนทางเคมี โดยสังเขป

3. จงบอกลักษณะของ Bulky Grains

4. จงบอกลักษณะของ Flaky Grains

5. จงบอกลักษณะของ Needle-Shaped Grains

6. จงบอกความหมายของโครงสร้างเม็ดดิน โดยสังเขป

7. แปรประกอบดินเหนียวที่สำคัญ 3 ชนิดได้แก่
ก) _____
ข) _____
ค) _____
8. จงอธิบายการเกิดโครงสร้างดินเหนียวแบบกระจุกกระจิก (Flocculation) และแบบเป็นระเบียบ (Dispersion)

9. ดินที่อยู่ตามธรรมชาติจะสามารถอยู่ในสภาวะความชื้นเหลวต่างๆ กันได้แก่
ก) _____ ข) _____
ค) _____ ง) _____
10. ปริมาณความชื้นในมวลดินที่ทำให้ปริมาตรดินคงที่ ถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียความชื้นในมวลดินต่อไปอีก เรียกจุดนี้ว่าขีดจำกัด _____
11. ปริมาณความชื้นในมวลดินที่อยู่ระหว่าง Liquid Limit และ Plastic Limit เรียกว่า _____
12. ค่า Liquidity Index มีประโยชน์คือ _____
13. ค่า Liquidity Index = 0.89 หมายความว่าอย่างไร _____
14. ค่า Activity มีประโยชน์คือ _____



มวลดินที่อยู่ตามธรรมชาติประกอบด้วยเม็ดดินที่มีขนาดต่างๆกัน ทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมแตกต่างกันออกไปด้วย เราจึงจำเป็นต้องมีระบบ/วิธีการที่จะบ่งชี้ให้ทราบว่ามีดินแต่ละชนิดเป็นอย่างไร มีชื่อเรียกว่าอะไร ใช้สัญลักษณ์แทนว่าอะไร การจำแนกประเภทดินโดยการใช้ขนาดของเม็ดดินสามารถจำแนกได้เป็น กรวด (Gravel, G) หยาบ (Sand, S) ตะกอนหยาบ (Silt, M) และดินเหนียว (Clay, C) ซึ่งช่วงขนาดของเม็ดดินแต่ละชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

	mm.	0.002	0.006	0.02	0.06	0.2	0.6	2	6	20	60	200	600
	F	M	C	F	M	C	F	M	C				
CLAY	SILT				SAND			GRAVEL			COBBLE		BOULDERS

รูปที่ 3.1 ช่วงขนาดของเม็ดดินชนิดต่างๆ โดย Massachusetts Institute of Technology

3.1 วิธีการจำแนกประเภทดิน (Soil Classification)

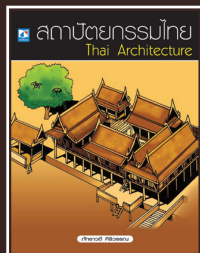
การจำแนกชนิดของดินทางวิศวกรรมมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน บางระบบจะบอกชื่อและลักษณะของมวลดินอย่างคร่าว ๆ บางระบบจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสนใจ และวัตถุประสงค์ของสถาบันหรือผู้คิดค้นระบบการจำแนกประเภทของดินนั้น ๆ ระบบการจำแนกที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นระบบที่ค่อนข้างใช้กันอย่างแพร่หลายทางวิศวกรรมเทคนิคธรณีมีอยู่ 3 วิธี คือ

1. การจำแนกชนิดของดินแบบตารางสามเหลี่ยม (Triangular Classification Chart)
2. การจำแนกชนิดของดินด้วยระบบเอกภาพ (Unified Soil Classification System, USCS)
3. การจำแนกชนิดของดินแบบ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

3.1 1 การจำแนกชนิดของดินแบบตารางสามเหลี่ยม (Triangular Classification Chart)

การจำแนกวิธีนี้อาจเรียกได้อีกแบบหนึ่งว่า Textural Classification โดยวิธีนี้จะแบ่งมวลดินออกเป็นสามส่วน คือ ทราย (ขนาดเม็ดดิน 2 0.05 มม.) ตะกอนทราย (ขนาดเม็ดดิน 0.05 0.005 มม.) และดินเหนียว (ขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 0.005 มม.) เมื่อจำแนกส่วนประกอบทั้งสามออกจากกันแต่ละส่วนมีก็เปอร์เซ็นต์ (รวมกันทั้งสามส่วนต้องได้ 100 เปอร์เซ็นต์) นำมาลากเส้นตามเปอร์เซ็นต์ของแต่ละอันแล้วลากมาตัดกัน ณ จุดตัดของทั้งสามส่วนนี้จะเป็นประเภทดินที่ระบุไว้ใน ตารางสามเหลี่ยม จากรูปที่ 3.2 จากตัวอย่างดินชุดหนึ่งประกอบด้วย ทราย 60% ตะกอนทราย 22% และดินเหนียว 18% เราสามารถจำแนกได้ว่าดินชนิดนี้คือทรายปนดินเหนียว (Clayey Sand)

แนะนำหนังสือ



สถาปัตยกรรมไทย
Thai Architecture



สร้างบ้านด้วยตนเอง



ช่อมำรุ้งรักษาบ้าน
ด้วยตนเอง



เขียนแบบบ้านด้วยตนเอง



ความรู้พื้นฐาน
งานออกแบบตกแต่งภายใน
INTERIOR DESIGNS



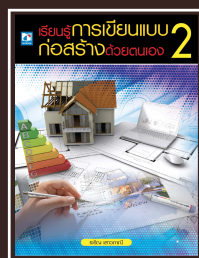
องค์ประกอบศิลป์



เรียนรู้
เขียนแบบเบื้องต้น
ด้วยตนเอง



เรียนรู้
การเขียนแบบก่อสร้าง
ด้วยตนเอง 1



เรียนรู้
การเขียนแบบก่อสร้าง
ด้วยตนเอง 2



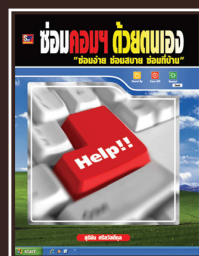
การออกแบบและติดตั้งไฟฟ้า
ภายในบ้าน-อาคารอุตสาหกรรม



เรียนรู้งานอะลูมิเนียม
ด้วยตนเอง



ทาสีบ้านให้สวยด้วยตนเอง



ช่อมคอมฯ ด้วยตนเอง



การเพาะเห็ด
แบบเศรษฐกิจพอเพียง

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย



บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด
SKYBOOK COMPANY LIMITED
28, 30, 32 ซอยรังสิต-ปทุมธานี 16 ซอย 7
ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130
โทรศัพท์ 0-2958-1125, 0-2958-1127 www.skybook.co.th
e-mail: sales@skybook.co.th, saleskybook@gmail.com

e-book

หมวดงานอาชีพ
ปฐพีกลศาสตร์

ISBN : 978-616-596-205-6



9 786165 962056

ราคา 300 บาท