



๒.๑ การผุของหิน (Weathering of Rock)

Vargas (๑๙๕๑) อธิบายถึงการผุของหิน คือ ผลของชั้นตอนทั้งหลายที่เกิดขึ้นจากผิวลึกลงไปยังใต้ดิน ผลนี้เกี่ยวกับการผุ (decomposition) และการแตกหัก (disintegration) ของหิน โดยหินผุส่วนที่ร่วนและหลวม (loosened) ไม่ถูกพัดพาไปยังแห่งอื่น การผุของหินมีอยู่ ๒ กระบวนการ คือ

๒.๑.๑ การผุของหินทางฟิสิกส์ หรือ กลศาสตร์ (Physical or Mechanical Weathering) หมายถึง การแตกหักของมวลหินให้มีขนาดเล็กลง และปราศจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยมีน้ำฝน, น้ำแข็ง, ลม และคลื่นน้ำ เป็นตัวทำลายในบรรยากาศ (atmospheric agent) ที่ทำให้หินเกิดการผุขึ้น ดังมีรายละเอียดย่อต่อไปนี้

๒.๑.๑.๑ น้ำฝน ปริมาณเศษหินและเศษดินจะถูกน้ำฝนที่ตกลงมาชะล้างพัดพาให้ไหลซึมลงสู่ที่ต่ำกว่า ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า " rain wash " ฝนที่ตกลงมาปริมาณมากจะทำให้หินผุมากขึ้นจนอาจจะเกิดการพังของชั้นหินแบบเลื่อนไถล (slide failure) หรือ แผ่นดินถล่มในบริเวณนั้น ในบริเวณอากาศเขตร้อนกระบวนการนี้จะทำให้หินผุมากขึ้น หวงพืชและต้นไม้เล็ก ๆ ที่ขึ้นปกคลุมอยู่บนดินจะช่วยป้องกันและรักษาสภาพผิวดินให้เหมือนเดิมอยู่ได้

๒.๑.๑.๒ น้ำแข็งที่เกิดจากการแข็งตัวของน้ำในบริเวณอากาศหนาว เนื่องจากน้ำสามารถซึมเข้าไปตามรอยแตก (cracks), รอยแยกแยะ (joints), รอยเลื่อน (faults) เป็นต้น และเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำแข็งเมื่ออุณหภูมิลดลงมาก ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นมากกว่าสถานะที่เป็นน้ำถึง ๑๐ % จึงเกิดแรงดันขึ้นทำให้หินแตก

๒.๑.๑.๓ ลม ลมจะพัดพาเศษหินที่แตกหักจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และมักเกิดในบริเวณภูมิประเทศแห้งแล้ง โดยวัสดุที่พัดพาไปจะกระแทกเอาผิวหินแตกหักสึกกร่อนได้

๒.๑.๑.๔ อุลูมิเนียม ในบริเวณภูมิประเทศแห้งแล้ง อุลูมิเนียมในเวลากลางวัน และกลางคืนจะแตกต่างกันมาก แร่ที่ประกอบกันขึ้นเป็นหินมีอยู่หลายชนิด คุณลักษณะการยึดตัว และการหดตัวของแร่ต่างชนิดกันย่อมมีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้หินส่วนที่ผู้อยู่บางเล็กน้อย หรือหินที่ไม่มีความแข็งแรงพอแตกหักออกจากกันได้

๒.๑.๑.๕ พืชและสัตว์ สัตว์เป็นตัวทำลายอยู่แล้ว ส่วนพืชมีรากของต้นไม้ใหญ่แผ่ขยายลงไปตามรอยแตกต่าง ๆ ของหิน เมื่อรากใหญ่ขึ้นมันจะดันให้หินแตกแยกออกจากกันได้

๒.๑.๒ การผุพังทำลายทางเคมี (Chemical Weathering)

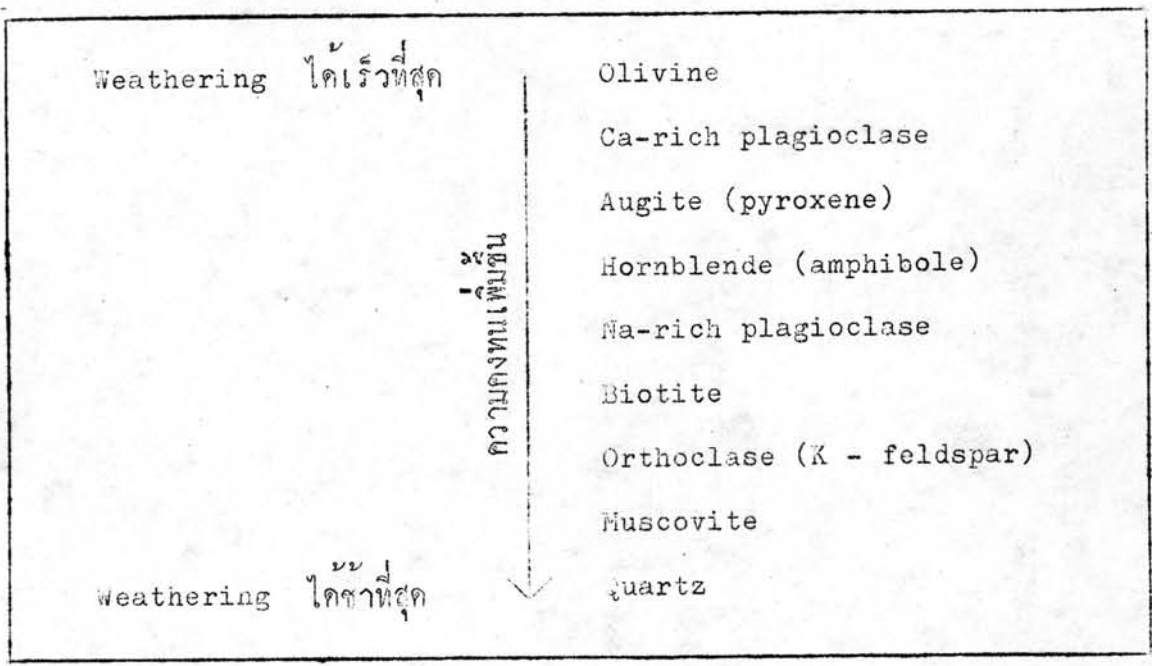
การผุพังทำลายทางเคมีเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีอันสลับซับซ้อนที่เนื่องมาจากน้ำ, ออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์, แก๊ซแอมโมเนีย, คลอไรด์, ซัลเฟต และกรด ซึ่งเกิดจากสิ่งที่มีชีวิต ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ นี้จะเกิดความร้อนและจะเปลี่ยนแปลงแร่เดิมในหินให้กลายเป็นแร่ชนิดใหม่ขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและส่วนประกอบของหินเดิมด้วย ปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ก็เพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ๓ สิ่งใหญ่ ๆ คือ

๒.๑.๒.๑ พื้นที่ผิวของหินต่อปริมาตร เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อสารละลายสัมผัสกับหิน เมื่อนหินมีพื้นที่ผิวเผยออกมามากก็ย่อมเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดี

๒.๑.๒.๒ ส่วนประกอบของแร่เดิมในหิน แร่ที่เป็นส่วนประกอบของหินอัคนีหรือหินแปร ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ผิวโลกมาก เมื่อแร่เหล่านี้มาอยู่ในบริเวณผิวโลกย่อมจะไม่สมดุลย์ แร่ในหินอัคนีที่เกิดในอุณหภูมิสูง ๆ จะถูกทำลายได้รวดเร็วที่สุด เพราะความไม่เสถียรภาพความสมดุลย์มากที่สุด ส่วนในหินที่เกิดในสภาพอุณหภูมิต่ำเท่าใดก็จะมีควมคงทนต่อการผุพังทำลายมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้น Bowens Reaction Series Goldich จึงได้ตั้ง Mineral stability series ขึ้นดังตารางที่ ๒.๑



ตารางที่ ๒.๑ Goldich Mineral Stability Series



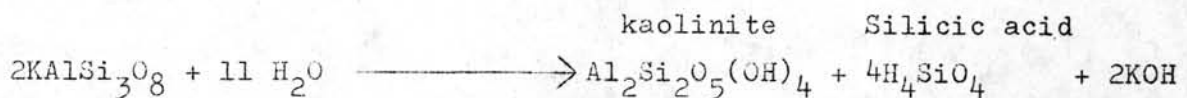
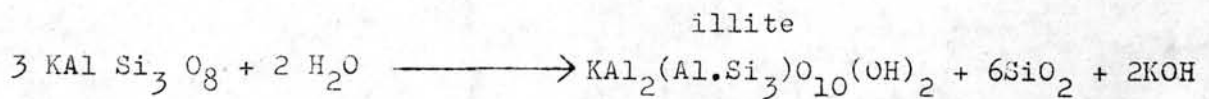
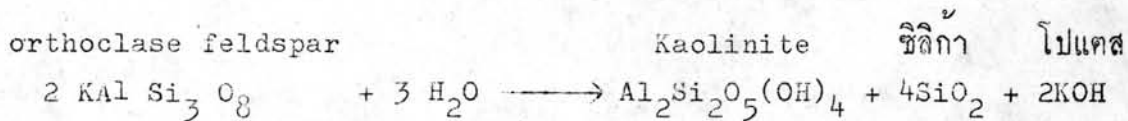
๒.๑.๒.๓ ภูมิภาคที่สำคัญที่ทำให้เกิดการผุพังทำลายทางเคมี คือ น้ำ ดังนั้น บริเวณที่มีความชื้นสูงย่อมจะเกิดการผุพังทำลายได้ดี หากมีภูมิภาคที่ร้อนด้วย จะยิ่งช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วขึ้น ภูมิภาคในบริเวณเขตร้อนแบบมรสุมจึงมีส่วนช่วยให้เกิดการผุพังทำลายทางเคมีได้ดีที่สุด

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการผุพังทำลายทางเคมีมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน และผลจากปฏิกิริยาที่ได้ คือ เกิดแร่ใหม่ขึ้น ซึ่งจะคงทนอยู่ได้ตลอดเวลาที่มีน้ำอยู่ที่ผิวโลก แร่ใหม่ที่ใดส่วนมากจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าแร่เดิมและมักจะมีออกซิเจน, น้ำ หรือ ไฮดรอกไซด์ (OH⁻) หรือ คาร์บอเนต (CO₃⁻²) เพิ่มในส่วนประกอบของมัน นอกจากนี้จะมีธาตุอีกจำนวนหนึ่งถูกน้ำพัดพาไปในลักษณะของไอออน (ion) ละลายไปกับน้ำ หรืออาจเป็นในลักษณะของสารคอลลอยด์ (colloid) ซึ่งน้ำสามารถชะล้างสารเหล่านี้ไปได้ วิธีการเหล่านี้เราเรียกว่า Leaching

ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการผุพังทำลายทางเคมี

ได้แก่

(๑) Hydrolysis คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างประจุของไฮโดรเจน (H^+) และประจุของไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของน้ำกับแร่ต่าง ๆ เช่น Lumb, (๑๙๖๒) ได้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ orthoclase (potassium) feldspar ไปเป็นแร่ดินเหนียว kaolinite และ illite ดังสมการเคมีดังต่อไปนี้ :-



จากสมการเคมีเหล่านี้พบว่า โครงสร้างผลึกของแร่ดินเหนียว kaolinite และ illite มีโมเลกุลของน้ำรวมอยู่ด้วย ส่วนสารประกอบซิลิกา หรือ Silicic acid และโปแตส ถูกแยกตัวออกมาเป็นอิสระจากปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้และอยู่ในสถานะผลึกด้วย สารประกอบเหล่านี้จะถูกชะล้างด้วยน้ำให้ไหลไปยังชั้นล่าง ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณของหินผุลดลง

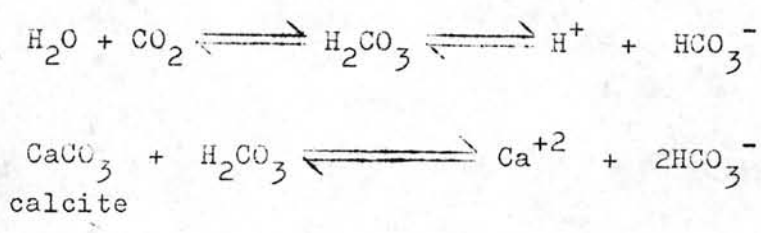
(๒) Hydration คือ ปฏิกิริยาที่น้ำเข้าไปเพิ่มในโครงสร้างของแร่โดยตรง ผลของปฏิกิริยาเคมีจะได้สารประกอบประเภท hydrous minerals เช่น แร่ Silicate ของสารประกอบ kaolin, serpentine, talc, chlorite และ oxides ของแร่เหล็ก และอลูมิเนียมและ ซัลเฟตของยิบซัม เป็นต้น ดังตัวอย่างสมการเคมี ดังนี้



ในการบุพังทำลายของหินแกรนิตสด กระบวนการ hydrolysis และ hydration จะทำให้ระนาบของผิวหินตามรอยแยกแยะ (joint) เป็นรอยค่างลึกลงไปประมาณหนึ่งนิ้วหรือมากกว่า ในระยะแรกเฟลสปาร์จะเริ่มบุพังเล็กน้อย Black Welder

(๑๕๒๕) โคอซิบายถึงวิธี hydration จากสมการเคมีดังกล่าวข้างต้น จะทำให้ปริมาณแร่ดินเหนียวในหินดูเพิ่มขึ้นจนเกิดความเค็มมากเพียงพอที่จะค้ำให้หินที่อยู่โดยรอบแตกหักออกได้ และเกิดผิวหน้าสดของหินสำหรับการทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไป ในสภาพเช่นนี้ขนาดของหินแกรนิตจะถูกลดลงเป็นก้อน ๆ รวมตัวอยู่ด้วยกัน และยังคงเกาะกันรักษาสภาพโครงสร้างเดิมของหินอยู่ได้ แต่ความแข็งแรงลดลงมากจนเป็นหินที่อ่อนนุ่ม ซึ่งง่ายต่อการผุพังมากยิ่งขึ้น ทำให้เม็ดแร่ในหินขยายออกยอมให้เฟลสปาร์ผุได้รวดเร็วขึ้นและขนาดของไมก้าจะลดลงโดยที่แร่ควอตซ์จะไม่เปลี่ยนแปลงเลย ความพรุนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผลึกซิลิกาและโปแตสเซียมน้ำชะล้างออกไป เฟลสปาร์เม็ดที่เล็กกว่าจะผุเร็วกว่าเม็ดที่หยาบกว่า ผลที่ได้จะเป็นทรายหยาบที่มีแร่ควอตซ์, เฟลสปาร์และมีดินเหนียวปนอยู่เล็กน้อย หินที่มีขนาดแตกต่างกันมากจะไม่มีเสถียรภาพเพียงพอที่จะต่อต้านการสึกกร่อนภายใน ทำให้ปริมาณดินเหนียว, สารประกอบซิลิกา และโปแตสเซียมถูกน้ำชะล้างออกไปอีก ค่าความพรุนจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเฟลสปาร์ที่มีเม็ดหยาบผุพังทำลายจนมีปริมาณเพียงพอที่ทำให้ขนาดส่วนคละของหินดูเปลี่ยนเป็นทรายละเอียด และทรายเม็ดป่น ส่วนเม็ดควอตซ์จะยังคงอยู่ในสภาพโครงสร้างเดิมเหมือนหินสดไม่เปลี่ยนแปลง หินดูจะยังคงแสดงลักษณะโครงสร้างเดิมของหินแกรนิตไว้ ถึงแม้ว่ามันจะถูกชะลอกออกไปได้โดยง่ายด้วยพลวัตก็ตาม

(๑) Carbonation คือ กระบวนการที่นำไปรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ผลออกมาเป็นกรดคาร์บอนิก (H₂CO₃) กรดคาร์บอนิกอ่อน ๆ ที่ผสมอยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ประจุ H⁺ion ซึ่งจะช่วยให้เกิดการผุพังทำลายทางเคมีเร็วขึ้น โดยช่วยเพิ่มประจุ H⁺ion ให้กับปฏิกิริยา hydrolysis ส่วนกรดคาร์บอนิกจะไปทำปฏิกิริยาเคมีกับออกไซด์ของแคลเซียม, โปแตสเซียม, โซเดียม, แร่เหล็ก และพวก calcite ในหินเป็นต้น ได้ผลออกมาเป็นสารประกอบคาร์บอเนต หรือไบคาร์บอเนตของแร่โลหะเหล่านั้น ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นนี้โดยการกระทำของกรดคาร์บอนิก เรียกว่า Carbonation

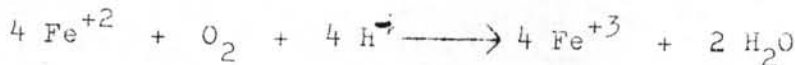


นอกจากกรดคาร์บอนิกแล้วในเขตร้อนชื้นชั้นยังอาจมีพวกกรดอินทรีย์
(HNO_3), กรดกำมะถัน (H_2SO_4) และกรดอินทรีย์ (organic acids) ผสมอยู่อย่าง
เจือจาง

(๘) Oxidation เป็นกระบวนการที่แร่ของหินมีปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศหรือน้ำโดยมี
ช่วยเร่งปฏิกิริยาทางเคมีจึงจะได้ผลและเกิดขึ้นได้ง่ายมาก โดยเฉพาะแร่ที่มีเหล็กผสมอยู่

เช่น แร่ไพไรท์ ซึ่งมีสารประกอบพวกแร่เหล็กและกำมะถัน เมื่อมีปฏิกิริยากับออกซิเจน
ผลของปฏิกิริยาทางเคมีจะได้กรดกำมะถัน ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดการผุพังร้ายแรงที่สุด
ดังสมการต่อไปนี้

pyrite



goethite



ปฏิกิริยาเคมีที่ตรงข้ามกับ oxidation คือ reduction ซึ่งตามปกติมักจะ
ไม่เกิดขึ้นในโลก ซึ่งมีออกซิเจนบริบูรณ์ แต่ในบางบริเวณ เช่น หนองน้ำ ซึ่งมีหญ้าเน่าหมัก
หมกอยู่ หรือในบริเวณที่มีมวลพืชที่ทับถมกันหนาแน่น ก็จะมีปฏิกิริยาเคมีทาง reduction เกิดขึ้นได้

วิธีการผุพังทำลายเหล่านี้จะทำให้หินผุมีขนาดละเอียดของเม็ดดินเป็น silty
coarse sand ประกอบด้วยแรควอทซ์, เฟลสปาร์ และไมก้า เป็นต้น ผลผลิตจากการผุพัง
ทำลายนี้ทำให้หินขนาดก้อนใหญ่แตกกระจายออกโดยเริ่มจากการผุทำลายอย่างช้า ๆ จน
กระทั่งผุพังทำลายจนหมดไปในที่สุด หินผุทุก ๆ เม็ดแยกตัวออกจากกันเป็นอิสระแต่ยังคงแสดง
ลักษณะโครงสร้างเดิมของหินแกรนิตอยู่

๒.๒ การแบ่งชั้นของหินผุ

การผุของหินอัคนีและหินแปร ส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น ๓ ชั้น ตามวิธีของ Deere
และ Patton (๑๙๓๑) ดังต่อไปนี้ :-

๒.๒.๑ ดิน Residual เกิดจากการคูดของหินอัคนีและหินแปร ซึ่งจะไม่ถูกพัดพาไป แต่จะคงอยู่ในที่เดิมของมัน หรือเกิดจากอัตราการคูดของหินมากกว่าอัตราพัดพาหินผู้ไปยังที่อื่น ดิน residual นี้ ยังได้แบ่งชั้นย่อยลงไปอีกเป็น ชั้น ดิน residual IA , IB และ IC ดังรายละเอียดต่อไปนี้

๒.๒.๑.๑ ดิน residual ชั้น IA เป็นชั้น A-horizon วัตถุจากพื้นผิวดิน ลึกลงไปตามวิธีการแบ่งชั้นดินทาง pedology แร่และสารอินทรีย์ humus ในชั้นนี้ได้ถูกชะล้าง ค่ายน้ำฝนให้ไหลซึมลงไปยังชั้น IB ต่อไป ฉะนั้น ลักษณะดินจึงเป็นเม็ดทรายมากและเป็นดินอินทรีย์ ซึ่งสลายตัวเพียงเล็กน้อย

๒.๒.๑.๒ ดิน residual ชั้น IB เป็นชั้น B-horizon มีดิน residual ที่ถูกชะล้างไหลซึมมาจากชั้น A-horizon ดิน residual ในชั้นนี้จึงมีสีคล้ำมี แร่ดินเหนียวมากและส่วนประกอบของสารละลายเค็มก็ถูกชะล้างออก มีการคูดเปลี่ยนแปลงมากในชั้นนี้จนเกือบจะไม่แสดงโครงสร้างของหินเค็มและสภาพวัสดุเค็มเลย แร่ธาตุในชั้นนี้มีอยู่มาก เช่น ซิลิกา, อลูมิเนียม และเหล็ก ซึ่งมีประโยชน์ในด้านการประสานหรือไวตอการแข็งตัวที่คืนตัวไม่ได้ เนื่องจากสารวัสดุจะมีเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และความชื้นยังเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล จึงทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของชั้น B-horizon นี้ไม่สม่ำเสมอ

Sower, (๑๙๖๓) ถือว่าดิน residual ชั้น IA และ IB เป็นชั้นเปลือกของดินเหนียวแข็งปนทรายแดง มีแร่ของดินรวมถึงควอตซ์, ไมกา, แร่ดินเหนียว และ ออกไซด์ของเหล็ก ควอตซ์มีมุมเหลี่ยมและมักถูกทำให้เป็นค่างควายออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) เกิดเป็นสีแดงหรือเหลือง แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็น kaolinite (มี halloysite รวมอยู่ด้วย) และ illites ดิน residual ที่คูดมาจาก basic rock ประกอบด้วย แร่ดินเหนียว montmorillonite ส่วน biotite และ muscovite mica แร่ทั้งสองชนิดนี้มีอยู่ทั่วไปปะปนด้วย vermiculite และ hydrous mica รวมอยู่บ้าง ออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) ถูกเติมออกซิเจน (Oxidation) มากจึงทำให้ดินมีสีแดงเข้ม ส่วนที่คูดมากจะมีเม็ดดินเป็นขนาดเดียวกัน (smooth gradation) ในดินชั้นนี้จะเป็นเปลือกแข็ง (stiff crust) ทั้งนี้ เนื่องจากดินถูกฝังแคดจัดโดยเฉพาะในเขตร้อน (tropical และ subtropical) แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็น kaolinite ซึ่งไม่ค่อยดูดน้ำหรือการ



พองตัว (swell) ระหว่างฤดูฝน

สารละลายของแร่ต่าง ๆ ถูกชะล้างให้ซึมจากผิวชั้นบนลงไปยังชั้นล่าง เหลือไว้แต่สารประกอบพวกเหล็กและอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก จึงถูกเติมออกซิเจน (oxidized) มากจนทำให้เกิดการแข็งตัว ขบวนการนี้เรียกว่า " Laterization " ซึ่งมักเกิดกับดินชั้นบนของหิน residual ที่มาจากหินผลึก (crystalline rocks) Laterization เกิดขึ้นได้รวดเร็วในบริเวณอากาศร้อนชื้น ผิวพื้นดินเกิดก้อนออกไซด์ของอลูมิเนียม (Al_2O_3) และเหล็ก (Fe_2O_3) เป็นจำนวนมาก ขบวนการ Laterization อาจขยายลึกลงไปถึง ๓๐ เมตร ดิน laterites แท้จริงมีโครงสร้างเป็นก้อนกลมโดยมี laterites เป็นตัวประสานและมีสีเข้ม แต่ดิน laterite บริเวณที่เขตร้อนมีการประสานเพียงบางส่วน เนื่องจากมี laterites ในปริมาณจำกัด จึงควรเรียกว่า ดิน semilaterite แทน

๒.๒.๑.๓ ดิน residual ชั้น IC เป็นชั้น C-horizon แสดงโครงสร้างของหินเดิมไว้ชัดเจน ถึงแม้ว่าจะมีการผุพังทำลายกลายเป็นดินมากกว่าหินเดิมก็ตาม จึงมีโครงสร้างแบบ relict ของดิน residual ซึ่งประกอบด้วยรอยแยกแยะ (joints) , รอยเลื่อน (faults) และรอยแตกที่ผุพังไปก็ยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิมของโครงสร้างหินเดิม การผุพังทำลายมีเฟลสปาร์เปลี่ยนไปเป็นแร่ดินเหนียว kaolinite หรือแร่ดินเหนียวอื่น ๆ ส่วนพวกไมกาจะมีขนาดเล็กลงและถูกเปลี่ยนสภาพไป และแร่ธาตุอื่น ๆ ส่วนใหญ่ที่อยู่ในหินเดิมจะผุแล้วเปลี่ยนแปลงไปจนหมดยกเว้นควอตซ์ พฤติกรรมของดินชั้นนี้ส่วนใหญ่คล้ายดิน residual ชั้นบน โครงสร้างแบบ relict นี้จะมีลักษณะของระนาบที่อ่อนแอและไม่ต่อเนื่อง วัสดุจะเป็น sandy silt และ silty sand เสียส่วนใหญ่ ส่วนไมกาจะมีมากและแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างหรือเป็นแนวยาว เพราะในหินเดิมมีไมกามากอยู่แล้ว ดิน residual ในชั้น IC มีอีกชื่อหนึ่งว่า " Saprolite " เป็นวัสดุคล้ายดินที่ยังคงรักษาสภาพโครงสร้างของหินแบบ relict ไว้ในชั้นนี้ปริมาณของ Corestone น้อยกว่า ๑๐ % ซึ่งแตกต่างจากชั้นหินผุที่อยู่ลึกลงไปอีก (Corestone เป็นตัวอย่างหินที่ได้จากการเจาะสำรวจ มีการผุพังเล็กน้อย หรืออาจไม่มีเลย Corestone มีชื่ออื่นเรียกว่า " lithorelicts " และ " floaters") ขนาดวัสดุเป็น sandy silt และ silty sand สามารถรับแรงกดอัดได้ดี โดยเฉพาะ

พวกไมกา จาก Sowers, ๑๙๕๓.

จาก Sowers, (๑๙๖๓) ได้แบ่งชั้นดินนี้เป็นโซนกลาง (intermediate zone) ซึ่งมีความสำคัญต่อฐานรากของสิ่งก่อสร้าง เช่น การออกแบบ excavation, bracing และ ความลาดของ open cuts เป็นต้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินชั้นนี้ และยังเป็นแหล่งวัสดุสำคัญด้วย แร่ดินส่วนใหญ่เป็นควอทซ์, แร่ดินเหนียว และ เฟลสปาร์ที่ดูบางส่วนและไมกา ขนาดของเม็ดดินมีตั้งแต่กรวดถึง silt ขึ้นอยู่กับลักษณะเดิมของหิน แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็น kaolinite, halloysite และ gibbsite ซึ่งมีอยู่เป็นบริเวณกว้าง บางครั้งจะมีแนวบาง ๆ ของแร่ดินเหนียว illite และ montmorillonite ซึ่งดูมาจาก basic rock หรือ basic dikes แร่ดินเหนียวประเภทหลังนี้สามารถดูดซับน้ำ ทำให้เกิดการพองตัว (swell **ไคลิ่ง**จะมีสภาพอ่อนนุ่มเป็นบางครั้ง และอาจเกิดการพังถล่มแบบเลื่อนไถ้ (slip surface for landslides)

ลักษณะสำคัญของดินชั้นนี้มีไมกาอยู่หลายประเภท เนื่องจากผลึกหินเดิมส่วนใหญ่มีไมกาอยู่เป็นจำนวนมาก และแร่ไมกานี้ไม่ดูเหมือนเฟลสปาร์ซึ่งดูกลายเป็นแร่ดินเหนียว ในดินชั้นนี้แร่ไมกาอยู่เป็นส่วนใหญ่และมี muscovite, biotite และ vermiculite ผสมอยู่บ้าง แร่ไมกามักจัดเรียงตัวให้ระนาบของรอยแตกขนานกับแนวของหิน ทำให้เกิดระนาบอ่อนแอเป็นอันตรายตัดการพังแบบเลื่อนไถ้ (slice circle of failure)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างย่อยของดินนี้ ในระหว่างการผุพัง, แร่เฟลสปาร์ และแร่อื่น ๆ จะผุแล้วแปรเปลี่ยนสภาพไป ส่วนแร่ควอทซ์และไมกาจะไม่เปลี่ยนแปลง โครงสร้างของดินจึงประกอบด้วยควอทซ์ - ไมกา skeleton โดยมี kaolinite และแร่อื่น ๆ แทรกอยู่ระหว่างโครงร่างของควอทซ์ - ไมกานี้ เนื่องจากแร่ดินเหนียว kaolinite มีปริมาณมากกว่าเฟลสปาร์ ก็จะดันเอาโครงร่างของควอทซ์ - ไมกา แยกออกไถ้ นอกจากนั้นแล้ว แร่ไมกายังเป็นส่วนประกอบสำคัญในการหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง แร่ไมกายิ่งมีมาก, ค่าอัตราส่วนช่องว่างก็ยิ่งสูง

๒.๒.๒ ชั้นหินผุ (weathered rock) เป็นชั้นหินผุซึ่งผุพังน้อยกว่าชั้นดิน residual มาก แบ่งย่อยออกเป็น ๒ ชั้น คือ หินผุชั้นบนหรือโซน IIA และหินผุชั้นล่างหรือโซน IIB ดังรายละเอียดต่อไปนี้

๒.๒.๒.๑ หินผุชั้นบนหรือโซน IIA เป็นชั้นต่อเชื่อมระหว่างชั้น saprolite (C-horizon หรือ ดิน residual ชั้น IC) กับชั้นหินผุโซน IIB คุณสมบัติทางฟิสิกส์แปรผันไม่แน่นอน วัสดุมีตั้งแต่เป็นหินจนถึงหิน (rock like corestones) ปริมาตร corestone มีตั้งแต่ ๑๐ % ถึง ๘๕ % ของปริมาตรทั้งหมด การผุพังจะเกิดขึ้นเร็วมากตามรอยแยกแยะ (joints), รอยเลื่อน (faults) และตามหน่วย lithologic ซึ่งไวต่อการผุมาก ดินที่อยู่ภายใน corestones จะเป็นทรายขนาดกลาง ถึงทรายหยาบหรือเป็น silt และไมก้า โดยปกติดินชั้นนี้จะมีน้ำซึมได้ดี **และ** น้ำมักจะซึมหายไปในพื้นที่นี้ เมื่อทำการเจาะผ่านชั้นนี้ ปัญหาทางด้านวิศวกรรมเนื่องจากหินมีการผุที่แตกต่างกันมาก จึงทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมมีขอบเขตกว้างขวางมาก ทำให้การแบ่งแยกชั้นดินกระทำโดยยากลำบาก

๒.๒.๒.๒ หินผุชั้นล่างหรือโซน IIB มีหินผุบางส่วน สืบเกิดได้จากการเปลี่ยนแปลงตามรอยต่อและสีเปลี่ยนไปบ้าง เฟลสปาร์และไมก้าได้เริ่มผุและเปลี่ยนแปลงไปบ้างแล้ว เมื่อมีการผุพังเพิ่มขึ้นหินจะแตกตัวให้เล็กลงจากสภาพหินเดิมไปเป็นหินที่มีกำลังและความยืดหยุ่น (modulus) ลดต่ำลง แต่ความซึม (permeability) เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลมาจาก (๑) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเม็ดหินผุบางอย่างมาเป็นแร่ใหม่ (๒) ส่วนประกอบตัวทำละลายในสารละลายมากขึ้น (๓) การเพิ่มรอยแยกแยะ (joints) และรอยต่อขยายกว้างขึ้น เนื่องจากดินชั้นบนมีการผุพังมากขึ้น ทำให้ความเค้นลดลง

จากการวิเคราะห์ขนาดของดิน แสดงให้เห็นว่า ชั้นหินผุมีการผุพังน้อยกว่าชั้นดิน residual soils ส่วนใหญ่มีขนาดเป็นกรวด และหินก้อนใหญ่ (boulder) มีส่วนละเอียด (fine) ผสมอยู่เพียงเล็กน้อย ทำให้ดินมีพลาสติกเพียงเล็กน้อย หรือไม่มีค่าเลย (non-plastic) ตามระบบ Revised Public Roads จัดแบ่งให้อยู่ในกลุ่ม A-1 และ A-2 ส่วนระบบ Unified แบ่งให้อยู่ในกลุ่ม SM และ GM มี GW, GP, SW และ SP ผสมอยู่บ้าง ค่าอัตราส่วนช่องว่างในชั้นหินผุอาจมีค่าสูงเท่ากับในชั้น Saprolite (C-horizon) และอาจต่ำจนเหลือ $e = 0.10$ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนช่องว่างของหิน

๒.๒.๓ ชั้นหินผุเล็กน้อยหรือไม่ผุเลย (relatively unweathered, fresh bedrock) หรือโซน III ในชั้นนี้แทบจะไม่มีหินผุพังเลย พวกเฟลสปาร์และไมก้ายังคง



สภาพเดิม ตามรอยแยกแยะ (joints) มีรอยตว่างบางเล็กน้อยที่จะเป็นสาเหตุทำให้ยุบไป
 ได้ หินดาน (unweathered bedrock) เป็นหินที่มีรอยแยกแยะ (joints) ซึ่งอัดกัน
 แน่น ในทางวิศวกรรมชั้นหินอยู่ในโซน III นี้ถือว่าเป็นไม่ถูกกระทำด้วยหินเหลวร้อนจากส่วนลึกของ
 โลกกลางโลก และกระบวนการพุพังทำลายบนผิวโลก ไม่มีผลต่อการพุพังทำลายของหินในชั้น
 นี้เลย

๒.๓ คุณสมบัติของหินผุ

หินแกรนิตผุมีลักษณะพิเศษ คือ เมื่อกินไม่มีเสถียรภาพเพียงพอภายใต้กรรมวิธีการพุ
 พังทางซิลิซซ์ และเคมี ทำให้เมื่อกินและแร่ธาตุต่าง ๆ ในหินแกรนิตผุเปลี่ยนแปลงไปตาม
 กรรมวิธีนั้น ๆ คุณสมบัติของหินแกรนิตผุจึงแปรผันไปตามสถานที่และตำแหน่ง

๒.๓.๑ คุณสมบัติทางซิลิซซ์ของหินผุ

Matsuo และ Nishida, (๑๙๖๘) บันทึกว่า คุณสมบัติทาง
 วิศวกรรมของหินผุไม่สามารถที่จะนำมาจำแนกประเภทของดินตามระบบทั่วไป เช่น unified
 soil classification หรือ AASHTO classification เป็นต้น ผู้แต่งทั้งสองท่านจึง
 ได้เสนอวิธีการจำแนกประเภทโดย การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเฟลสปาร์ที่มีอยู่ในหินผุ
 ซึ่งจะแสดงถึงอัตราการพุพัง และหาปริมาณของสีแร่ในหินผุซึ่งมีความสัมพันธ์กับการแปรผันของ
 ปริมาณแร่ในหินผุ

๒.๓.๑.๑ ความถ่วงจำเพาะของเฟลสปาร์

ความถ่วงจำเพาะของเม็ดเฟลสปาร์หาได้โดยใช้ heavy
 liquid tetrabromo ethane และเติม methyl alcohol ไปเรื่อย ๆ เพื่อทำให้
 heavy liquid tetrabromo ethane เจริจางและเติมไปจนกระทั่งเม็ดเฟลสปาร์แขวนลอย
 กระจัดกระจายอยู่ในของเหลวจนทั่ว ด้วยวิธีนี้จะสามารถหาค่า ด.พ. ของเม็ดเฟลสปาร์
 ที่ลอยตัวกระจัดกระจายอยู่ในของเหลวได้ และนำไปหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดเฟลสปาร์
 โดยวิธี pycnometer ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของแร่บริสุทธิ์ของ
 เฟลสปาร์ จะพบว่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดเฟลสปาร์ในหินผุมีช่วงการแปรผันมากกว่าคิด
 ทั่วไป ค่าความถ่วงจำเพาะของเฟลสปาร์จะมากขึ้นเมื่อหินมีการพุพังมากขึ้น

การตรวจสอบแรงยึดเกาะ (bonding) ภายในเม็คเฟลสปาร์ โดยการวัดคุณสมบัติของความร้อนที่เกิดจากสารละลายในกรด hydrofluoric ที่มีเม็คเฟลสปาร์ละลายอยู่ ในผลสรุปได้ว่า กำลังยึดของเม็คเฟลสปาร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงยึดเกาะเพียงอย่างเดียว ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับรอยแยกแยะภายใน (inherent cracks) หรือค่าอัตราส่วนของว่างภายในเม็คเฟลสปาร์ เมื่อเม็คเฟลสปาร์ถูกอัดขึ้น, อัตราส่วนของว่างจะเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง

๒.๓.๑.๒ ปริมาณสีแรคินเหนียว เนื่องจากส่วนประกอบของแรคินเหนียวแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่ ปริมาณสีของแรคินเหนียวยิ่งเข้มข้นขึ้น แสดงว่า หินมีการผุพังมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และกำลังแรงอัดตกต่ำลง แต่ค่าการพองตัว, การหดตัว และค่าการอัดตัว (compressibility) จะสูงขึ้น

๒.๓.๑.๓ ขนาดคละของเม็คดิน, Atterberg Limits และความพรุน (porosity) ของหินผุ

004102

จากเอกสาร Ruenkairergsa และ Changsuwan(ประเทศไทย) (๑๙๖๘) ขนาดคละของเม็คดินในหินแกรนิตผุ ซึ่งปริมาณส่วนใหญ่เป็น well-graded ที่มีขนาดของเม็คดินใหญ่สุดประมาณ ๕ มม. ขนาดของเม็คดินที่เล็กกว่าขนาดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ ๒๐๐ จะมีปริมาณตั้งแต่ ๑๐ ถึง ๕๐ เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับอัตราการผุพังของหินแกรนิตในแต่ละสภาพอากาศและสถานที่ สำหรับหินผุที่อยู่ในชั้น weathered rock ซึ่งอยู่ลึกกว่าชั้น residual soil จะมีขนาดคละของเม็คดินส่วนใหญ่เป็น uniform-graded

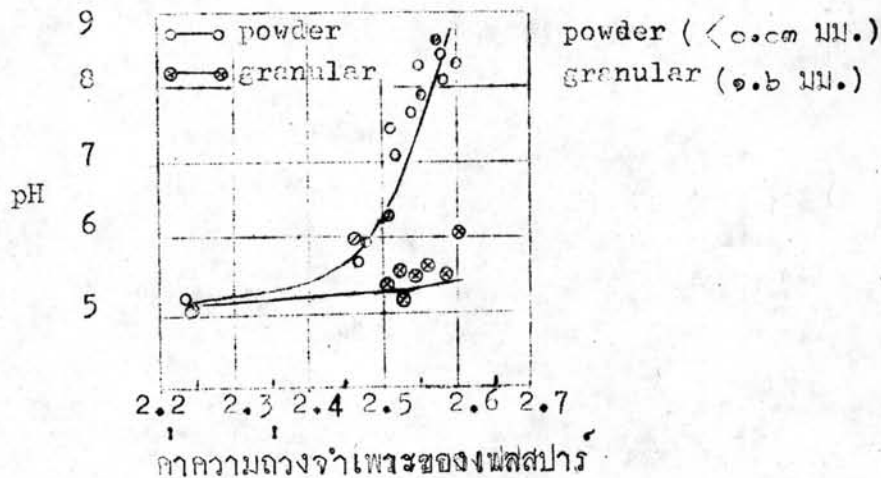
ส่วนค่า Atterberg Limits ของดินแกรนิตส่วนใหญ่มีค่า Plasticity Index ค่อนข้างต่ำหรือเป็น non-plastic แม้ว่าดินเม็คละเอียดที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ ๒๐๐ จะมีปริมาณค่อนข้างสูง แต่ค่า Plasticity ของดินแกรนิตไม่ได้สูงขึ้นเลย เพราะดินเหล่านี้ได้มาจากการผุของแรเฟลสปาร์เป็นส่วนใหญ่

ส่วนค่าความพรุนของดินแกรนิตจะแปรผันไปตามความลึก กล่าวคือ ความพรุนของดินแกรนิตยิ่งลดลง เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

๒.๓.๒ คุณสมบัติทางเคมีของหินยู

การหาความแตกต่างของคุณสมบัติทางเคมีระหว่างส่วนผิวและส่วนภายในของเม็คเฟลสปาร์, ในตัวอย่างเม็คและฝุ่น โดยใช้ตัวอย่างหนัก ๑.๕ กรัมผสมกับน้ำ ๕๐ ซี.ซี. ที่ปราศจากการคาร์บอนไดออกไซด์และประจุไฟฟ้าอื่น ๆ หลังจากคนประมาณ ๑ ชั่วโมง, จึงใช้ electrode - type pH meter วัดค่า pH ของสารละลาย ผลที่ได้แสดงค่า pH ของตัวอย่างฝุ่น (powder) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่าดวงจำเพาะของเฟลสปาร์เพิ่มขึ้น, ขณะที่ตัวอย่างเม็คเฟลสปาร์มีค่า pH เกือบคงที่ตลอดช่วงของ ด.พ. ของเฟลสปาร์ ดังรูปที่ ๒.๑

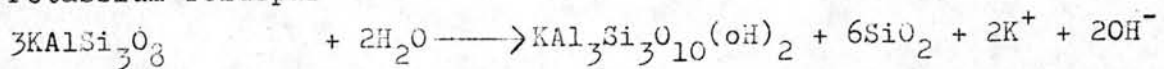
รูปที่ ๒.๑ ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value) ของสารแขวนลอย (suspension) ในสารละลาย



นอกจากนั้น เฟลสปาร์ประเภทฝุ่นจะทำปฏิกิริยากับน้ำด้วย ดังสมการ

ต่อไปนี้ :-

Potassium feldspar



ในปฏิกิริยานี้มีการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างประจุไฮโดรเจน (H⁺ion) กับโปแตสเซียม (K⁺ions) ผลที่ได้มีประจุโปแตสเซียม (K⁺ion) และค่า pH (หรือประจุไฮดรอกไซด์

(OH⁻ion)) เพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นอัตราการยุ่งของดินจึงสามารถประมาณได้ โดยการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH value) ของสารละลายเฟลสปาร์ที่บดแล้ว

๒.๓.๓ คุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินดิน

Sower, (๑๙๖๓) ได้บันทึกคุณสมบัติทางวิศวกรรมของสภาพความชื้นได้ (permeability), การยุบตัวและการอัดตัว (consolidation and compressibility) และการบดอัด (compaction) คุณสมบัติเหล่านี้แสดงถึงอัตราการยุ่งและโครงสร้างของเม็ดดินของ residual soils ซึ่งคล้ายกับดินเหนียวชนิดอนินทรีย์ที่มีสภาพเนื้อดินเดียวกันตลอด มีค่า plasticity index ต่ำ, ไม่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพ (insensitivity) ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้ :-

๒.๓.๓.๑ สภาพความชื้นได้ (permeability)

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นได้บนตัวอย่างดินแกรนิตที่คงสภาพ (undisturbed) พบว่า ค่าอัตราส่วนของว่างเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจะทำให้ค่าสภาพความชื้นได้เปลี่ยนแปลงไปได้มาก

สภาพความชื้นได้ในแต่ละแห่งย่อมแตกต่างกันไป เพราะมีแนวหินสลับหรือหินดินที่ไต่ยุ่งจนกลายเป็นดินเหนียวแทรกตัวขวางอยู่ทำให้ค่าความชื้นลดลง ในทางตรงกันข้ามค่าความชื้นจะสูงขึ้นมาก เมื่อเกิดการซึมผ่านรอยแยกแยะ (joints), รอยแตก (cracks), fissures และ shear zones ซึ่งเกิดเป็นปัญหาในการก่อสร้างฐานรากของเขื่อนหรือ ดินที่ซุกซิมมาก ๆ อาจทำให้ดินแกรนิตเหล่านี้ทั้งหมดละลายลงได้

สำหรับตัวอย่างดินแกรนิตที่คงสภาพหรือที่สภาพเปลี่ยนแปลงและสภาพความอิ่มตัวมีค่าอยู่ระหว่าง ๐.๘ ถึง ๑.๐ ดินแกรนิตทั้งสองกรณีนี้จะแสดงค่าความชื้นคงที่ตลอดไม่เปลี่ยนแปลง

๒.๓.๓.๒ การยุบตัวและการอัดตัว (Consolidation and compressibility)

Lumb, (๑๙๖๒) บันทึกว่า การอัดตัวของหินแกรนิตดินเหนียวมาก ค่าสัมประสิทธิ์ของการยุบตัวของ residual soils ที่คงสภาพไม่แตกต่างกัน



จาก residual soil ที่เปลี่ยนสภาพ ค่าการยุบตัวของหินแกรนิตดูไม่เปลี่ยนแปลงมากเมื่อมีสภาพความอืดตัวมีค่าอยู่ระหว่าง ๐.๕ ถึง ๑.๐

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีของการกดอัด (Cc) กับอัตราส่วนของวางปรากฏว่า ค่าหน่วยแรงกดอัดเดิมในหินผุ (preconsolidation) ไม่สามารถหาได้โดยวิธีของ Casagrande ทั้งนี้เนื่องจากหน่วยแรงกดอัดเดิมในหินผุมีความสัมพันธ์กับหน่วยประสานของแร่ที่ยังเหลืออยู่ของหินดาน (residual mineral bonds of the parent rock) เมื่อหินเย็นลง แร่หลายชนิดในหินผุจะหดตัวแตกต่างกันทำให้ความเค้นระหว่างเม็ดดินสูงขึ้น ในโครงสร้างของควอทซ์และไมก้าที่มีเคลสสปาร์และไมก้าบางส่วนได้เปลี่ยนสภาพไปแล้วก็ยังคงมีความเค้นบางส่วนเหลืออยู่ ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงของหินผุเนื่องจากการยุบตัวก็ยังคงมีความเค้นเหลืออยู่มากในโครงสร้างของหินผุ จึงสรุปได้ว่า หินผุส่วนที่ยุบตั้น้อยลงจะมีค่าหน่วยแรงกดอัดเดิมในหินผุมากขึ้น

เวลาและอัตราการทรุดตัว ดิน saprolite เกิดการทรุดตัวรวดเร็วมาก จากผลทั้งในท้องปฏิบัติการและในโครงสร้างจริงบางแห่งเนื่องจาก elastic distortion, แต่ส่วนใหญ่เนื่องจากดินไม่อืดตัว

Hydrodynamic หรือ primary consolidation เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะมีการซึมสูงในแนว silt และเพราะว่าแถบที่มีควอทซ์(quartz) มากมีการซึมได้ดี แต่มี compressible น้อยและยังมีรอยแตก (crack) มากมาย เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของดิน การทำนายอัตราเวลาของ primary consolidation จากท้องปฏิบัติการจึงเป็นไปได้บ่อยครั้งมาก การวัดการทรุดตัวของโครงสร้างเต็มรูปแบบช่วง primary consolidation ได้ผลแน่นอนหลังจากช่วงเวลา ๓ เดือน ถึง ๕ เดือน

๒.๓.๓.๓ การหดตัวและการขยายตัว (Shrinkage and Expansion)

หินผุประเภท silty sands และ sandy silts ที่มีแร่ควอทซ์และไมก้าเป็นส่วนใหญ่ที่คงสภาพเดิมหรือถูกกดอัดแล้วจะหดตัวเมื่อแห้ง และขยายตัวเมื่อเปียกชื้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล่านี้คล้ายกับดินเหนียวที่มีพลาสติคสูง ทั้ง ๆ ที่ดินประเภทนี้มีพลาสติคต่ำมาก

การหดตัวเป็นกระบวนการทางกลศาสตร์ ซึ่งมีความดันน้ำในช่องว่างของดินถูกกดด้วยแรง capillary tension ดินที่ไม่คล้ายกับดินเหนียวคือ ดินจะขยายตัวแตกแยกออกอย่างเห็นได้ชัดโดยเมื่อดินที่เป็นแร่ควอทซ์และไม่กำจะหดตัวลง เมื่อถูกทำให้แห้งกว่า shrinkage limit เนื่องจากการสูญเสียปริมาณน้ำ (capillary tension) ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินแห้ง โครงสร้างของเม็ดแร่ควอทซ์และไ้กำจะหดตัวเข้าหดตัวเข้าสู่ปริมาตรเดิม เม็ดดินต่างๆจะแตกแยกออกจากกัน เกิดเป็นการขยายตัวของดินแห้ง อากาศและแสงอาทิตย์ ดินจะหลวม (loose) และร่วน ฉะนั้น ในระหว่างฤดูร้อนจึงควรป้องกันดินนี้แห้งโดยการบังด้วยแผ่นคอนกรีตบาง ๆ กันให้ดินแห้งแล้วขยายตัว

ส่วนการขยายตัวของดินเมื่อเปียกชื้น มักเกิดในดินที่มีพลาสติกต่ำ ซึ่ง capillary tension ลดลงยอมให้ quartz- mica soil skeleton กลับมีค่าอัตราส่วนของว่างใกล้เคียงสภาพเดิม ส่วนผิวของดินที่ไม่มีน้ำหนักกระทำจะค่อย ๆ แตกตัวอย่างช้า ๆ และเกิดการขยายตัวไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำลายรอยประสานของแรงในดินอย่างเห็นได้ชัด

๒.๓.๓.๔ การบดทับ (Compaction)

ดินในชั้นบน (residual soil) และชั้นกลาง (weathered rock) เป็นแหล่งวัสดุค่าๆสำหรับการก่อสร้าง โดยมีวัสดุส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว, micaceous silts, และ micaceous silty sands ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการบดอัดที่ดี (good compaction) ส่วนดินในชั้น partially weathered zone เป็นวัสดุที่ดีสำหรับการก่อสร้างและมักจะซุก และทำให้แตกชำรุด, และมี gradation ที่ดีดกมาก

ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (dry) ของดินบดอัดแล้วในชั้นกลาง (weathered rock และชั้น partially weathered) เคยใช้วิธีทดสอบแบบ Standard Proctor (ASTM D698-58T) มีค่าความหนาแน่นแห้งอยู่ระหว่าง ๑.๒๔ ถึง ๒.๐๘ กรัม/ซี.ซี. ส่วนการทดสอบแบบ Modified Proctor Compaction กับตัวอย่างดินแกรนิต ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจาก ๑.๓ ถึง ๒.๑๐ กรัม/ซี.ซี. สำหรับตัวอย่างดินบดอัดเม็ดเล็กจะเฉลี่ยได้ถึงแรงขยายค่าคล้าย โดยมีปริมาณความชื้น optimum อยู่ระหว่าง ๑๕% ถึง ๒% และที่ California

/ Bearing Ratio (CBR.)

Bearing Ratio (CBR.) แปรผันมาจาก ๑๐ % ถึง ๔๐ % ซึ่งแสดงถึง การแปรผันของ ส่วนประกอบของดินและอัตราการยุบตัวของแต่ละสถานที่และแต่ละชั้นของหินผุ และการที่ หินผุมีแร่ไม่มากก็ทำให้ความหนาแน่นต่ำไปด้วย

ตัวอย่างหินผุที่ได้รับการบดอัดมากกว่า ๕๕ % ของความหนาแน่น แห่งสูงสุด จะให้คามุมเสียดทานภายในประมาณ ๑๕ ถึง ๓๕ องศา และแรงยึดเหนี่ยวของดิน อาจมีค่าสูงถึง ๑๕ ตัน/ตารางเมตร การอัดตัว (compressibility) ของดินมีค่าจากค่า ถึงปานกลาง การพองตัวมีเล็กน้อยมาก การหดตัวมีมากที่สุดประมาณ ๔ ถึง ๕ % หลังจาก ทำให้แห้งตัวอย่างแห้งไปจากปริมาณความชื้น optimum ถ้าการบดอัดได้ต่ำกว่า ๕๕ % แล้ว ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วจะลดลงอย่างรวดเร็ว

๒.๓.๓.๕ กำลังต้านทานแรงเฉือน (shear strength)

กำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างหินผุ สามารถหาได้จาก การทดสอบหลายประเภท คือ unconfined compression, direct shear, triaxial shear และ rotation vane shear จากผลการทดสอบแสดงว่า ค่ากำลัง ต้านทานแรงเฉือนเพิ่มขึ้นเมื่อ confining pressure เพิ่มขึ้น ค่า unconfined compression strength จึงมีค่าต่ำเกินไปสำหรับการออกแบบอย่างประหยัดต่าง ๆ ระบายที่เกิดการวิบัติ (failure) ในบางครั้งไม่สามารถทำนายก่อนการทดสอบได้ว่าจะ เกิดขึ้นในระนาบใด ผลการทดสอบมักแสดงการวิบัติเกิดขึ้นที่ระนาบอ่อนตัวเสมอ ส่วนการ ทดสอบที่สามารถหาระนาบวิบัติได้ก่อน คือ การทดสอบแบบ direct shear ในบางครั้งก็ ให้ผลของค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่สูงเกินไป วิธีทดสอบที่ให้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน เป็นผลที่น่าพอใจ คือ triaxial shear test, จาก Sowers, (๑๙๖๓)

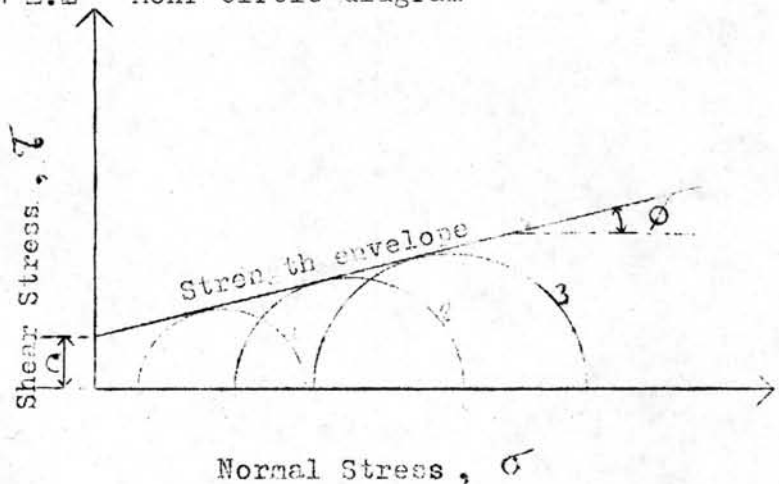
Lumb, (๑๙๖๒) แสดงผลการทดสอบค่าความชื้นและสัมประ- สัตย์ของการยุบตัว พบว่า ดินแกรนิตสามารถนำมาทดสอบได้โดยวิธีการปล่อยให้หน้าซึมไหล ออกมาได้อย่างอิสระ (free drainage) ฉะนั้น การประมาณค่ากำลังต้านทานแรงเฉือน ของดินแกรนิตภายใต้สภาวะธรรมชาติ วิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ drained triaxial shear test ซึ่งต้องใช้เวลาในการทดสอบมากจึงไม่ค่อยจะมีเวลาปฏิบัติกัน และได้หันมาใช้วิธีการ ทดสอบแบบ consolidated undrained traxial shear test กันเป็นส่วนมาก

โดยมีการวัดความดันน้ำภายในช่องว่างของเม็ดดิน เพื่อนำไปหาค่าความเค้นหรือหน่วยแรงประสิทธิผลที่จุดวิกฤติ ในการทดสอบแบบ consolidated undrained triaxial compression อาจเกิดข้อผิดพลาดสำหรับตัวอย่างดินแกรนิตที่คงสภาพเดิมตามธรรมชาติ และไม่ก่อให้เกิดสภาพความอิ่มตัวเต็มที่ อาจเกิด capillary tension ซึ่งเป็นความดันที่จะมาต้านทานกับความดันน้ำในช่องว่างของเม็ดดิน ทำให้ความเค้นหรือหน่วยแรงประสิทธิผลที่หาได้ผิดพลาดไป

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นหรือหน่วยแรงรวม (σ) ความเค้นหรือหน่วยแรงประสิทธิผล ($\bar{\sigma}$) และความดันน้ำภายในช่องว่างของเม็ดดิน (u) ดังนี้

$$\bar{\sigma} = \sigma - u$$

รูปที่ ๕.๒ Mohr circle diagram



ค่าแรงยึดเหนี่ยวและมุมเสียดทานภายในของดินหาได้จาก shear strength envelope ของ Mohr circle ดังรายละเอียดต่อไปนี้ โดยทดสอบแท่งตัวอย่าง ๓ แท่ง ที่ confining pressure ต่าง ๆ กับ ๓ ค่าของการทดสอบแบบ triaxial shear จะได้ผลของ deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของแท่งตัวอย่างและความดันน้ำภายในช่องว่างของเม็ดดินมาทั้งหมดอย่างละ ๓ ค่า จากผลการทดสอบจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าความเค้น หรือหน่วยแรงรวม และหน่วย

แรงประสิทธิผลของหน่วยแรงหลักและหน่วยแรงรองได้ และนำไปหาค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน และมุมเสียดทานภายในของดินที่ปรากฏและที่แท้จริง ซึ่งได้จาก Mohr circle envelope ของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลตามลำดับ จากสูตรของ Coulomb, (๑๓๗b) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงยึดเหนี่ยวและมุมเสียดทานภายในของดินกับหน่วยแรงต่าง ๆ ในเม็คดิน ดังนี้

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

เมื่อ τ = หน่วยต้านทานแรงเฉือน

$$= \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \sin (2\theta)$$

c = แรงยึดเหนี่ยวของดิน

σ = หน่วยแรงที่มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบของการวิบัติ

$$= \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3) \cos^2(\theta)$$

θ = มุมที่วัดจากแนวราบไปยังระนาบที่เกิดการวิบัติ

$$= 45 + \phi/2$$

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดิน

สำหรับดินแกรนิตที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวหรือไม่ก็ตาม strength envelope ของหน่วยแรงประสิทธิผลมีค่าสูงกว่า strength envelope ของหน่วยแรงรวมบ้างเล็กน้อย โดยเฉพาะค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินที่เกิดจากความเค้นประสิทธิผลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ส่วนค่ามุมเสียดทานภายในของดินทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากัน ในดินแกรนิตที่มีสภาพความอิ่มตัวมากกว่าจะแสดงค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินต่ำกว่า ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ลดลงนี้เกิดจาก capillary tension ระหว่างเม็คดิน ส่วนดินแกรนิตที่มีสภาพความอิ่มตัวโดยสมบูรณ์จะมีค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินเท่ากับศูนย์

Lumb, (๑๔๖๒) ได้ตั้งความสัมพันธ์ไว้ ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินแกรนิตจะขึ้นอยู่กับขนาดคละของดิน (grading = G) และสภาพความอิ่มตัวของดิน (s) ส่วนค่ามุมเสียดทานภายในของดินแกรนิตขึ้นอยู่กับขนาดคละของดิน (G) และ

อัตราส่วนของว่างภายในเม็คดิน (e) โดยสรุปผลจากการทดสอบ drained triaxial shear ค้างสมการ

$$\tau = c_d + \sigma \tan \phi_d$$

เมื่อ

- τ - หน่วยต้านทานแรงเฉือนของดินแกรนิต
- c_d - ค่าแรงยึดเหนี่ยวที่แท้จริงซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดผลของ เม็คดินและสภาพความอึดตัวของดิน
- ϕ_d - ค่ามุมเสียดทานภายในที่แท้จริงซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดผลของ เม็คดินและอัตราส่วนของว่างของ เม็คดิน

ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินแกรนิตเม็คดินหายจะมีค่าต่ำลงถึง ๑ ตัน/ม^๒ ที่สภาพความอึดตัวเท่ากับ ๕๐ % ก็ยังมีเสถียรภาพของดินแกรนิตต่อความสูงถึง ๖.๐๐ เมตรได้ ส่วนดินแกรนิตที่มีขนาดตั้งแต่ขนาดเม็คปานกลางถึงเม็คละเอียดนั้น ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อดินมีขนาดเม็คลดลง และยังแปรผันตามสภาพความอึดตัว เมื่อสภาพความอึดตัวเพิ่มมากขึ้น ๆ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของเม็คดินลดลงจนถึงศูนย์ที่สภาพความอึดตัวเพิ่มขึ้นเท่ากับ ๑๐๐ % โดยทั่วไปพื้นผิวเปลือกโลกของดินแกรนิตมักจะมีชั้นออกไซด์ของแร่โลหะที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในบรรยากาศกับแร่ธาตุในดิน และปกคลุมดินแกรนิตอยู่ มีผลเด่นชัดต่อการเพิ่มเสถียรภาพของชั้นดินแกรนิตกล่าวคือ มันช่วยลดการซึมของน้ำฝนลงไปในชั้นดินแกรนิต แต่มันก็ไม่มีผลเลยในฤดูฝนตกชุก ดินแกรนิตก็จะอยู่ในสภาพความอึดตัวโดยสมบูรณ์ ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินจะลดลงเป็นศูนย์ในที่สุดจะเหลือแต่ค่ามุมเสียดทานภายในของดินแกรนิตเท่านั้น ถ้าชั้นดินแกรนิตนั้นมีมุมของเชิงลาดมากกว่าค่ามุมเสียดทานภายในของดินแกรนิตเอง จะทำให้เกิดการพังแบบเลื่อนไถลทันทีที่เสถียรภาพของดินแกรนิตจะหายไป นอกจากนี้แล้วเสถียรภาพของดินแกรนิตยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาของโครงสร้างเดิม เช่น รอยแยกแยะ (joints), รอยเลื่อน (faults), รอยคดโค้ง (folds) และรอยผิดปกติ (unconformities) เป็นต้น รอยเหล่านี้จะเป็นทางที่น้ำฝนจะซึมผ่านได้ง่ายทำให้เกิดระนาบที่อ่อนแอ ชั้นดินแกรนิตส่วนมากมักจะพังแบบเลื่อนไถลตามระนาบเหล่านี้ ส่วนการพังแบบเลื่อนไถลตามส่วนโค้งของวงกลม (swedish circle sliding failure)

จะเกิดขึ้นกับกรณีชั้นดินแกรนิตที่มีความหนาพอที่รอยเลื่อนใดยังคงเกิดในชั้นดินนี้ และชั้นดินแกรนิตจึงจะขึ้นอยู่กับค่าแรงยึดเหนี่ยวและมุมเสียดทานภายในของดิน

๒.๔ การปรับปรุงคุณภาพดินควยปูนขาว

๒.๔.๑ ผลของปูนขาวต่อดิน

๒.๔.๑.๑ พลาสติกซิติ (Plasticity) ความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของดินควยปูนขาว คือ การเปลี่ยนแปลงพลาสติกซิติของดิน โดยที่ปูนขาวจะทำหน้าที่เพิ่มค่า Plasticity Index (P.I.) ของดินที่มีพลาสติกค่า และจะลดค่า P.I. ของดินที่มีพลาสติกสูงเกินไป. HILT และ DAVIDSON (๑๙๖๐) ได้ทดลองโดยการเติมปูนขาวปริมาณเล็กน้อยไปเรื่อย ๆ ค่า P.L. จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ค่าพลาสติกจะเพิ่มขึ้นไปด้วยเรื่อย ๆ เมื่อปริมาณปูนขาวที่เติมถึงจุดอิ่มตัวเรียกว่า Lime fixation ค่า P.L. จะไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปเลย ถึงแม้ว่าจะเติมปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นก็ตาม. CLARE, CRUCHLEY (๑๙๕๗) และ CHAUDHRY (๑๙๖๖), ค่า P.I. จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ธาตุดินเหนียว และชนิดของ ion ในดินเหนียว ปูนขาวประเภท high - calcium hydrated lime จะลดค่าพลาสติกซิติของดินด้วยอัตราเร่งมากกว่าปูนขาวประเภทอื่น ส่วนปูนขาวอีก ๓ ประเภท (dolomitic monohydrate, dolomitic dihydrate และ hydrated high calcium quicklime) ให้พฤติกรรมเหมือนกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนขาวที่ใช้ลดพลาสติกซิติ ส่วนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แทนจะไม่มีผลต่อพลาสติกของดินในทางปฏิบัติเลย

๒.๔.๑.๒ กำลังของดิน (SOIL STRENGTH) การปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวโดยทั่วไปกำลังของดินเกือบทุกชนิดจะเพิ่มขึ้น แต่กำลังของดินที่เพิ่มขึ้นยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติดิน. PIETSCH และ DAVIDSON (๑๙๖๒) ภายใต้สภาพการบมเดียวกัน, ปูนขาวปริมาณมากที่สุดที่ให้กำลังดินเพิ่มขึ้นสูงสุด ถ้าปูนขาวเพิ่มมากกว่านี้กำลังของดินจะลดลงกำลังของส่วนผสมดินกับปูนขาวที่เพิ่มขึ้นนี้ เนื่องจากวัสดุประสานซึ่งเป็นผลผลิตใหม่ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับดินเรียกว่า " pozzolanic reaction " (EADES และ GRIM, (๑๙๖๒), EADES et. al ๑๙๖๒, DAVIDSON et. al ๑๙๕๘, HILT และ

DAVIDSON, ๑๙๖๑)

๒.๔.๒ กำลังของดินผสมกับปูนขาวขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้ :-

๒.๔.๒.๑ ประเภทของปูนขาว ปูนขาวมี ๕ ประเภท ได้แก่
- ปูนขาวที่เกิดจากหินปูน (Limestone)

(๑) Calcia หรือ high - calcium quicklime CaO

(๒) Hydrated high - calcium quicklime Ca(OH)₂

- ปูนขาวที่เกิดจาก Dolomite หรือ Dolomitic Limestone

(๓) Dolomitic quicklime CaO + MgO

(๔) Normalhydrated หรือ monohydrated dolomitic Lime
Ca(OH)₂ + MgO

(๕) Pressure hydrated หรือ dihydrated dolomitic lime
Ca(OH)₂ + Mg(OH)₂

LAGUROS et. al. ๑๙๕๖, quicklime มีประสิทธิภาพมากกว่า hydrated lime เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน เช่น เพิ่มพลาสติกซึ้, ปริมาตรเปลี่ยนแปลงน้อยลงและมีกำลังเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติ quicklime เป็นอันตรายต่อการใช้ จึงทำให้การใช้ไม่กว้างขวางเท่า hydrated lime Dolomitic hydrated lime ให้กำลังสูงกว่า calcitic hydrated lime ในสภาพการบ่มที่อุณหภูมิ ๗๐ °F ส่วนอุณหภูมิสูงกว่าจะปรากฏผลตรงกันข้าม (MATEOS, ๑๙๖๔) ทั้งนี้เนื่องจากการแตกตัวของ **dolomitic limestone** (Ca . Mg . (CO₃)₂) ซึ่งมีการแตกตัวอยู่ ๒ ขั้นตอน คือ ที่อุณหภูมิ ๑๓๕๐ °F dolomitic จะแตกตัวออกเป็น MgO + CO₂ และ CaCO₃ แล้วที่อุณหภูมิ ๑๖๕๐ °F CaCO₃ จะแตกตัวเป็น CaO + CO₂

ส่วนประกอบของ Calcitic limestones มี CaCO₃ ๙๕ % ส่วน dolomitic limestones มี MgCO₃ ประมาณ ๓๐ % ถึง ๔๐ % และ CaCO₃ ประมาณ ๖๐ % และอัตราส่วนโมเลกุลสูงสุด (**optimum molecular ratio**) ของ Ca : Mg

ในปูนขาวชนิด dolomitic. จึงอยู่ระหว่าง ๑ : ๑ ถึง ๒ : ๑

จากผลการศึกษาความชื้นกับความหนาแน่นพบว่า ส่วนผสมของกัมกับปูนขาวแบบ calcitic ให้ความหนาแน่นค่าความแบบ dolomitic เพราะว่าปูนขาวแบบ calcitic มักจะมีความละเอียดกว่าปูนขาวแบบ dolomitic ดังนั้นปูนขาวแบบ calcitic มีความฉวมจำเพาะค่าความปูนขาวแบบ dolomitic โดยทั่วไปปูนขาวแบบ calcitic จะแสดงค่า

ปริมาณความชื้น optimum สูงกว่าแบบ dolomitic แต่มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดค่าต่ำกว่า

นอกจากนั้นแล้วในปูนขาวยังมีสารพวก silicon dioxide (SiO_2) และ Sesqui oxides (R_2O_3) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนซีเมนต์ธรรมชาติ สำหรับปูนขาวถือว่า $SiO_2 + R_2O_3$ เป็นสิ่งเจือปนที่ไม่บริสุทธิ์ เมื่อปูนขาวทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดตัวของซิลิเกต (silicate) และอลูมิเนต (Aluminate) ในเวลานี้มีคุณสมบัติทางกายภาพและมีส่วนช่วยเพิ่มกำลังของส่วนผสม ทั้งนี้ต้องขึ้นกับปริมาณของสิ่งเจือปนที่ไม่บริสุทธิ์เหล่านี้ ($SiO_2 + R_2O_3$) ด้วย

ผลของสารแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) โดยทั่วไป dolomitic dihydrate lime ($Ca(OH)_2 + Mg(OH)_2$) ให้กำลังในการปรับปรุงคุณภาพของดิน (stabilized strength) ค่าต่ำกว่า dolomitic monohydrate lime ฉะนั้นในการเก็บปูนขาวจึงต้องระวังป้องกันสาร MgO จากความชื้น ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยา hydration เปลี่ยนเป็น $Mg(OH)_2$ ขนาดผลึกของ MgO มีอิทธิพลต่อกำลังของส่วนผสมกับปูนขาว ขนาดผลึกยิ่งละเอียดจะยิ่งได้กำลังยิ่งสูง ส่วนผลึกของ $Ca(OH)_2$ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า MgO แต่ไม่มีผลทางด้านกำลังเลย ต่อไปนี้เป็นชนิดของปูนขาวที่มีผลต่อการเพิ่มกำลังมากไปขอตามลำดับด้วยการบ่มมีดังนี้ :- monohydrated-dolomitic-lime high-calcium-quicklime hydrated-high-calcium-quicklime และ dihydrated-dolomitic-lime

๒.๘.๒.๒ ประเภทของดิน PIETSCH และ DAVIDSON (๑๙๖๒) ดินที่ C-horizon คอยสนองปฏิกิริยาของปูนขาวได้ต่ำกว่า ชั้น A และ B-horizon หรือดินที่มีอายุทางธรณีวิทยาอ่อนกว่าจะมีกำลังสูงกว่าดินที่มีอายุแก่กว่า เมื่อผสมดินเหล่านี้กับปูนขาวรูปใคว่า ปูนขาวจะไม่ทำปฏิกิริยากับเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่า silt (๐.๐๖ มม.) แต่จะทำปฏิกิริยากับดินเหนียวมาก

๒.๔.๒.๓ แร่ดินเหนียว (Clay minerals) แร่ดินเหนียวมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีปฏิกิริยาต่อกันต่างกัน เมื่อผสมกับปูนขาวแล้ว แร่ดินเหนียวพวก montmorillonite และ kaolinite จะให้กำลังสูงกว่าพวก illite และ chlorite สำหรับ halloysite จะให้กำลังต่ำสุด จาก MATEOS, 1964 .

DEWET (๑๙๖๗) ได้ตรวจสอบปฏิกิริยาระหว่างดินเหนียวกับปูนขาวด้วยเครื่อง Differential Thermal Analysis และเครื่อง X-ray diffraction ดังนี้ :- ปูนขาวเมื่อทำปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียว montmorillonite ส่วนใหญ่จะได้ Calcium Silicate Hydrates, ถ้าทำปฏิกิริยากับแร่ดินเหนียว kaolinite จะได้ Calcium Silicate Hydrate หรือ calcium aluminate hydrate ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมระหว่างดินกับปูนขาว

๒.๔.๒.๔ คุณสมบัติของการบ่ม อัตราเร่งปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับดินขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาเคมีทำให้ส่วนผสมมีกำลังเพิ่มขึ้น MATEOS (๑๙๖๔) แนะนำการใช้ไอน้ำบ่มจะทำให้ส่วนผสมมีกำลังสูงขึ้นมาก

อัตราเร่งของกำลังที่เพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับประเภทของดินและสภาพภูมิอากาศ ปูนขาวต่างชนิดกันจะให้กำลังของส่วนผสมที่อัตราเร่งต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการบ่ม เช่น dolomitic monohydrate lime จะให้กำลังสูงกว่า high-calcium hydrated lime เมื่อ บ่มที่อุณหภูมิ ๗๐ °F แต่ถบบ่มที่อุณหภูมิ ๑๒๐ °F high-calcium hydrated lime จะให้กำลังสูงกว่า dolomitic monohydrate lime เล็กน้อย

๒.๔.๓ ลำดับขั้นตอนปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับดิน

เมื่อปูนขาวผสมกับดินจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและปริมาณปูนขาวที่ใช้ ลำดับขั้นตอนของปฏิกิริยาดังนี้ :-

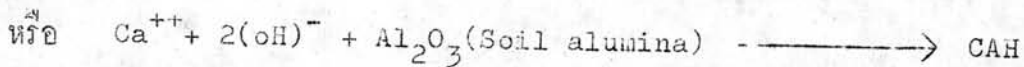
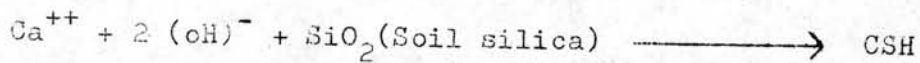
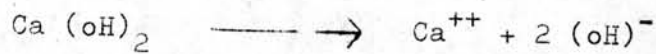
๒.๔.๓.๑ การแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า (ion) ปูนขาวเมื่อผสมกับน้ำจะแตกตัวออกเป็นประจุแคลเซียม (Ca^{++}) หรือแมกนีเซียม (Mg^{++}) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) และทำให้เกิด ๒ ปฏิกิริยาดังนี้ :-

(๑) ประจุไฟฟ้า Ca^{++} จะไปแลกเปลี่ยนกับประจุไฟฟ้า (Cations) ของดินเดิม

(๒) ประจุไฟฟ้า Ca^{++} ที่เหลืออยู่มากเกินพอ จะไปล้อมรอบอนุภาคดินเอาไว้

จาก HERRIN และ MITCHELL, (๑๙๖๑), LAMBE (๑๙๖๒), ผลของปฏิกิริยาทั้งสองนี้เป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของ double layers ที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคดิน และยังทำให้อนุภาคดินตกตะกอนด้วย

๒.๔.๓.๒ ปฏิกิริยา Pozzolanic เป็นปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับแร่ธาตุซิลิกาและอลูมิเนียมในดินได้ผลเป็นส่วนของ Calcium silicate hydrate (CSH gel.) หรือ calcium aluminate hydrates (CAH) ผลของปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นเสมือนตัวประสานยึดเกาะอนุภาคของดินเข้าด้วยกัน กำลังส่วนผสมดินและปูนขาวจะเพิ่มขึ้นที่เล็กน้อยก็เนื่องมาจาก pozzolanic reaction ดังสมการต่อไปนี้



สัญลักษณ์ทางเคมี : C = CaO, S = SiO₂, H = H₂O, A = Al₂O₃

โดยทั่วไป calcium aluminate hydrate ที่เกิดขึ้นมักเป็น tetracalcium aluminium hydrate (C₄AH₁₃) แต่ถ้าวัดที่อุณหภูมิสูง ๆ จะได้เป็น C₃AH₆ รูปผลึกบางชนิดมีเสถียรภาพดี ฉะนั้น ผลิตภัณฑ์ที่แท้จริงของส่วนผสมของปูนขาวและดินจะแปรผันไปตามประเภทของดินเหนียวและสภาวะของการบ่ม

๒.๔.๓.๓ คาร์บอเนชัน (Carbonation) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เป็นวัสดุประสานอย่างอ่อนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไปทันทีหลังจากผสมกับปูนขาวมีสาเหตุจากการตกตะกอนของอนุภาคดิน ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้ากัน (ion exchange) และ/หรือประจุไฟฟ้าแคลเซียม (Ca⁺⁺) อย่างเข้มข้นจะกดอัด double layers ของดินไว้

(LAGUROS et. al. ๑๙๕๖, CLARE และ CRUCHLEY, ๑๙๕๗) วัสดุประสานแคลเซียมคาร์บอเนตจะไม่เพิ่มกำลังของส่วนผสมของดินกับปูนขาวเลย ในทางตรงข้าม CaCO_3 กลับจะไปขัดขวาง pozzolanic reaction และขัดขวางการเพิ่มกำลังของดินตามปกติด้วย (HERRIN และ MITCHELL, 1961)

๒.๕ การปรับปรุงคุณภาพดิน (บางชนิด) ด้วยน้ำปูนขาว

ภูมิประเทศของภาคเหนือและใต้ของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นภูเขาที่มีหินแกรนิตและหินนิชชัปกคลุมเป็นบริเวณกว้าง ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนมีภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดปีตามฤดูกาลจากร้อน, ฤดูฝน และฤดูหนาว สภาพอากาศเช่นนี้จึงเร่งให้หินผุพังเร็วขึ้น เทือกเขาต่าง ๆ จึงมีหินผุปกคลุมอยู่ตามความหนาต่าง ๆ กันแล้วแต่สิ่งแวดล้อม ถนนที่สร้างผ่านบริเวณหินผุมักจะประสบปัญหาการเลื่อนไถลจนพัง (slide failure) ของ back slope และ side slope ในฤดูฝนทำให้เกิดความเสียหายมาก กรมทางหลวงจึงได้มีโครงการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินผุ เมื่อผสมกับน้ำปูนใส ทั้งในสนาม (ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ ๑) และในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้ในการเพิ่มเสถียรภาพของหินผุ

ส่วนทางตอนใต้ของประเทศไทยได้มีการปรับปรุงคุณภาพของดินแกรนิตที่มีอยู่มากด้วยปูนขาว โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการหาค่า Unconfined compression strength, California Bearing Ratio และ Plasticity Index เปรียบเทียบกับปริมาณปูนขาวที่ใช้ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน และสรุปได้ดังนี้ :-

ในการทดสอบกำลังอัด (compressive strength) ดินแกรนิตที่มีไมก้าและ sericite ผสมอยู่มาก แม้จะผสมกับปูนขาวจำนวนมากแต่ก็มีผลน้อยมาก คือ ทำให้กำลังเพิ่มขึ้นน้อยมากและมีปฏิกิริยาเบาบางมาก ส่วนดินแกรนิตอื่น ๆ ปริมาณปูนขาวที่ทำปฏิกิริยากับดินนั้นจะแปรผันโดยตรงกับค่า unconfined compressive strength และยังคงแปรผันเป็นสัดส่วนกับปริมาณดินเหนียวในดินแกรนิตด้วย

ผลของปริมาณปูนขาวที่ใช้ เมื่อใช้ปูนขาวน้อย, ปริมาณปูนขาวจะถูกใช้ในปฏิกิริยาช่วงสั้นจนเกือบหมด, ปูนขาวที่เหลือสำหรับปฏิกิริยา pozzolanic ในช่วงระยะยาวนานจึงมีอยู่น้อยกว่าดินที่ใช้ปริมาณปูนขาวมาก ตัวอย่างที่ทดสอบกำลังอัด (compression test) ที่ได้จากการแช่น้ำ (soaking) และทำให้เปียก (wetting) และแห้ง (drying) มีผลน้อยมากต่อกำลังกด (unconfined compressive strength)

ส่วนค่า CBR ก็มีผลคล้ายกับ unconfined compressive strength

การทดสอบพลาสติกซิตี, ค่าลิกวิดลิมิต (liquid limit) ไม่สัมพันธ์ทั้งปริมาณ
ปูนขาวและระยะเวลาบ่ม ส่วนค่า plastic limit เพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนขาวและเพิ่มขึ้น
ตามระยะเวลาบ่มจนอายุได้ ๓ เดือนจึงมีค่าคงที่ และค่า P.I. จะลดลงเมื่อปริมาณปูนขาว
และระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่า P.I. ไม่มีความสัมพันธ์กับกำลังของดินเลย

ตารางที่ ๒.๒

เปรียบเทียบวิธีจำแนกชั้นหินผุของหินอัคนีและหินแปร

THIS PAPER	VARGAS 1953	KIERSCH & TRESHER* 1954	MOYER* 1955	RUXTON & BERRY 1957	SOHRS 1964, 1963	KNILL & JONES 1965	VARGAS, SILVA & TUBIO 1965	KORZHENKO & SHVETS 1965	SOHRS 1967	LITTLE 1967 & 1970 SAUNDERS & FOOKES FOOKES & HORSWILL 1970	VARGAS 1969	BARATA 1969	THIS PAPER
	ONEISS, BASALT, SANDSTONE ✓	QUARTZ DIORITE	GRANITE	GRANITE	IGNEOUS & METAMORPHIC ROCK	ONEISS	GRANITE, GNEISS, SCHISTS, BASALT AND SANDSTONE	NON CLAYEY ROCKS	IGNEOUS METAMORPH & OTHERS ✓	A VARIETY OF ROCKS ✓	GNEISS, SCHIST, GRANITE, CLAY, SANDSTONE ✓	ONEISS	
IA	MATURE RESIDUAL SOIL		GRANITIC SOIL	ZONE SOIL A-HORIZON	THE UPPER ZONE	GRADE GNEISSIC SOILS	UPPER ZONE	CLAYEY SOIL	A-HORIZON	GRADE VI SOIL OR TRUE RESIDUAL SOIL	ZONE I "POROUS" CLAY OR SAND LAYER	ZONE I MATURE RESIDUAL SOIL	I RESIDUAL SOIL
IB				SOIL B-HORIZON					B-HORIZON		II STIFF CLAY OR CLAY SAND		II B-HORIZON
IC	YOUNG RESIDUAL SOIL	HIGHLY WEATHERED	COMPLETELY WEATHERED GRANITE	RESIDUAL DEBRIS HIA RESIDUAL DEBRIS WITH CORESTONES	THE INTERMEDIATE ZONE	IV COMPLETELY WEATHERED GNEISS	INTERMEDIATE ZONE	SAPROLITE	SAPROLITE	V COMPLETELY WEATHERED	III YOUNG RESIDUAL SOIL	HIA YOUNG RESIDUAL SOIL	IC C-HORIZON (SAPROLITE)
IIA	DISINTEGRATED ROCK LAYER	MODERATELY WEATHERED	HIGHLY WEATHERED GRANITE	IIIB RESIDUAL DEBRIS W/CORE STONES	THE PARTIALLY WEATHERED ZONE 1	IIIB HIGHLY WEATHERED GNEISS	LOWER ZONE	ROTTEN MATERIAL	TRANSITION ZONE	IV HIGHLY WEATHERED	IV WEATHERED ROCK 2	IIIB YOUNG RESIDUAL SOIL	IIA TRANSITION FROM RESIDUAL SOIL OR SAPROLITE TO PARTLY WEATHERED ROCK
			MODERATELY WEATHERED GRANITE	II CORE STONES W/RESIDUAL DEBRIS (GRUSS)		IIIB MODERATELY WEATHERED GNEISS			III MODERATELY WEATHERED	III MODERATELY WEATHERED	II VERY ALTERED ROCK 3	II WEATHERED ROCK	II WEATHERED ROCK
IIIB		SLIGHTLY WEATHERED	SLIGHTLY WEATHERED GRANITE	IV PARTIALLY WEATHERED		II SLIGHTLY WEATHERED GNEISS	PARTIALLY WEATHERED OR FISSURED ROCK		II SLIGHTLY WEATHERED	II SLIGHTLY WEATHERED	IV FISSURED OR FRACTURED ROCK	IV FISSURED OR FRACTURED ROCK	IIIB PARTLY WEATHERED ROCK
III	SOUND ROCK	ESSENTIALLY FRESH	FRESH GRANITE	BEDROCK	UNWEATHERED ROCK	I FRESH GNEISS		ROCK	SOLID ROCK	I FRESH ROCK	V FISSURED OR SOUND ROCK STRATA	V MOTHER ROCK	III UNWEATHERED ROCK

*NOTE THESE CLASSIFICATIONS ARE DESCRIPTIONS OF INTENSITIES OF ROCK WEATHERING AND WERE NOT INTENDED TO BE WEATHERING PROFILES

- 1 The transition to unweathered rock
- 2 Alternate layers of slightly weathered and intensely weathered rock
- 3 "Transition between young residual soil and rock proper"