สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การศึกษาหาลักษณะของดินกระจายตัว

Cole , et al. (1997) ได้กล่าวถึงการเกิดดินกระจายตัวของเขื่อนที่เกิดในประเทศไทยไว้ว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ.2513 เขื่อนดินในประเทศไทยหลายเขื่อนเกิดความเสียหาย ผิวของเขื่อนเกิดการกัดเซาะเนื่องจากฝน และมีหลายเขื่อนที่ได้รับความเสียหายในระหว่างการกักเก็บน้ำครั้งแรก เป็นผลมาจากการนำดินกระจายตัวไปสร้างเขื่อน ในการตรวจสอบดินกระจายตัวโดยวิธี Crumb Test จะเป็นวิธีเริ่มต้นที่จะบอกคุณสมบัติของดินในสนาม และนำไปเปรียบเทียบกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ การซ่อมแซมเขื่อนดิน ที่เสียหายเนื่องจากดินกระจายตัว เมื่อไม่สามารถหาดินที่ไม่กระจายตัวมาซ่อมแซมได้ จะนำดินกระจายตัวไปผ่านกระบวนการทางเคมีและฟิสิกส์เพื่อปรับปรุงโครงสร้างของดิน ให้สามารถป้องกันความเสียหาย อันเกิดจาดดินกระจายตัว

2.2 สาเหตุของการเกิดดินกระจายตัว

คุณสมบัติและลักษณะการกระจายตัวของดินที่พบ การกระจายตัวของดินเกิดจากส่วนหนึ่งของดินเหนียวที่มีการกระจายตัวสูงทำปฏิกิริยากับน้ำ การกระจายตัวจะเกิดขึ้นเมื่อแรงภายในของกระอนุภาคดินเหนียว มีมากกว่าแรงยึดเหนียวระหว่างผิวของแต่ละอนุภาคเมื่อดินเหล่านี้สัมผัสกับน้ำอนุภาคของดินเหนียวจะหลุดออกมา และแขวนลอยอยู่ในน้ำเมื่อหลุดออกมามากๆจะทำให้เกิดเป็นรูหรือโพรงขึ้นภายในโครงสร้างของเขื่อนดิน และสุดท้ายเขื่อนก็จะพังทลายในที่สุดโดยดินกระจายจะมีโซเดียมเป็นปัจจัยหลักในการกระจายตัวของดิน

Holm (1977) ได้อธิบายถึงสาเหตุที่โซเดียมเป็นปัจจัยที่ทำให้ดินกระจายตัวโดยสารละลายโซเดียมจะมีไอออนบวกเมื่อแยกออกมาจากอนุภาคดิน ทำให้ภาคในอนุภาคดินขาดความเสถียรเพราะมีไอออนลบที่อยู่โดดเดี่ยว ทำให้เกิดกระบวนการออสโมติก โดยภายในการอนุภาคจะเกิดการจัดไอออนเป็น 2 ชั้น (Double Layer) ภายในจะเป็นกลุ่มไอออนบวก ส่วนภายนอกจะเป็นกลุ่มไอออนลบทำให้เกิดการผลักดันระหว่าง layer เมื่อประจุขาดสมดุล ถ้าแรงผลักนี้สามารถชนะแรงดึงดูดระหว่างเม็ดดินทำให้นั้นหลุดออกมา

Lambe and Whitman (1996) กล่าวว่าประจุลบในอนุภาคดินเหนียวจะสมดุลโดยประจุบวกในชั้นที่สอง ซึ่งประจุทั้งสองจะเริ่มต้นผลักกันเมื่อ Layer ที่สองประจุเริ่มหายไปเนื่องจากการแตกตัวเป็นโซเดียมที่มีไอออนบวก และแรงผลักจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีการแตกตัวเป็น ไอออนบวกเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งแรงผลักสามารถชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคได้จะทำให้ดินกระจายออกมาในที่สุด

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Decker and Dunginan (1997) แสดงธรรมชาติของดินกระจายตัวว่ามักจะมีอัลคาไลน์ระหว่างเม็ดดินและมี pH มากกว่า 8.5

Sherad , et al. (1997) ได้กล่าวว่าดินกระจายตัวเป็นที่รู้จักกันแพร่หลายว่า สภาวะการกระจายตัวตามธรรมชาติของดินมีความสำคัญและเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาเดินทางด้านวิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์ เป็นส่วนหนึ่งในการก่อสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ และได้ทำการศึกษาเกี่ยวธรรมชาติของดินกระจายตัวโดยทดลองในห้องปฏิบัติการและประเมินความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับดินกระจายตัว

Chen (1983) ได้ไว้ว่าดินกระจายตัวมีลักษณะที่สำคัญ คือ จะมีปริมาณเกลือโซเดียมสูงและปริมาณเกลืออื่นๆต่ำ อย่างไรก็ตามดินกระจายตัวจะเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุเช่นสภาวะแวดล้อมความสูงต่ำของของค่า pH แร่ธาตุในดิน ส่วนประกอบของดินเหนียวสภาวะอากาศ เป็นต้น

Keith , et al. (1997) ได้กล่าวถึงการเกิดดินกระจายไว้ว่าดินกระจายเกิดจากอนุภาคของดินเหนียวเมื่อสัมผัสกับน้ำ แล้วทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้อยกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาค ทำให้อนุภาคของดินเหนียวแยกออกมาจากหน้าผิวหน้าของดินและแขวนลอยอยู่ในน้ำ เมื่อน้ำไหลอนุภาคของดินเหนียวแยกออกจากผิวหน้าของดินและแขวนลอยอยู่ในน้ำ เมื่อน้ำไหลอนุภาคของดินกระจายตัวออกไป แรงผลักระหว่างอนุภาคขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ห่อหุ้มอยู่รอบๆอนุภาคเม็ดดิน แรงดึงดูดของไอออนและค่าการนำไฟฟ้ามีผลทำให้แรงผลักระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้น สารละลายโซเดียมที่ปนอยู่ในเนื้อดินทำให้ดินกระจายตัว โดยจะทำให้ประจุบวกในเม็ดดินเพิ่มขึ้นประจุลบของแคลเซียมและแมกนีเซียมจะรวมตัวกับประจุในเม็ดดินทำให้ประจุของโซเดียมเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับปริมาณของประจุบวกทั้งหมด

2.3 ต้นกำเนิดของดินกระจายตัว

ดินเกิดจากการผุกร่อนชองหินต่างๆ โดยอิทธิพลของดินฟ้าอากาศ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ความกดดันของชั้นดินที่ทับถมกัน ทำให้ดินมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ตามขบวนการต่างๆ อนุภาคที่เกิดจากกการย่อยสลายจะถูกตัวกลางพัดพาและสะสมตะกอนในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ดินที่ตกตะกอนจากแม่น้ำ(Alluvium Soil) ดินที่ถูกตะกอนพัดพาไปตกตะกอน (Loess Soil) ดินที่ตกตะกอนจากสารละลายจากทะเล (Marine Soil) สำหรับดินกระจายตัวเมื่อพิจารณาจากขนาดและลักษณะผิวจะมีตั้งแต่ดินเหนียว (Clay) ดินตะกอนปนทราย (Silty) และดินเหนียวปนทราย (Sandy) ดินเหล่านี้สามารถเกิดการตกตะกอนเป็นปัจจัยสำคัญของขบวนการการเกิดดินกระจายตัวในธรรมชาติ สำหรับต้นกำเนิดของดินกระจายตัว Udomchoke (1991) ค้นคว้าเกี่ยวกับลักษณะการพัดพาและการตกตะกอนของดินกระจายตัวในลักษณะพอต่างๆ สรุปได้ดังนี้

2.3.1 ดินกระจายตัวเกิดจากการพัดพาตกตะกอนจากน้ำทะเล

2.3.2 ดินกระจายตัวเกิดจากการพัดพาตกตะกอนจากน้ำกร่อย

2.3.3 ดินกระจายตัวเกิดจากพัดพาทับถมด้วยลม

2.3.4 ดินกระจายตัวเกิดจากการผุกร่อนของหินในธรรมชาติ

2.4 แหล่งกำเนิดทางธรณี

ธีรชาติ (2527) ได้กล่าวถึงดินกระจายตัวในประเทศไทยว่าเกิดจากการสลายตัวของแร่ในหินแกรนิต (Granite) หินไนท์ (Gneiss) โดยปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อน ภายหลังจะกลายสภาพเป็นหินผุ ประกอบด้วย ควอทซ์, เฟลด์สปาร์ผุ ซึ่งไม่มีความเหนียว ดินเหนียวที่มีความหนืดต่ำ ออกไซด์ของเหล็ก และอลูมินั่ม ซึ่งจะเคลือบเม็ดดินส่วนละเอียดอยู่โดยรอบ ทำให้คุณสมบัติ ความเหนียวของดินลดลง

Sherard , et al. (1976) ได้สรุปเกี่ยวกับดินกระจายตัวว่าส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดจากการตกตะกอนบริเวณที่ราบที่น้ำท่วมถึง (Floodplain Deposits) ตะกอนทะเลสาป (Lake Bed Deposits) การตกตะกอนจากการชะล้างของลาดเอียง (Slop Wash)

ความสามารถของการกระจายตัวของดิน เมื่อพิจารณาปริมาณไอออนโซเดียมสามารถอธิบายโดยสมติฐานของ Holmgren , et al. (1997) ที่กล่าวว่าการสะสมโซเดียมไอออนในดินจะเกิดได้โดยขบวนการต่างๆ เช่น การระเหยกลายเป็นไอ การสะสมและการชะล้างของสารละลายที่มีอยู่ในมวลดินอันเป็นผลมาจากขบวนการทางเคมี แคลเซียมและแมกนีเซียมจะตกตะกอนในลักษณะที่คล้ายกับเกลือคาร์บอเนต ซึ่งขบวนการเหล่านี้ทำให้ความเข้มข้นโซเดียมในดินมีค่าสูง เม็ดดินที่มีสารละลายของโซเดียมสูงนั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดความสมดุลของประจุบนผิว โดยการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าที่เรียกว่า Cation Exchange โดยการแทนที่ไอออนโซเดียมด้วยไอออนที่มีวาเลนซีสูงกว่า

2.5 คุณลักษณะของดินกระจายตัว

2.5.1 คุณสมบัติทางเคมี

เมื่อประจุในอนุภาคของดินเสียสมดุล อันเนื่องมาจากประจุบวกของโซเดียมมีมากเกินไป อนุภาคสองอนุภาคจะเริ่มผลักกัน และเมื่อ Double Layer สัมผัสกับ Double Layer อื่น แรงผลักระหว่างอนุภาคที่อยู่ใกล้กันจะทำให้ระยะห่างระหว่าง Double Layer ของสองอนุภาคมีขนาดกว้างขึ้น

เมื่อเกลือโซเดียมละลายน้ำจะเข้าไปอยู่ในโพรงน้ำ โซเดียมเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดดินกระจายตัว เพราะอนุภาคของโซเดียมทำให้ปริมาณน้ำที่หุ้มอยู่รอบๆอนุภาคของดินเหนียวแต่ละอนุภาคมีปริมาณมากขึ้น โดยมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เท่า ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชัน ด้วยเหตุนี้ทำให้แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคลดลง ทำให้อนุภาคดินเหนียวแยกตัวออกจากเม็ดดิน

2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

ดินที่แปรสภาพมาจากหินปูนมักจะเป็นดินที่ไม่กระจายตัว ส่วนมากดินที่กระจายตัวจะมีปริมาณโซเดียมสูง การสะสมของโซเดียมเป็นผลมาจากการระเหยของน้ำทำให้เกิดเกลือโซเดียมปริมาณของสารละลายโซเดียมที่มีอยู่มากจะทำให้ดินเสียความสมดุลและเกิดการ

กระจายตัวของดินพบได้ในบริเวณที่แห้งแล้งและพื้นที่ในเขตชุ่มชื้นส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่มีน้ำท่วม

2.5.3 แร่ต่างๆในดินกระจายตัว

Montmorillonite เป็นแร่ที่มีมากที่สุดในดินกระจายตัว รองลงมาคือ Vermiculite, Mica และ Kaolinite

2.6 ดินกระจายตัวในประเทศไทย

2.6.1 การแพร่กระจายของดินกระจายตัวในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยในภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งมีสภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มของแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง ซึ่งการใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ทำนา ภูมิอากาศจัดอยู่ในประเภท Tropical Savannah มีปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปีอยู่ระหว่าง 1,000 – 1,300 มิลลิเมตร พบดินกระจายตัวในเขตจังหวัดชัยนาท อยู่โดยทั่ว ๆ ไป ส่วนพื้นที่ดอน และเป็นภูเขาที่พบทางด้านตะวันตกของจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ พบดินกระจายตัวในทุก ๆ จังหวัดดังกล่าว

สำหรับบริเวณพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร และนนทบุรีติดต่อกับปทุมธานี ซึ่งเป็นท่าราบเรียบสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางระหว่าง 1 – 3 เมตร ลาดลงสู่อ่าวไทยทางทิศใต้ บริเวณนี้ยังไม่พบดินกระจายตัว ส่วนพื้นที่ภาคกลางซึ่งเป็นภูเขา เช่น ส่วนภูเขาของตัวจังหวัดสระบุรี และลพบุรี ซึ่งพบหินอัคนีพวก Basalt และ Andesine ด้วย และดินในแถบนี้มักเป็นดินตื้น แต่ก็พบว่าเป็นดินกระจายตัวด้วย

ส่วนพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพื้นที่ทั่ว ๆ ไปเป็นที่ราบสลับกับที่ดอนมีภูเขาสำคัญ ๆ อยู่หลายลูก เช่น เทือกเขาพนมดงรัก เทือกเขาภูพาน ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน Tropical Savannah Climate มีฤดูแล้ง และฤดูฝนแตกต่างกันเห็นได้ชัดเจน ปริมาณฝนเฉลี่ยในรอบปีสูงขึ้น อยู่ระหว่าง 1,500 – 2,000 มิลลิเมตร โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ของจังหวัดนครพนม และมุกดาหาร มีปริมาณฝนตกสูงที่สุดในภาค ชนิดและลักษณะของดินที่พบขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีสัณฐาน และวัตถุต้นกำเนิดดินซึ่งจะสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สภาพทางธรณีสัณฐานที่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำ หรือลมพัดมาทับถม แล้วมีการเปลี่ยนแปลงระดับของพื้นที่โดยกรรมวิธีของแม่น้ำ หรือทางน้ำ และขบวนการกัดกร่อนที่ทำให้เกิดพื้นที่ที่มีระดับแตกต่างกัน โดยที่ตะกอนที่ถูกกัดกร่อนออกไปจะถูกพาไปทับถมในพื้นที่ราบลุ่มกว่า โดยเฉพาะบริเวณที่ราบลุ่มของแม่น้ำสายสำคัญในภาค เช่น แม่น้ำมูล แม่น้ำชี แม่น้ำโขง ลำน้ำพอง ลำน้ำเชิญ แม่น้ำศรีสงคราม ลำน้ำอูน เป็นต้น ดินที่พบในสภาพนี้เป็นดินที่เกิดจากกการทับถมของตะกอน เป็นดินที่มีคุณสมบัติในการกระจายตัวสูง มักจะมีปริมาณโซเดียมสูงมาก เมื่อเทียบกับปริมาณเกลือละลายทั้งหมดในดิน

2. สภาพทางธรณีสัณฐานที่เกิดจากขบวนการปรับระดับของพื้นที่ หินส่วนที่อ่อน หรือผุได้ถูกกัดกร่อนออกไป ทำให้เหลือพื้นที่ที่เป็นดิน เป็นเขาเตี้ย มีลักษณะเป็นลูกคลื่น และพบกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินที่พบมักเป็นดินที่ตื้นถึงลึกมาก แต่ส่วนใหญ่จะเป็นดินตื้นถึงลึกปานกลาง และลักษณะดินขึ้นอยู่กับชนิดหินที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดของดิน เช่น หินดินดาน หินปูน หินทรายแป้ง และอื่น ๆ จะให้ดินเนื้อละเอียด และมักมีสีแดงหรือเหลืองแดง ลักษณะดินดังกล่าวนี้จะมีคุณสมบัติในการกระจายตัวต่ำถึงปานกลาง

3. สภาพทางธรณีสัณฐานที่เป็นเทือกเขา บริเวณเทือกเขา และที่สูงด้านตะวันตก ซึ่งมีเทือกเขาเพชรบูรณ์ และดงพญาเย็น ได้แก่ บริเวณพื้นที่ของจังหวัดเลย พื้นที่ด้านตะวันตกของจังหวัดหนองคาย อุดรธานี ชัยภูมิ และของจังหวัดนครราชสีมา บริเวณเทือกเขานี้มีโครงสร้างทางธรณีสลับซับซ้อนผ่านขบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกมาก และประกอบด้วยหินหลายยุค หลายชุด แต่ที่สำคัญที่สุดคือ หินชุดโคราช หินชุดโคราชนี้ปกคลุมอยู่ทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีลักษณะแตกต่างกันมาก ทั้งทางด้านกายภาพ และลักษณะภูมิประเทศที่พบหินชุดโคราชนี้ จะสลายตัวมาเป็นดินที่มีลักษณะ ดินเนื้อหยาบ และละเอียดปานกลางเป็นส่วนใหญ่ และมีคุณสมบัติกระจายตัว

ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นเทือกเขาสูงสลับกับที่ราบระหว่างเขา หรือที่ราบบริเวณแม่น้ำ มีทิวเขาติดกันเป็นพืดในแนวเหนือใต้ ทางตอนเหนือมีทิวเขาแดนลาวกั้นเขตระหว่างไทย และพม่า ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำปิง ทางด้านตะวันตกมีทิวเขาถนนธงชัย และทิวเขาตะนาวศรีบางส่วน ตอนกลางของภาคมีทิวเขาผีปันน้ำซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำวัง และแม่น้ำยม ด้านตะวันออกของภาค มีทิวเขาหลวงพระบางซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำน่าน และทิวเขาเพชรบูรณ์บางส่วน แม่น้ำที่กล่าวนี้จะไหลลงสู่ภาคกลางรวมเป็นแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดนครสวรรค์ สำหรับที่ราบระหว่างหุบเขาที่เกิดเป็นพื้นที่ผืนใหญ่จะพบบริเวณสองฝั่งแม่น้ำปิง วัง ยม น่าน และแม่น้ำกก โดยเฉพาะที่ราบหุบเขาจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน และเชียงราย ภายในที่ราบของแต่ละหุบเขาจะมีระดับพื้นที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ราบเรียบจนถึงพื้นที่ลุ่ม ๆ ดอน ๆ เป็นลูกคลื่นลอนลึก ดินบริเวณพื้นที่ราบนี้ส่วนใหญ่เป็นดินไม่กระจายตัวในน้ำ แต่มีเป็นบางจุดที่พบดินกระจายตัวบ้าง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่จังหวัดลำปาง

ภาคใต้ของประเทศไทย เป็นภาคที่มีเทือกเขาเป็นสันอยู่ตรงกลาง และมีพื้นที่ลาดสู่ทะเลทั้งสองด้าน ด้านตะวันออกเป็นทะเลอ่าวไทย ส่วนทางด้านตะวันตกเป็นทะเลอันดามัน มีเทือกเขาหลายแห่ง เช่น เทือกเขาภูเก็ต เทือกเขานครศรีธรรมราช และตอนใต้สุดของภาคมีเทือกเขาสันกาลาคีรีบางส่วนเป็นพรมแดนแม่น้ำปากพนัง แม่น้ำโกลก ลักษณะของดินเมื่อพิจารณาจากธรณีสัณฐานมี 4 แบบ คือ

1. เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเล และตะกอนของน้ำกร่อย มีทั้งที่เป็นดินทรายจัด แต่มีชันดินดานอยู่ภายใต้ลึกลงไป 1 – 2 เมตร และที่ลุ่มต่ำน้ำขังเป็นที่สะสมของอินทรีย์สารทั้งที่สลายตัวแล้ว และกำลังสลายตัวของเศษพืชต่าง ๆ สะสมกันอยู่เป็นชั้นหนา

2. ที่ราบต่ำเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำจืด หรือตะกอนจากแม่น้ำ

3. ที่ราบระหว่างหุบเขา และเนินเขาเตี้ย ๆ เป็นดินที่มีการระบายน้ำดี สีแดง หรือสีแดงปนเหลือง

4. พื้นที่เป็นภูเขาประกอบหินชุดต่าง ๆ พื้นที่ในภาคใต้ทั้งหมดดังกล่าวมาแล้วนี้ยังไม่พบดินกระจายตัวในภาคนี้เลย

พื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทย มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา และเทือกเขาสูง ที่ราบแคบตอนบน และที่ราบชายฝั่งทะเล เทือกเขาสูงได้แก่ เทือกเขาจันทบุรี และเทือกเขาบรรทัดมีพื้นที่เนินเตี้ยสลับกับพื้นที่ราบ มีแม่น้ำจันทบุรี แม่น้ำระยอง แม่น้ำประแส แม่น้ำเวฬุ ไหลผ่าน ไหลลงสู่ทะเล ระบบภูมิอากาศเป็นแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อน คือ บริเวณด้านตะวันตกของจังหวัดระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี และระบบภูมิอากาศแบบมรสุมในเขตร้อน ซึ่งมีปริมาณฝนตกมากช่วงแห้ง แล้งสั้น ได้แก่พื้น พื้นที่ด้านตะวันออกของจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด

ดินในภาคนี้แตกต่างกันมากทั้งด้านภูมิอากาศและวัตถุต้นกำเนิด ดินพื้นที่แถบจังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทราคล้อยมาทางภาคกลาง พื้นที่บริเวณปราจีนบุรีและสระแก้วมีลักษณะภูมิอากาศและดินคล้ายไปทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่แถบจังหวัดจันทบุรีและตราดคล้ายไปทางภาคใต้ ดินกระจายตัวในภาคนี้พบมากในจังหวัดปราจีนบุรี และสระแก้ว รองลงมาก็เป็นจังหวัดฉะเชิงเทราและชลบุรี สำหรับดินในจังหวัดจันทบุรีและตราดส่วนใหญ่เป็นดินไม่กระจายตัว

2.6.2 ความแตกต่างของดินกระจายตัวในพื้นที่ต่าง ๆ

2.6.2.1 ดินกระจายตัวในแถบที่ราบสูง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วย 19 จังหวัด ได้แก่ กาฬสินธ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชศรีมา หนองคาย บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร หนองบัวลำภู ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อุดรธานี อุบลราชธานี และอำนาจเจริญ มีเนื้อที่ประมาณ 180,000 ตารางกิโลเมตร ทิศเหนือและทิศตะวันออกปิดกั้นด้วยแม่น้ำโขง อาณาเขตติดต่อประเทศลาว ทิศใต้ และทิศตะวันออกโอบล้อมด้วยเขาหินปูน และ Quartzite Sandstone อาณาเขตพื้นที่จะเป็นที่ราบสูงๆ ต่ำๆ มีภูเขาเตี้ย เป็นแนวมีเนินเขาและหุบเขากว้าง ๆ มีความลาดชันแม่น้ำสายสำคัญ คือ แม่น้ำมูล และแม่น้ำชี ไหลไปในทิศทางตะวันออกเข้าจังหวัดอุบลราชธานีและไหลลงสู่แม่น้ำโขง

ดินกระจายตัวที่พบในภาคนี้ จะมีสีเหลืองปนน้ำตาล หรือน้ำตาลแดง เมื่อแห้งจะแข็งผิวหน้าขรุขระเป็นหลุมเป็นบ่อ เนื่องจากถูกดักเซาะอย่างหนัก ดินกระจายตัวจะกระจายตัวได้ง่ายและรวดเร็วในน้ำที่ไหลช้า ๆ หรือแม่น้ำโขง โดยสีของน้ำจะมีสีเหลืองขุ่น หรือเหลืองอมน้ำตาลขุ่นนี้และจะตกตะกอนน้อยมากหรือไม่ตกตะกอนเลย และ จากการศึกษาดินกระจายตัว ในภาคที่พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของการกระจายตัว Degree of Dispersion อยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยเท่ากับ 29 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณเกลือละลายทั้งหมดในดิน ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ดิน ในพื้นที่ต่าง ๆ จำนวน 3,209 ตัวอย่าง แร่ดินเหนียวของดินในพื้นที่นี้จะมีแร่ Kaolinite เป็นแร่นำตามด้วยแร่ดินเหนียว Illite Vermiculite และ Quartz ตามลำดับ

ความรุนแรงของดินกระจายในภาคนี้ไม่เท่ากันในทุก ๆ แห่งของแห่งนี้ และระดับความลึกของดินก็เช่นเดียวกัน บางพื้นพบดินกระจายตัว ในระยะความลึกจากผิวดินไปถึง 3-4 เมตร แต่บางพื้นที่ก็พบดินกระจายตัว ตั้งแต่ผิวดินลงไปแล้ว เช่น ในบริเวณที่ราบสูงตอนล่างคือจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ ดินกระจายตัวส่วนใหญ่จะพบที่ระดับความลึกจากผิวดินลงไปประมาณ 1.50 เมตร สำหรับที่ราบสูงตอนบนของภาคแถบจังหวัดอุบลราชธานีจะพบดินกระจายตัวเฉพาะที่ระดับ3-4 เมตร เป็นส่วนใหญ่แต่มีปริมาณของดินกระจายตัวที่พบในปริมาณน้อย

2.6.2.2 ดินกระจายตัวในแถบที่ราบต่ำ

สำหรับพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย ประกอบด้วยพื้นที่ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี พรนครศรีอยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี ชัยนาท ลพบุรี สระบุรี สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ลักษณะพื้นที่เป็นทุ่งราบลุ่มและภูเขา แม่น้ำสายสำคัญและเป็นสายหลัก 4 สาย คือ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำบางปะกง นอกจากนี้ก็ยังมีลุ่มแม่นำที่สำคัญ ๆ อีก เช่น ลุ่มน้ำป่าสัก เป็นต้น

ดินในเขตทุ่งราบภาคกลางขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดของดิน ซึ่งมีความสำพันธ์อยู่กับลักษณะทางธรณีสัณฐานของดิน ซึ่งมีทั้งที่ราบน้ำทะเลท่วมถึงพาเอาตะกอนมาทับถมทุกปี เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแป้ง ปริมาณเกลือสูง ได้แก่บริเวณที่ติดกับฝั่งทะเลของอ่าวไทยในบริเวณตอนเหนือของกรุงเทพมหานคร ถึงอยุธยา ดินที่พบบริเวณนี้มีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมีสารไพไรท์อยู่ในดินสูง ตรวจสอบคุณสมบัติมักจะเป็นดินไม่กระจายตัว

ในพื้นที่ที่แต่เดิมน้ำทะเลเคยท่วมถึงมาก่อน มักจะมีแร่ธาตุต่าง ๆ จากน้ำทะเล เช่น โซเดียมทับสะสมกันเป็นเวลานาน เป็นจำนวนมาก บางแห่งก็อยู่ที่ระดับลึก บางแห่งก็อยู่ที่ระดับสูงขึ้นมาโดยขึ้นมากับน้ำใต้ดินโดยวิธีซึมขึ้นเช่น พื้นที่บางแห่งในจังหวัดราชบุรี

สุพรรณบุรี ชัยนาท อ่างทอง เป็นต้น โดยมักจะพบดินกระจายตัวอยู่เป็นหย่อม ๆไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด

ความรุนแรงของดินกระจายตัวในทุ่งราบภาคกลางนี้ไม่เท่ากันทุกแห่ง และระดับความลึกที่พบก็ต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยบางพื้นที่พบที่ผิวดินไม่ลึกนัก แต่บางพื้นที่ในที่ลึกลงไปเช่น ในแถบ ทุ่งวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท พบดินกระจายตัวที่กระจายตัวสูงโดยทั่วไป ปริมาณ โซเดียมในดินเมื่อเทียบกับปริมาณเกลือละลายชนิดอื่นๆ จะสูงมาก จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การกระจาย สูงมากตามไปด้วย ลักษณะสีดินในพื้นภาคนี้ก็มีสีอยู่หลายสี เช่น ดินสีแดงในจังหวัดลพบุรี ก็พบว่าเป็นดินกระจายตัวด้วยเหมือนกัน จากการศึกษาดินกระจายตัวในภาคนี้พบว่าเปอร์เซ็นต์ของการกระจายตัวอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยเท่ากับ 32 เปอร์เซ็นต์โดยมีเปอร์เซ็นต์โซเดียมอยู่ระหว่าง 0.33 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยเท่ากับ 32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณเกลือละลายทั้งหมดในดิน แร่ดินเหนียวของดินในพื้นที่ทุ่งราบภาคกลางนี้พบแร่ Montmorillonite เป็นแร่นำ และตามด้วย Illite, Kaolinite Vermiculite และพบ Quartz เล็กน้อย

2.6.2.3 ดินกระจายตัวในแถบภูเขา

ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยจะมีทิวเขาเรียงรายอยู่หลายลูกด้วยกัน เช่น ทิวเขาหลวงพระบาง ทิวเขาแดนลาว ทิวเขาถนนธงชัย พื้นที่จะเป็นแนวเทือกเขาสลับกับแอ่งภูเขาจะมีพื้นที่ราบอยู่บ้าง มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 169,664 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำสายสำคัญได้แก่แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ซึ่งอยู่ต่ำลงมา ลักษณะของดินในพื้นที่ดินนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุให้กำเนิดดิน ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ

1. ดินที่เกิดจากตะกอนที่ถูกน้ำพัดพามาทับทมจากแหล่งอื่น ซึ่งมีทั้งตะกอนทับถมใหม่ และตะกอนเก่า พวกตะกอนใหม่จะพบริมแม่น้ำ ส่วนดินตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถมกันเป็นเวลานานพบบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา

2. ดินที่เกิดจากหินคาดตามเชิงเขา โดยพังลงมาจากภูเขา และเคลื่อนย้ายลงมา โดยแรงดึงดูดของโลก แล้วสลายตัวเป็นดินชนิดต่าง ๆ ลักษณะดินแตกต่างกันไปตามชนิดของหิน

3. ดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินต้นกำเนิด และอยู่กับที่ เช่น หิน Shale จะสลายตัวมาเป็นดินละเอียด ดินที่เกิดจากหินแกรนิต และหินทราย มักจะเป็นดินเนื้อหยาบ แต่บางอย่างก็เป็นดินเนื้อละเอียดปานกลาง ความรุนแรงของดินกระจายตัวในภาคนี้ไม่เท่ากันทุก ๆ แห่งในพื้นที่ดินกระจายตัวเช่นเดียวกับภาคอื่น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเกลือโซเดียมซึ่งสลายจัวมาจากวัตถุต้นกำเนิด ซึ่งบางแห่งอาจพบปริมาณโซเดียมมากเกินร้อยละ 90 ของปริมาณเกลือละลายทั้งหมด เช่น ในเขตอำเภอแม่พริก จังหวัดลำปาง เป็นต้น ดินกระจายตัวที่พบมักจะอยู่ในระดับต่ำจากผิวดิน ประมาณ 1 – 3 เมตร สีขาวดินจะเป็น

สีน้ำตาล และน้ำตาลปนเทา และอาจค่อนมาทางน้ำตาลแดง จากการศึกษาดินกระจายตัวในภาคนี้พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของการกระจายตัว อยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยเท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ สำหรับที่ดินที่เกิดจากตะกอนแม่น้ำพัดพามาสะสมตามริมแม่น้ำและดินตะกอนแม่น้ำพัดพาสะสมนานแล้วบริเวณที่ราบระหว่างภูเขา ส่วนมากมักพบว่าเป็นดินไม่กระจายตัว แต่มีบางแห่งที่พบว่าเป็นดินกระจายตัวรุนแรงด้วยเหมือนกัน เช่น ดินบริเวณโครงการชลประทาน ห้วยส้มเค็มจังหวัดพิษณุโลก เป็นต้น

2.6.3 การแพร่กระจายในจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทย

จากการตรวจสอบคุณสมบัติดินกระจายตัว ของดินจากบ่อยืมดินที่ใช้ในการก่อสร้างเขื่อนดินทำบนดิน คันคลอง ของพื้นที่ต่าง ๆ ในเขตชลประทาน พบว่า ดินที่มีคุณสมบัติกระจายตัวพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดนครราชสีมา พบดินกระจายตัวอยู่มาก เช่น ในเขตอำเภอปักธงชัย อำเภอครบุรี อำเภอด่านขุนทด อำเภอเลิงสาง อำเภอแก้วสามนาง อำเภอโนนไทย อำเภอชุมพวง อำเภอประทาย เป็นต้น ดินทุกแห่งมีการกระจายตัวสูงนอกจากจังหวัดนครราชสีมาแล้วก็พบดินกระจายตัวสูง และปานกลางอีกหลายแห่ง เช่น จังหวัดสุรินทร์ บุรีรัมย์ ชัยภูมิ อุดรธานี ร้อยเอ็ด นครพนม กาฬสินธ์ ยโสธร อุบลราชธานี และพบในพื้นที่บางส่วนของจังหวัดมหาสารคาม ศรีสะเกษ สกลนคร และจังหวัดเลย เป็นต้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพบเกือบทุกจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดปราจีนบุรี และจังหวัดสระแก้วที่มีอาณาเขตติดต่อกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะภูมิอากาศ และดินคล้ายไปทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบดินที่มีคุณสมบัติเป็นดินกระจายตัวที่รุนแรงทั่วไป เช่น พื้นที่บริเวณใกล้อ่างเก็บน้ำห้วยตะเคียน บ้านแก้วเพชรพลอย ห้วยสะโตน ห้วยยาง เขารัง พระปรง เป็นต้น นอกจากนี้ก็พบดินกระจายตัวในเขตจังหวัดฉะเชิงเทราที่อำเภอท่าตะเกียบ และสนามชัยเขต จังหวัดชลบุรี พบที่อำเภอพนัสนิคม เป็นต้น

สำหรับภาคกลางตรวจพบดินกระจายตัวในเขตจังหวัดชัยนาท กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สระบุรี ลพบุรี เพชรบุรี ราชบุรี สุพรรณบุรี เป็นต้น

ในภาคเหนือของประเทศไทยก็ตรวจพบดินกระจายตัวในราบหุบเขา ของจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน พะเยา ลำปาง แพร่ น่าน และเชียงราย ในพื้นที่ราบเรียง และเป็นที่ลุ่มบริเวณกว้าง ในเขตจังหวัดพิษณุโลก อุตรดิตถ์ สุโขทัย และบางพื้นที่ของจังหวัดพิจิตรก็ตรวจพบดินกระจายตัวด้วยนอกจากนี้ก็ยังพบในเขจังหวัดเพชรบูรณ์ ตาก กำแพงเพชร และพื้นที่บางส่วนของจังหวัดอุทัยธานี และนครสวรรค์

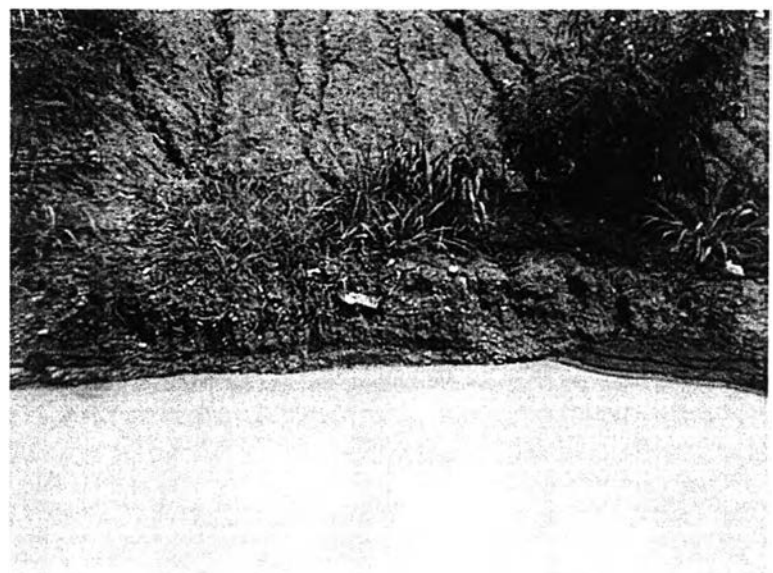
สำหรับภาคใต้เท่าที่ได้ตรวจสอบคุณสมบัติดินกระจายตัวไปแล้ว 12 จังหวัดจากทั้งหมด 14 จังหวัด คือ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี พังงา กระบี่ ตรัง ภูเก็ต

นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา ปัตตานี และจังหวัดยะลา ยังไม่พบดินที่คุณสมบัติเป็นดินกระจายตัวในภาคนี้ จังหวัดที่ได้มีการตรวจพบดินกระจายตัวในประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 จังหวัดที่ตรวจพบดินกระจายตัวในประเทศไทย (อร่ามศรี, 2531)

2.7 ปัญหาในการนำดินกระจายตัวมาใช้ในงานวิศวกรรม

ดินกระจายตัวจัดว่าเป็นดินที่สร้างปัญหาอย่างมากให้กับงานวิศวกรรม ในงานเขื่อนดิน ถนน คลองส่งน้ำ พบว่าดินกระจายตัวนั้นจะเป็นตัวก่อให้เกิดอันตรายในรูปแบบต่างๆ เช่น การกัดเซาะผิวหน้า การเกิดรูโพรง ทำให้น้ำขุ่น การกัดเซาะบนลาดดิน เป็นต้น ซึ่งในส่วนของบริเวณคันทางรถไฟในช่วงที่ทำการก่อสร้างเลียบเขื่อนเก็บน้ำลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าดินที่ใช้ในการก่อสร้างคันทางนั้นเป็นดินที่มาคุณสมบัติเป็นดินกระจายตัวโดยน้ำที่ขังอยู่ในบริเวณคันทางจะมีลักษณะขุ่นอย่างเห็นได้ชัดเจนในภาพที่ 2.2 อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของเม็ดดินดังกล่าว และยังพบเห็นการทรุดตัวดินบริเวณผิวคันทางดังภาพที่ 2.3 เป็นการทรุดตัวของผิวด้านบนของคันทางที่มีผลมาจากการพัดพาของเม็ดดินทำให้เกิดโพรงใต้คันทางและเกิดการทรุดตัวลงในที่สุด



รูปที่ 2.2 น้ำในบริเวณที่เป็นดินกระจายตัวจะมีลักษณะขุ่นอย่างชัดเจน

รูปที่ 2.3 การทรุดตัวของพื้นผิวดินอันเนื่องมาจากเกิดโพรงใต้คันทางรถไฟ

2.7.1 ปัญหาในงานเขื่อนดิน

ปัญหาในงานเขื่อนดินที่เกิดจากการนำดินกระจายตัวมาใช้ในการก่อสร้างนั้น ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่างๆ ดินแห้งยุบหดตัวเกิดรูโพรงหรือช่องเปิด เมื่อฝนตกน้ำซึมไหลผ่านรูโพรงรอยแยกจะเกิดการกัดเซาะที่ผิวดิน เกิดรูรั่วทีละน้อยขยายมากขึ้นโดยการกัดเซาะผิวหน้าจากน้ำฝนทำให้เกิดการวิบัติของเขื่อนได้

การเกิดรูโพรงของดินกระจายตัวนั้น เริ่มจากการที่ดินแห้งยุบและหดตัวของมวลดิน โดยความแตกต่างของการยุบและหดตัวหรือการบดอัดดินไม่ดีเพียงพอ ทำให้เกิดรอยแยกแตกและรูโพรง การกัดเซาะจะเริ่มจากด้ายท้ายน้ำและขยายมาทางเหนือน้ำจะสูงขึ้นตลอดทางน้ำที่ไหลผ่านการกัดเซาะภายในจะมีผลโดยอนุภาคเม็ดดินจะไหลออกจากมวลดินโดยการกระทำของน้ำ

Sherdard, et al. (1997) ได้รายงายตัวอย่างที่แสดงปัญหาของดินกระจายตัวของคันดินน้ำล้นเพื่อควบคุมระดับน้ำของแม่น้ำ Zulia ในประเทศเวเนซูเอล่า ลักษณะของการวิบัติเป็นการเกิดรูโพรงเนื่องจากฝนทำให้คันดินน้ำล้นบางช่วงเกิดการกัดเซาะเป็นรูโพรงขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการทรุดตัวและใช้ประโยชน์ไม่ได้

Rosewell (1997) รายงานว่านอกจากสหรัฐอเมริกาแล้วยังมีพื้นที่บางส่วนของโลกไม่ว่าจะเป็น อเมริกาใต้ จีน ตะวันออกกลาง และแอฟริกาใต้ ก็ประสบปัญหาการเกิดรูโพรงของเขื่อนดินถมเนื่อมาจากการใช้ดินกระจายตัวในการก่อสร้าง และในบางส่วนของ นิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย มีการวิบัติของเขื่อนดินถมขนาดเล็กเนื่องจากสาเหตุนี้ ประมาณร้อยละ 16.00

Phililips (1997) รายงายการสำรวจเขื่อนดินถมขนาดเล็กในออสเตรเลีย พบว่าการวิบัติพังทลายโดยที่เขื่อนเกิดรอยแตกร้าวทางกายภาพ มีสาเหตุเกิดจากดินกระจายตัวเป็นหลัก และเกิดจากสาเหตุอื่นรวมกัน ประมาณร้อยละ 10 การวิบัติพังทลายเนื่องจากการออกแบบของวิศวกร และการควบคุมก่อสร้างมีน้อยมาก

Volk (1997) ได้แสดงถึงคุณลักษณะการกระจายตัวของดินมีความสัมพันธ์กับการวิบัติมากมายที่เกิดรูโพรงของเขื่อนดินถมขนาดเล็ก คันดินกั้นน้ำและถนนในเซาท์เทิร์น ประเทศออสเตรเลีย จากการทดสอบตามมาตรฐานของ SCS โดยทั่วไปพบว่าภายหลังจากการเปียกครั้งแรก ก้อนดินหรือมวลดินนั้นจะกระจายสลายตัว (Slakes) ไปกับน้ำและได้เงื่อนไขที่สำคัญของสาเหตุการพิบัติในรูปอื่นๆของเขื่อนในระหว่างกักเก็บน้ำครั้งแรก ซึ่งเป็นการพิบัติอันเนื่องจากสาเหตุดินกระจายตัวที่มีอยู่ในเขื่อน

2.7.2 ปัญหาในงานคลองส่งน้ำ

โดยทั่วไปการพังวิบัติของงานคลองส่งน้ำเนื่องจากดินกระจายตัวมีหลายรูปแบบ เช่นเมื่อน้ำฝนที่ไหลผ่านส่วนบนของคลองส่งน้ำ น้ำจะซึมรอยแตกของผนังลาดคลอง ซึ่งรอยแตกอาจ

เกิดจากการที่ดินแห้งและหดตัว เมื่อน้ำไหลผ่านก็จะพัดเอาอนุภาคของเม็ดดินไปด้วย ทำให้เกิดรูโพรงขยายมากขึ้นและทำให้เกิดการวิบัติ

กรณีศึกษาปัญหาในคลองส่งน้ำ พบว่าจะเกิดการกัดเซาะเป็นรูโพรงของคลองส่งน้ำ(Gully) จากการขุดคลองดินส่งน้ำสำหรับหมู่บ้านที่อาศัยอยู่ทางตอนใต้ของ นิวเซาท์เวลส์ เกิดการกัดเซาะขยายตัวออกไป 7 เมตรจากผนังคลองส่งน้ำ ภายหลังจากการก่อสร้างและส่งน้ำเป็นเวลาประมาณ 1 ปีจากการสำรวจพบว่ามีการแตกร้าวและกัดเซาะเป็นรูโพรงตลอดแนวคลองเมื่อทดสอบคุณสมบัติด้านการกระจายตัว พบว่าเป็นที่มีความสามารถในการกระจายตัว เป็นสิ่งที่แสดงได้ว่าแนวโน้มการกัดเซาะเกิดขึ้นได้ง่ายโดยเฉพาะดินที่มีการกระจายตัวสูง (Crouch,1997)

ในงานคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย เขื่อนมูลบน พบว่าหลังจากในการส่งน้ำในปี 2537 คลองบางส่วนจะมีการกัดเซาะทีละเล็กทีละน้อย โดยน้ำจะซึมตามรอยของแผ่นคอนกรีตดาดหน้าสังเกตได้จากตะกอนของดินแขวนลอยอยู่ในน้ำเหนือรอยต่อเห็นได้อย่างชัดเจน การกัดเซาะจะพัฒนาเป็นรูโพรงขนาดใหญ่ ทำให้แผ่นคอนกรีตดาดหน้าแตกและในจุดวิกฤตการกัดเซาะทะลุคันดินของคอลงคนเกิดการพังทลาย

2.7.3 ปัญหาในงานถนน

Stapledon, et al. (1997) ได้กล่าวว่าปัญหาของงานถนนมีลักษณะปัญหาคล้ายกับงานอื่นๆ กล่าวคือ เกิดจากการที่โครงสร้างของถนนบริเวณผิวด้านข้างและไหล่ทางเกิดการหดตัวของมวลดินเกิดรอยแตกร้าว (cracks) และถูกกัดเซาะเป็นรูโพรงผ่านรอยแยกใหญ่ๆ จากผิวถนนหรือไหล่ถนน เนื่องจากน้ำที่ไหล่บ่าจากผิวจราจร

Parker, et al. (1997) กล่าวถึงการวิบัติและความเสียหายของผิวการจราจรเนื่องจากการใช้ดินกระจายตัวมาเป็นวัสดุก่อสร้าง และมีผลกระทบต่อการบำรุงรักษาซึ่งจะต้องใช้เงินจำนวนมากในการซ่อมแซมผิวการจราจร

2.7.4 ปัญหาน้ำขุ่นในอ่างเก็บน้ำ

ปัญหาที่พบในอ่างเก็บน้ำที่มีน้ำขุ่นเกินมาตรฐานนั้น มักจะพบว่าน้ำที่ไหลจากลำธารธรรมชาติที่ไหลผ่านลงสู่อ่างเก็บน้ำ จะมีอนุภาคของดินกระจายตัวแขวนลอยอยู่ ทำให้มีปัญหาน้ำขุ่นเกิดขึ้นเป็นผลทำให้ขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำลดลง

2.8 วิธีการแก้ไขปัญหาการกระจายตัวของดิน

ถึงแม้ว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในงานวิศวกรรมปฐพีและฐานราก จะมีความสัมพันธ์กับดินกระจายตัว อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะนำดินที่กระจายตัวมาใช้ในงานการก่อสร้างได้ โดยการควบคุมการใช้งานให้เหมาะสม สำหรับโครงการที่เสนอให้ใช้ดินกระจายตัวในงานวิศวกรรมโดยจะต้องมีการป้องกันและโดยการออกแบบโครงสร้างเพื่อแก้ปัญหาการกระจายตัวของดินที่ใช้เช่น

การออกแบบชั้นกรองในงานเขื่อนดิน เป็นต้น หรือการปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยใช้เทคนิคต่างๆ ซึ่งจะต้องตรวจสอบคุณสมบัติของดินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงอย่างระมัดระวัง

การควบคุมการกระจายตัวของดินจะต้องมีการควบคุมให้เหมาะสมกับการนำดินมาใช้ในงานนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับเทคนิควิธีการ ขีดความสามารถในการปรับปรุง ระยะเวลาของการปฏิบัติงาน และความคงทนของวัสดุเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมด

2.9 การป้องกัน

การป้องกัน หมายถึง การใช้วัสดุที่ดีเป็นตัวป้องกันอันตรายจากผลของการกระจายตัวของดิน ซึ่งพิจารณาดังนี้

2.9.1 การป้องกันผิวหน้าของดินกระจายตัว ไม่ให้สัมผัสกับน้ำอันจะก่อให้เกิดรูโพรง โดยการปกคลุมผิวหน้าตัวเขื่อน

2.9.1.1 การใช้ดินที่ไม่กระจายตัวและดินที่ไม่มีความเหนียว ใช้ปกคลุมผิวหน้าของเขื่อนหรือผนังลาดคันทาง หรือใช้หินปิดทับอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการป้องกันการพัฒนาขบวนการแตกร้าวของผิวหน้าสู่ดินบดอัดตัวเขื่อนได้ (Cole, et al. (1977))

2.9.1.2 การฉีดพ่นวัสดุ (Grouting) ยึดประสานผิวหน้าของเขื่อนหรือลาดคันดิน เช่น การฉีดพ่นซีเมนต์หรือวัสดุอื่นๆ เช่น Haliburton, et al. (1975) ได้แนะนำการป้องกันลาดดินธรรมชาติโดยการฉีดพ่นน้ำโคลนปูนขาว (Lime Slurry)

2.9.1.3 การปลูกพืชคลุมดิน วิธีนี้ไม่สามารถป้องกันการกัดเซาะรูโพรง เนื่องการใช้ดินกระจายตัวในการก่อสร้างได้ สำหรับวิธีนี้สามารถคลุมได้เฉพาะผิวหน้าของดิน เนื่องจากปัญหาการชะล้าง (Sherad, et al. (1977))

2.9.2 การใช้วัสดุในการดักจับอนุภาคของดินกระจายตัว โดยการใช้ทรายกรอง

Sherard, et al. (1977) ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าเมื่อมีการเลือกขนาดคละของทรายชั้นกรองที่เหมาะสม สามารถที่จะป้องกันการกัดเซาะและการรั่วซึมเนื่องจากดินกระจายตัวได้ จากสังเกตการทำงานของทรายชั้นกรอง โดยทรายชั้นจะทำหน้าที่กรองอนุภาคของเม็ดดินระหว่าง 0.002 – 0.005 มิลลิเมตร ที่เกิดจากการกัดเซาะของดินกระจายตัวฟุ้งกระจายตัวมากับน้ำ ซึ่งสามารถป้องกันการกัดเซาะเป็นรูโพรงได้

Bordeaux, et al. (1975) ได้มีการป้องกันดินกระจายตัวของเขื่อน Sobradiuho ในประเทศบราซิล โดยการใช้ทรายชั้นกรอง โดยมีการคัดเลือกขนาดคละของชั้นกรองที่เหมาะสม ผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับของ Sherard, et al.

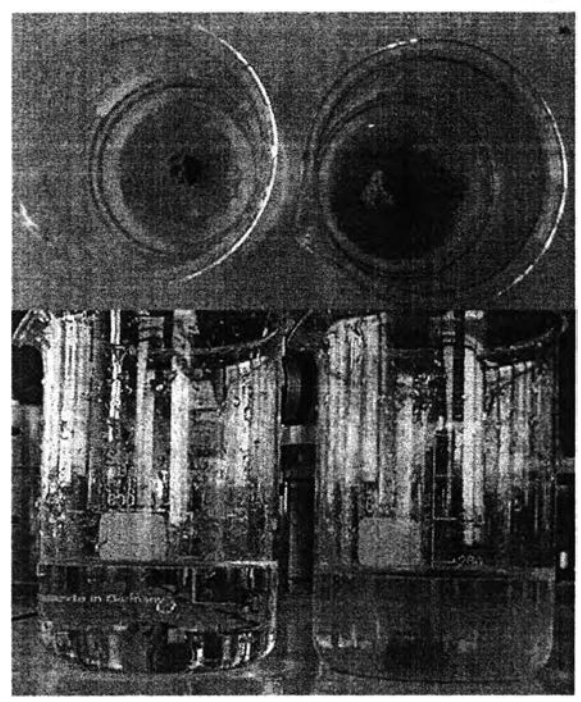
2.10 การทดสอบดินกระจายตัวและหลักการวิเคราะห์

2.10.1 Crumb Test

เป็นการทดสอบการกระจายตัวของดิน ตามมาตรฐาน ASTM D6572 (Test Methods for Determining Dispersive Characteristics of Clayey Soils by the Crumb Test) ซึ่งสามารถทำได้ง่าย และรวดเร็ว เหมาะสำหรับทดสอบการกระจายตัวของดินในสนามในการหาขอบเขตพื้นที่ดินกระจายตัว(Dispersive Area)โดยการนำวัตถุ(ดิน)มาแช่น้ำและสังเกตการเปลี่ยนแปลง เช่นความขุ่นอันเนื่องมาจากการค่อยๆกระจายตัวของอนุภาคเม็ดดินโดยมีการทดสอบดังนี้

1.ใช้ชิ้นส่วนเล็กๆ ของดินแห้ง (Air Dry) ขนาดประมาณ 6-10 มิลลิเมตร ลงไปในบิกเกอร์ใสบรรจุน้ำหรือน้ำกลั่นประมาณ 200 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 2.4 ได้แสดงให้เห็นตัวอย่างดินที่อยู่ด้านซ้ายเป็นดินตัวอย่างที่เริ่มทดสอบและด้านขวามือเป็นดินตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10 นาที

2.สังเกตความเปลี่ยนแปลงของดินหลังจากแช่น้ำเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5-10 นาที จากนั้นสามารถตรวจสอบผลการทดสอบโดยแบ่งได้เป็น 4 Grade ตามตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.4 การทดสอบหาคุณสมบัติการกระจายตัวโดยวิธี Crumb Test

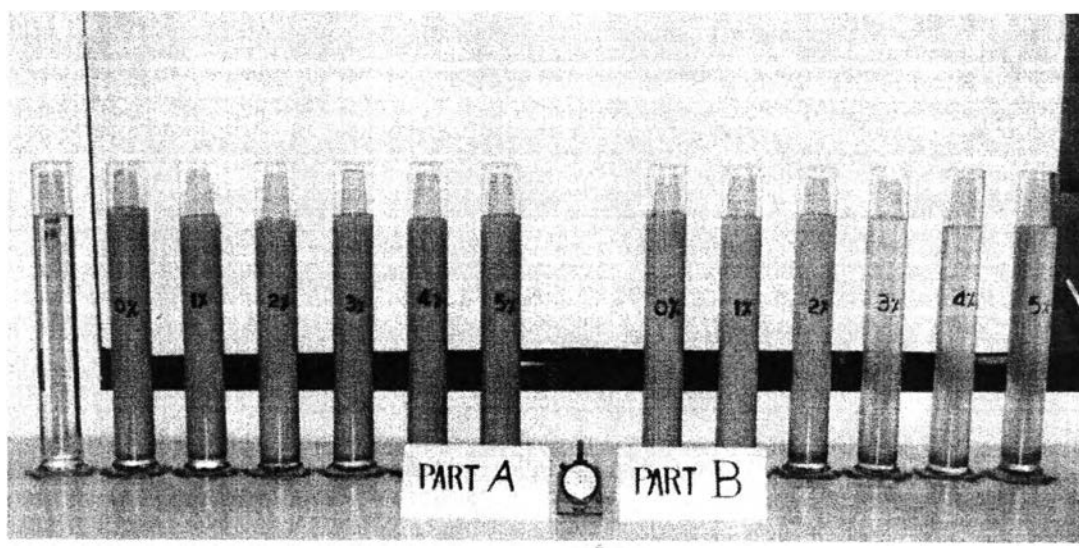
ตารางที่ 2.1 การจำแนกดินกระจายตัวโดยการทดสอบแบบ Crumb Test

ผลการทดสอบ	ลักษณะของดินตัวอย่างที่สังเกตได้หลังจากแช่น้ำ
Grade 1	ไม่เกิดปฏิกิริยา ไม่มีความขุ่นเกิดในน้ำเลย จัดเป็น ดินไม่กระจายตัว (Non -Dispersive)
Grade 2	มีปฏิกิริยาเล็กน้อย มีความขุ่นเกิดขึ้นในน้ำเล็กน้อย จัดเป็น ดินกระจายตัวเล็กน้อย
Grade 3	มีปฏิกิริยาพอประมาณ มีความขุ่นเกิดขึ้นในน้ำสังเกตเห็นได้ง่าย จัดเป็น ดินกระจายตัวมากขึ้น
Grade 4	มีปฏิกิริยาอย่างมาก มีความขุ่นเกิดขึ้นสังเกตเห็นได้ชัดเจน จัดเป็น ดินกระจายตัวอย่างมาก

2.10.2 Double Hydrometer Test (DHT)

เป็นการทดสอบหา Degree of Dispersion โดยใช้วิธี Standard Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer (ASTM D 4221) เพื่อประเมินหาค่าความไวต่อการกัดเซาะ (Erosion) โดยดูจากขนาดของอนุภาคดินที่กระจายตัวซึ่งวัดได้ด้วยไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีเดียวกับ Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soil (ASTM D 422)โดยทำการทดสอบหาร้อยละของเม็ดดินที่มีขนาด 0.005 มิลลิเมตรลงไป ของตัวอย่างดินในส่วนที่กระจายตัวอยู่ในน้ำซึ่งผสมสารเร่งการกระจายตัว(Part A) โดยสารเคมีที่ใช้เป็นสารDispersing Agent (Sodium Hexametaphosphate,$NaPO_3$)ที่ผ่านการทำให้กระจายตัวเต็มแล้ว เปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่กระจายตัวอยู่ในน้ำกลั่นอย่างเดียว(Part B) ตามภาพที่ 2.5โดยสามารถคำนวณหาค่า Degree of Dispersion ได้จากสูตรด้านล่าง และสามารถแบ่งจำแนกคุณสมบัติการกระจายตัวได้จากตารางที่ 2.2 ซึ่งดูจากค่า ร้อยละ Degree of Dispersion

$$\text{Degree of Dispersion (\%)} = \frac{\text{ร้อยละของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.005 ม.ม. ของดินกระจายตัวอยู่ในน้ำ}}{\text{ร้อยละของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 0.005 ม.ม.ของดินที่กระจายตัวอยู่ในน้ำเติมสารเคมี}}$$



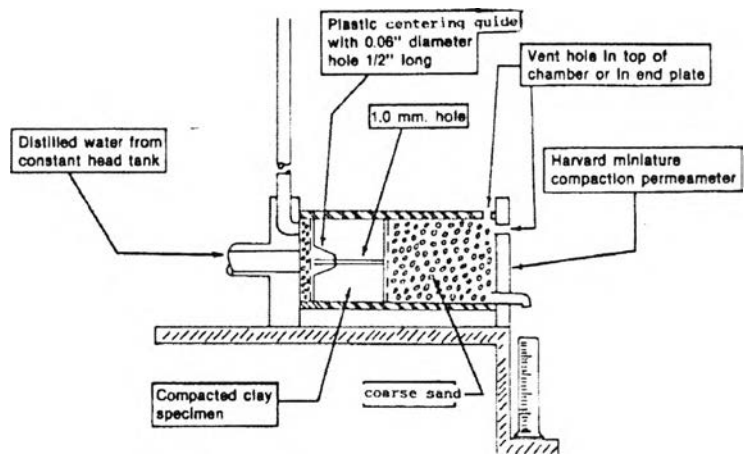
รูปที่ 2.5 การทดสอบ Double Hydrometer Test โดย Part A ผสมสารเร่งการกระจายตัวและ Part B ผสมน้ำกลั่น

ตารางที่ 2.2 การแบ่งแยกชนิดของดินกระจายตัวโดยวิธี Double Hydrometer

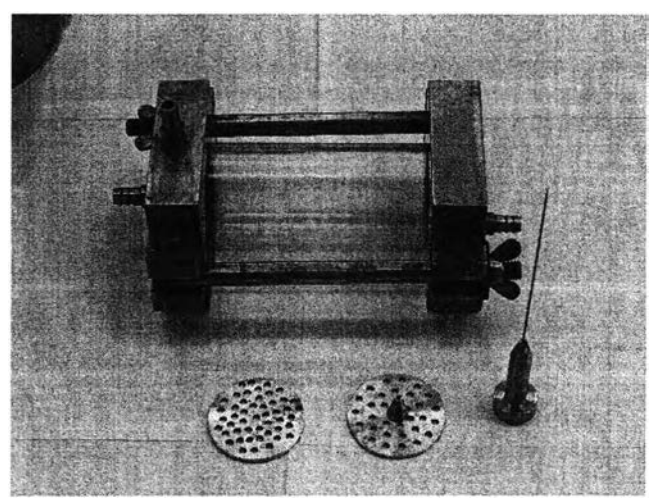
Degree of Dispersion (%)	การแบ่งแยกระดับการกระจายตัว
น้อยกว่า 35	Non Dispersion ไม่มีการกระจายตัว
35 – 50	Moderately Dispersion การกระจายตัวปานกลาง
51 –75	High Dispersive Potential กระจายตัวสูง
มากกว่า 75	Extremely Dispersive กระจายตัวอย่างรุนแรง

2.10.3 Pinhole Test

เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4647 (Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soil by the Pinhole Test) เพื่อประเมินค่า Piping erosion โดยทดลองให้น้ำผ่านตัวอย่างดินที่มีความชื้นใกล้เคียงกับค่าขีดจำกัด ซึ่งได้บดอัดให้แน่นในแบบ(Mold) แล้วเจาะรูเล็กๆขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นทำการปล่อยให้น้ำไหลผ่านรูเจาะในระดับความสูงของระดับน้ำที่ระดับความสูงต่างๆ โดยได้แสดงตัวอย่างของเครื่องมือทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4647 ในรูปที่ 2.6 และในรูปที่ 2.7 เป็นเครื่องมือทดสอบ โดยในการทดสอบจะสังเกตการกระจายตัวของดินได้โดยสังเกตสีของน้ำที่ไหลผ่านออกมา การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านออกมา และสังเกตลักษณะของรูที่เจาะไว้ภายหลังจากน้ำผ่านไปแล้ว เมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยการประเมินผลการทดสอบและแยกประเภทของดิน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 ลักษณะอุปกรณ์ทดสอบ Pinhole Test ตามมาตรฐาน ASTM D4647



รูปที่ 2.7 ลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Pinhole Test

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 การประเมินผลการทดสอบ Pinhole Test

Dispersive Classification	Head mm	Test Time min	Final Flow Rate mL/s	Cloudiness of Flow at end of Test		Hole Size mm
				From Side	From Top	
D1	50	5	1.0-1.4	Dark	Very Dark	>=2.0
D2	50	10	1.0-1.4	Moderately Dark	Dark	>1.5
ND4	50	10	0.8-1.0	Slightly Dark	Moderately Dark	<=1.5
ND3	180	5	1.4-2.7	Barely Visible	Slightly Dark	>=1.5
	380	5	1.8-3.2			
ND2	1020	5	>3.0	Clear	Barely	<1.5
ND1	1020	5	<=3.0	Perfectly Clear	Perfectly Clear	1.0

ตารางที่ 2.4 การแยกประเภทของดิน Pinhole Test

Classification of Individual Test Result	Classification of Soil
D1 และ D2	Dispersive Soil : ดินถูกกัดเซาะอย่างรุนแรงที่ระดับน้ำ 50 มิลลิเมตร
ND 4 และ ND3	Intermediate Soil : ดินถูกกัดเซาะอย่างช้าๆที่ระดับน้ำ 180 – 380 มิลลิเมตร
ND2 และ ND1	Non Dispersive Soil : ดินไม่ถูกกัดเซาะแม้ว่าจะผ่านน้ำระดับ 1020 มิลลิเมตร

2.10.5 การทดลองทางเคมี

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณเกลือละลาย Ca , Mg , Na และ K แล้วนำมาคำนวณหาค่าของร้อยละ Na ต่อ ปริมาณเกลือละลายทั้งหมดจากสูตรข้างล่าง นอกจากนี้ยังตรวจหาค่าอัตราการดูดซับโซเดียม (Sodium Adsorption Ratio , SAR) ร้อยละการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโซเดียม (Exchangeable Sodium Percentage , ESP) ความเป็นกรด – ด่างของดิน (PH) และค่าความนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity of Saturation Extract ,$E_C \times 10^3$)

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \times 100$$

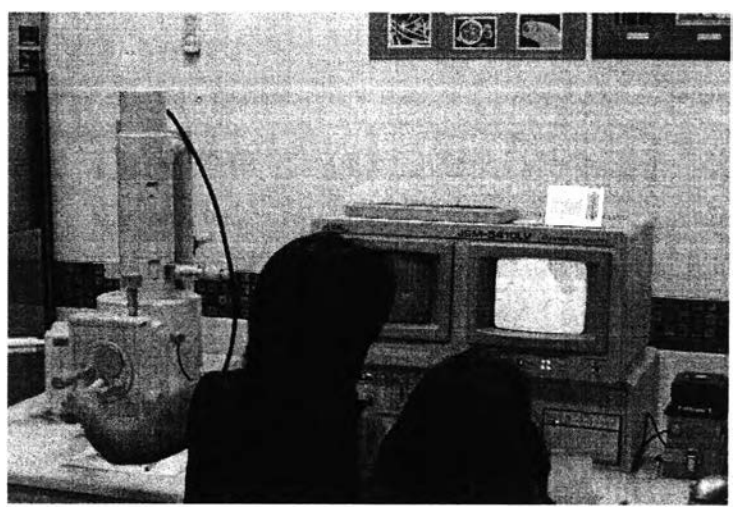
ผลการวิเคราะห์จาก % Na แบ่งเป็น Zone ดังนี้

1. Zone A ดินกระจายตัว % Na > 60%
2. Zone B ดินไม่กระจายตัว % Na <40%
3. Zone C ดินอยู่ในช่วงกระจายตัว หรือไม่กระจายตัว ก็ได้ %Na = 40 - 60%

2.10.6 การวิเคราะห์โครงสร้างของดินระดับจุลภาค

2.10.6.1 หลักการทำงานของกล้อง Scan Electron Microscope (SEM)

กล้องSEMเป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ประเภทกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างชิ้นงาน (specimen) ที่ต้องการตรวจสอบให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิว ปรากฏเป็นภาพที่สามารถมองเห็นได้ หรืออาจบันทึกภาพที่ปรากฏบนฟิล์มได้ ซึ่งมีประโยชน์การตรวจสอบรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวเพราะความสามารถของอุปกรณ์ที่ให้ภาพที่มีความละเอียดสูงสามารถแยกรายละเอียดในระดับที่กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาไม่สามารถที่จะแยกได้ในภาพที่ 2.8 แสดงให้เห็นขณะการทำการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scan Electron Microscope, SEM)

2.10.6.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน(SEM) ทั่วไปประกอบด้วยโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน โครงสร้างหลักที่เห็นได้ชัดแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีลักษณะคล้ายปล่องภายในกลวง เรียกว่า column และส่วนที่เป็นตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมด เรียกว่า console unit ซึ่งนอกจากโครงสร้างหลักที่ไม่ว่า SEM แบบหรือรุ่นใดขาดไม่ได้แล้วยังมีส่วนประกอบพื้นฐานอื่นๆที่จำเป็นสำหรับระบบการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.9 ซึ่งมีรายละเอียดอื่นๆอีกดังนี้

1. ปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน อยู่ด้านปลายบนสุดของ column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Cable) ประกอบด้วยลวดโลหะทังสเตนที่บิดเป็นรูปตัววี (V) เรียกว่า Filament และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้ามาสู่ Filament ลวดตัววีดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูง ประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจายออกมา ในสภาวะสุญญากาศภายใน Column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยขั้วบวก (Anode Plate) ที่อยู่ด้านล่างของปืนอิเล็กตรอน ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือลงสู่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถรวบรวมประจุอิเล็กตรองที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงไปบนตัวอย่างชิ้นงาน

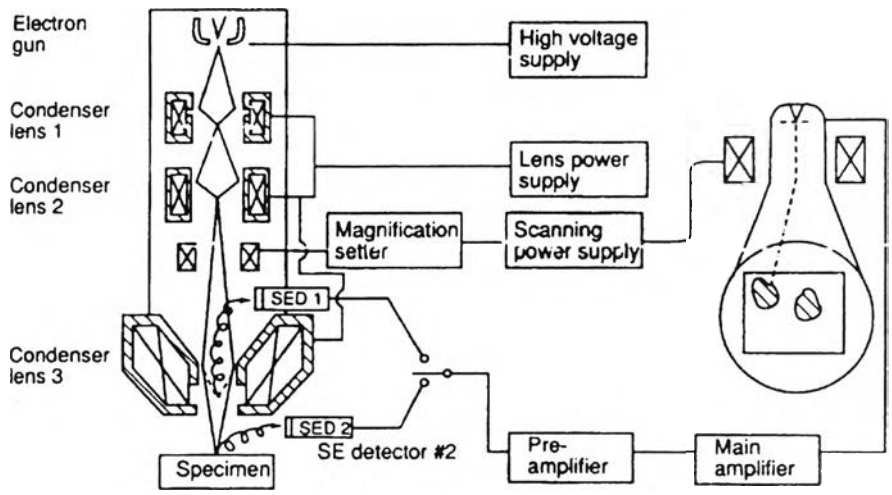
2.เลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Lens) และขอลวดควบคุมการเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน (Scan Coil) เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกัน ทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary Electron) ให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบบนผิวตัวอย่างชิ้นงานและพร้อมกันนั้นก็ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนที่ไปบนผิวตัวอย่างชิ้นงานในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3. ช่องใส่ตัวอย่างชิ้นงาน (Specimen Chamber) เป็นช่องว่างใต้เลนส์ชุดสุดท้าย ซึ่งเป็นช่องว่างสุญญากาศกว้างพอที่จะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบ หรือรวบรวมสัญญาณต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับผิวของตัวอย่างชิ้นงาน

4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & Scintillate)เป็นแท่งแก้วใส มีปลายมนทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียม และส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวก ขนาด 30 - 250 โวลต์(Volts)เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron)อันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่างชินงาน อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณชนิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิอยู่ภายในช่องใส่ตัวอย่างชิ้นงานได้ Column และได้จัดวางไว้ให้ทำมุมกับฐานวางตัวอย่างชิ้นงานเพื่อรวบรวมประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

5.อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging & Photographic Devices) ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับให้เป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอ CRT (Cathode Ray Tube) ก็พร้อมที่จะถูกบันทึกไว้ด้วยกล้องถ่ายภาพการสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิถูกจับและรวบรวมไว้แล้วถูกนำสู่แท่งแก้วใสประเภทท่อนำแสง (Light Pipe)ในลักษณะของแสงโปรตอน(Photon)แสงที่ส่งผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะเคลื่อนไปสู่เครื่องทวีคูณแสง (Photo Multiplier)ซึ่งจะเปลี่ยนแสงโปรตอนนี้เป็นอิเล็กตรอนอีกครั้งต่อไป อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏอยู่ในจอภาพที่

ติดตั้งไว้บน Console Unit ลำแสงไฟฟ้าของจอภาพสามารถบันทึกไว้ได้ด้วยกล้องถ่ายภาพ ซึ่งการถ่ายภาพแบบนี้เป็นการบันทึกลำแสงเป็นเส้นที่เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาบนจอภาพ (Raster Scan) ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 1 นาทีภาพถ่ายที่ปรากฏคือการประกอบของเส้นขาวดำที่มีความสว่างและความมืดแตกต่างกันไป และฟิล์มที่ใช้บันทึกภาพนั้นเป็นฟิล์มขาวดำธรรมดา



ภาพที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

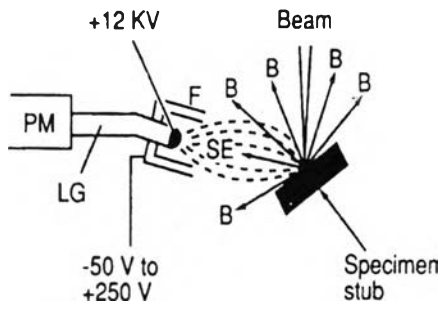
2.10.6.3 การเกิดภาพจากกล้อง SEM

กลุ่มอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ถูกรวบรวมโดยระบบเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิ(Primary Electron Beam หรือ Electron Probe) เป็นรูปทรงกระบอกมีส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-50 นาโนเมตร (Nanometer)ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมินี้จะถูกกำหนดให้ตกลงบนผิวของตัวอย่างชิ้นงาน พร้อมกับผลักดันให้เครื่องที่ไปบนผิวของตัวอย่างชิ้นงานนี้จะถูกกำหนดให้ตกลงบนผิวของตัวอย่างชิ้นงาน พร้อมกับถูกผลักดันให้เคลื่อนไปบนผิวของตัวอย่างชิ้นงานโดยขดลวดควบคุมการเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน ขณะที่ลำแสงอิเล็กตรอนกระทบผิวของตัวอย่างชิ้นงานก็จะเกิดสัญญาณออกมาหลายรูปแบบ และสัญญาเหล่านั้นจะถูกจับไว้หรือรวบรวมไว้และแปลงให้เป็นภาพซึ่งถ่ายไว้ได้

เมื่อลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับตัวอย่างชิ้นงานจะเกิดปฏิกิริยา ระหว่างอิเล็กตรอนกับผิว ตัวอย่างชิ้นงาน และทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ดังแสดงในภาพที่ 2.10 ซึ่งอิเล็กตรอนทุติยภูมิเป็นอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำเมื่อหนีออกมาจากชั้นบางๆ ของพื้นผิว (ไม่เกิน 5 นาโนเมตร) อิเล็กตรอนทุตินภูมิจะถูกจับและรวบรวมเป็นสัญญาณโดยอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ(Faraday Cage)และสัญญาณนี้จะเปลี่ยนเป็นโปรตรอนของแสงและถูกส่งผ่านท่อนำแสง (Light Guide)ไปยังตัวทวีคูณแสง

(Photo Multiplier)ซึ่งจะเปลี่ยนโปรตรอนไปเป็นอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนชุดหลังนี้จะถูกขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) ให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ในที่สุดสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นภาพระดับเท่าที่ปรากฏบนจอภาพ และพร้อมที่จะบันทึกภาพบนจอซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างค่าระดับเทาด้วยกล้องถ่ายภาพ

ภาพที่ปรากฏบนจอภาพ เป็นภาพขยายของบริเวณสี่เหลี่ยมจัตุรัสของพื้นผิวที่ลำแสงอิเล็กตรอน เคลื่อนผ่านในช่วงเวลานั้น การที่จะเพิ่มหรือลดกำลังขยายของภาพต้องควบคุมเนื้อที่ที่ลำแสงอิเล็กตรอนครอบคลุม เช่น กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิส่องกราดไปบนชิ้นงานตัวอย่างเป็นบริเวณจัตุรัสขนาดเล็ก ภาพที่ปรากฏจะเป็นภาพขยายสูงหรือในทางกลับกันหากกำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในบริเวณที่กว้าง ภาพที่ปรากฏบนจอภาพก็เป็นภาพที่มีกำลังขยายต่ำ



SE	คือ Secondary Electron
B	คือ Backscatter Electron
F	คือ Faraday Cage
LG	คือ Light Guide
PM	คือ Photo Multiplier

ภาพที่ 2.10 แสดง Secondary Electron ถูกจับโดยอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ

2.11 ปัจจัยที่ต้องควบคุมในการทดสอบ

Lin (1981) ได้กล่าวถึงการควบคุมในการทดสอบไว้ว่า นับตั้งแต่เริ่มมีการศึกษาเรื่องดินกระจายตัว มีการพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของดิน มีปัจจัยหลายอย่าง ที่มีผลกระทบต่อดินกระจายตัวและต้องตรวจสอบ ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางกลก่อนจะนำดินไปใช้ในงานก่อสร้าง วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบก็คือ Pinhole Test ในการทดสอบจะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.11.1 การเตรียมตัวอย่างดิน ดินที่จะใช้จะต้องเป็นดินแห้งในอากาศ (Air Dry) ความชื้นและการบดอัดต้องควบคุมให้ได้มาตรฐาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อการทดสอบ

2.13.2 คุณสมบัติของดินกระจายตัวที่มีผลต่อการบดอัดดิน การบดอัดดินประกอบด้วยการบดอัดด้วยความชื้น และการบดอัดที่พยายามควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อโครงสร้างของดินและอัตราส่วนช่องว่าง

2.12 เหตุผลที่มีการทดสอบดินกระจายตัว

2.12.1 ความจำเป็นในการทดสอบดินกระจายตัว

เนื่องจากเขื่อนดินและอาคารชลประทานในภาคต่างๆของประเทศไทย ได้รับความเสียหายโดยชำรุดเป็นรูโพรงและมีบางส่วนที่เขื่อนพังทะลายลงมาหลังจากเก็บกักน้ำเป็นครั้งแรก ทั้งๆที่สร้างถูกหลักทางวิศวกรรม เขื่อนที่เกิดปัญหา เช่น เขื่อนลำเชียงไกร เขื่อนลำสำลาย จ.นครราชสีมา เขื่อนอำปึล จ.สุรินทร์ เขื่อนห้วยสวาย จ.บุรีรัมย์ เป็นต้น ต่อมาได้นำดินมาตรวจสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ทางเคมี และแร่ในดินอย่างละเอียด พบว่าส่วนของดินที่พังทะลายออกมานั้นมีดินจำพวก ดินกระจายตัวผสมอยู่ด้วย และดินกระจายตัวนี้จะถูกกัดเซาะได้ง่ายจึงทำให้เกิดความเสียหายดังกล่าวไว้ข้างต้น

ด้วยเหตุนี้ในการก่อสร้างเขื่อนดินหรืออาคารชลประทานต่างๆจึงต้องมีการวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง และดินที่อยู่ภายในบริเวณก่อสร้างด้วยว่าเป็นดินกระจายตัวหรือไม่ ถ้าเป็นก็พยายามหลีกเลี่ยงที่จะไม่ใช้ดินนั้นมาก่อสร้าง ถ้ากรณีจำเป็นจริงๆที่ต้องใช้ดินกระจายตัวต้องมีการปรับปรุงดินนั้นให้เป็นดินไม่กระจายตัว (Non–Dispersive Clay) เสียก่อนก่อนนำมาใช้ การก่อสร้างที่ดีและการบำรุงรักษาที่ดีโดยดินที่ใช้ต้องไม่เกิดการกระจายตัวจะทำให้อายุการใช้งานของเขื่อนยาวนานขึ้น และเป็นการประหยัดงบประมาณของประเทศด้วย

2.12.2 ความจำเป็นในการทดสอบดินกระจายตัวหลายๆวิธีพร้อมกัน

การทดสอบดินกระจายตัวนั้นมีการทดสอบอยู่หลายวิธีในการทดสอบการกระจายตัวของดินไม่ควรเลือกทดสอบวิธีใดวิธีหนึ่ง ถึงแม้วิธีนั้นจะถูกต้องที่สุดและมีผู้นิยมใช้มากที่สุดก็ตามเพราะการทดสอบเพียงวิธีใดวิธีหนึ่งนั้นจะไม่เป็นการยืนยันได้ว่าดินนั้นกระจายตัวหรือไม่ เช่น ดินบางแห่งอาจจะมีค่า Degree of Dispersive สูงเกินร้อยละ 67 ขึ้นไป โดยการทดสอบด้วยวิธี Double Hydrometer Test แสดงว่ามีปริมาณโซเดียมสูงน่าจะเป็นดินกระจายตัวได้ แต่เมื่อนำมาทดลองบดอัดให้แน่นในmoldและผ่านเข้าไปในรูที่เจาะตามกรรมวิธีของการทดสอบด้วยวิธี Pinhole Test พบว่าดินที่ทดสอบนั้นไม่ถูกกัดเซาะด้วยน้ำเลย และผลการทดสอบได้ผลเป็น ND1 (Non – Dispersive)ซึ่งแสดงว่าเป็นดินไม่เกิดการกระจายตัว จากการทดสอบทั้ง 2 วิธีแล้วให้ผลการวิเคราะห์ออกมาแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการทดสอบการกระจายตัวของดินจึงไม่ควรที่จะทดสอบเพียงวิธีเดียว ดังนั้นจึงควรทดสอบหาการกระจายตัวของดินโดยหลายๆวิธีรวมทั้งมีการตรวจสอบโครงสร้างและแร่ในดิน จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์อีกที

การนำผลการทดสอบโดยวิธีใดวิธีหนึ่งมาสรุปและวิเคราะห์นั้นอาจทำให้ผิดพลาดได้ เช่นการวิเคราะห์ดินแห่งหนึ่งโดยวิธี Pinhole Test ทดสอบได้ผลเป็น D1 (Dispersive Clay) ซึ่งแสดงว่าเป็นดินที่เกิดการกระจายตัวอย่างรุนแรง แต่เมื่อดูค่า Grain Size Distribution พบว่า

ปริมาณClay ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.005 มิลิเมตร น้อยกว่าร้อยละ 12 ซึ่ง Sherard, et al. (1977) ได้กล่าวไว้ว่าดินที่มีปริมาณ ดินเหนียว (Clay) ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.005 มิลลิเมตร น้อยกว่าร้อยละ 12 หรือมีค่า Plasticity Index น้อยกว่า 4 ถ้ามีความเสียหายเกิดขึ้นน่าจะมีสาเหตุมาจากสาเหตุอื่น เพราะดินมีปริมาณ ดินเหนียว (Clay) ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.005 มิลลิเมตร น้อยมาก (การกระจายตัวของดินเกิดขึ้นเฉพาะในส่วนของ Clay fraction เท่านั้น) ซึ่งการที่ดินเกิดการกัดเซาะ (erosion) มากเมื่อน้ำไหลผ่านอาจเนื่องมาจากดินเป็นทรายมาก จึงขาดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคทำให้เกิดความเสียหายเป็นโพรงได้ ไม่ใช่เพราะดินเป็นดินกระจายตัว ดังนั้นจึงควรการวิเคราะห์ในหลายๆด้ายประกอบกันทั้งทางด้าน ฟิสิกส์ เคมี และแร่ธาตุ ประกอบกันเพื่อให้การพิจารณาถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2.13 การใช้สารปรับปรุงคุณภาพ (Stabilizing Agent) เพื่อปรับปรุงแก้ไขดินกระจายตัว

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การกระจายตัวของดินมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการที่ดินนั้นมีปริมาณเกลือละลายโซเดียมเป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเกลือละลายชนิดอื่นๆทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงแก้ไขก็คือการลดปริมาณโซเดียมโดยใช้ไอออนที่มีประจุบวกชนิดอื่นเข้าไปแทนที่ในปฏิกิริยาทางเคมี สารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ปูนขาว (Hydrated Lime) ($Ca(OH)_2$) , โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) , เกลือแกง , เถ้าลอย (Fly Ash) , ยิปซัม ($CaSO_4.2H_2O$) , Aluminum Sulfate ($Al_2(SO_4)_3$) และ ซีเมนต์ เป็นต้น

2.13.1 ปูนขาว

ปูนขาว หมายถึง แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) พวกออกไซด์ที่มีชื่อทางอุตสาหกรรมว่าปูนขาวธรรมดา (Quick Lime) ส่วนพวกไฮดรอกไซด์มีชื่อทางอุตสาหกรรมว่าปูนขาวไฮเดรต (Hydrated Lime) หรือสเลกไลม์ ปูนขาวที่มีซิลิกา และอลูมินามากพอเรียกว่าปูนขาวไฮดรอลิก (Hydraulic Lime)

ปูนขาวที่ใช้ในการปรับดินกระจายตัวให้เป็น ดินไม่กระจายตัว (Non – Dispersive) ใช้ Hydrated Lime ($Ca(OH)_2$) ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูง เป็นผงละเอียด แห้ง มีคุณสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีซึ่งทดลองได้ตาม มอก.241 – 2520 หรือวิเคราะห์ตาม ASTM C - 25 ตามสภาพของปูนขาวที่ได้รับ โดยมีแคลเซียมออกไซด์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 ซึ่งข้อกำหนดนี้ได้กำหนดไว้ตามความเหมาะสมสำหรับสภาพการผลิตวัสดุในเมืองไทยเท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้มาตรฐานสูงเท่ากับประเทศอื่นๆ ที่ได้มีการค้นคว้าทดลองมาก่อน เช่น ใน สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เนื่องจากยังไม่สามารถหาซื้อปูนขาวคุณภาพสูงให้มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ได้ถึงร้อยละ 90 และละเอียดมากพอที่จะผ่านตะแกรง เบอร์ 200 ได้ถึงร้อยละ 70 อันจะทำให้ปูนขาวคุณภาพสูง และทำปฏิกิริยาเข้ากับดินได้เป็นเนื้อเดียว

2.13.1.1 ประเภทของปูนขาว

1 Quick lime

จะประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) อยู่มากและแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ประกอบอยู่บ้างเล็กน้อย Quick lime สามารถแตกตัวในน้ำได้ จำแนกเป็น High Calcium Lime เมื่อมีแคลเซียมออกไซด์มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากมีแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ หรือ CaO น้อยกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ เรียก High Magnesium Lime

วิธีการผลิตปูนขาวแบบ Quick Lime คือ การเผาหินปูน เพื่อขจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีอยู่ในดินซึ่งเป็นวัตถุดิบ ให้เหลือแต่แคลเซียมออกไซด์ตามสมการเคมีข้างล่างนี้

$$21\,KCal + CaCO_3 \xrightarrow{1650^\circ F} CaO + CO_2$$

จากสมการเคมีข้างต้นจะเห็นว่าต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1650°F (900°C) หินปูนจึงจะแตกตัวออกเป็นแคลเซียมออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่บางครั้งอาจต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 2000°F (1100°C) จึงจะทำให้วัตถุดิบประเภท Calcite Limestone แตกตัวดังกล่าวได้

ส่วน Dolomite Quicklime ได้จากการเผา Dolomite Limestone ที่อุณหภูมิ 1350°F (750°C) ซึ่งได้แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่อาจใช้อุณหภูมิสูงถึง 2000°F (1100°C) เพื่อให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สมบูรณ์เป็นตามสมการเคมีข้างล่างนี้

$$CaMg(CO_3)_2 \xrightarrow{1350^\circ F} MgO + CaCO_3 + CO_2$$

$$MgO + CaCo_3 \xrightarrow{2000^\circ F} MgO + CaO + CO_2$$

2 Hydrated Lime

เมื่อนำเอา Quick Lime ซึ่งอยู่ในลักษณะของผงแห้งมาผสมน้ำอย่างเพียงพอจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในสภาวะของ Hydration พวก High Calcium Quick Lime เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะได้แคลเซียมไดออกไซด์ [$Ca(OH)_2$] ปฏิกิริยา Hydration ของ Dolomite Quick lime ภายใต้ความดันบรรยากาศจะได้ Hydrated Lime Type N อันประกอบด้วย $Ca(OH)_2$ + MgO เรียกว่า Normal Hydrated หรือ Monohydrated Dolomite Lime ปฏิกิริยา Hydration ของแมกนีเซียมออกไซด์ภายใต้ความดันจะทำให้เกิด Hydrated Lime Type S ประกอบด้วย $Mg(OH)_2$ + $Ca(OH)_2$ เรียกว่า Pressure Hydrated หรือ Dehydrated Dolomite Lime

3 Hydraulic Limes

ปูนขาวชนิดนี้เป็นไปได้ทั้ง Calcite หรือ Dolomite Lime จัดอยู่กึ่งกลางระหว่างปูนขาวชนิดธรรมดากับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ถ้าหินปูนที่ใช้ผลิตปูนขาวมีดินเหนียวปนอยู่น้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ปูนขาวนั้นจะจำแนกเป็น Semi-Hydraulic Lime ถ้ามีปริมาณดินเหนียวมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ จะจำแนกเป็น Hydraulic Lime สำหรับ High Calcium Hydrated Lime จะประกอบด้วยแมกนีเซียม

ออกไซด์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน High Hydraulic Hydrated Lime จะประกอบด้วยแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

2.13.1.2 ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น เมื่อผสมปูนขาวลงในดินเหนียวที่มีความชื้นนั้นมี 4 ลักษณะ คือ

1 Cation Exchange

เมื่อนำปูนขาวมาคลุกเคล้าให้เข้ากับดินเหนียวเปียก จะเกิดการแทนที่หรือแลกเปลี่ยนกันของไอออนบวก (Cation) ต่างๆ ที่มีอยู่ในดินกับแคลเซียม โดยไอออนบวกของแคลเซียมจะเข้าไปแทนที่ไอออนของธาตุโลหะในดิน เช่น Na^{+}, H^{+} ซึ่งปฏิกิริยานี่จะเกิดขึ้นที่ผิวของเม็ดดิน (Clay Particle Surface) ลำดับขั้นโดยทั่วไปของความสามารถในการแลกประจุของไอออนบวกต่างๆ ที่มีอยู่ในดิน ซึ่งกำหนดขึ้นมาโดย Lyotropic Series มีดังนี้ คือ $Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^{+} > Na^{+}$ การเพิ่มปูนขาวในดิน ทำให้เกิด Ca^{2+} จำนวนมาก จึงทำให้เกิดการจับตัวกันระหว่างไอออนบวกของแคลเซียมที่ผิวของเม็ดดิน โดยที่ไอออนบวกเหล่านี้จะเชื่อมประสานโยงใยกันจนปกคลุมเม็ดดิน ทำให้ไอออนอื่นๆ ที่อยู่ที่ผิวของเม็ดดินเคลื่อนที่ห่างออกไปพร้อมๆ กับน้ำที่อยู่ในชั้นคู่น้ำ ทำให้เม็ดดินเข้าใกล้กันและน้ำภายในเม็ดดินลดน้อยลง

2 Flocculation and Agglomeration

การเกิด Flocculation นั้นจะทำให้ขนาดของเม็ดดินโตขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของเม็ดดินเหนียวส่วนมากเป็นแผ่นบางๆ (Platy Structure) ซึ่งเมื่อเข้าใกล้กันอย่างอิสระ จะวางตัวในลักษณะของ Random Arrangement ทำให้เกิดเป็นมุมหรือเหลี่ยมซึ่งจะเป็นผลดีต่อการต้านทานแรงกระทำจากแรงภายนอก การที่ขนาดของเม็ดดินโตขึ้นเนื่องจากเมื่อเติมปูนขาวลงไป ทำให้ Ca^{2+} ของน้ำในช่องว่างของมวลดินมีความเข้มข้นของอิออนสูงขึ้น ดังนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange) ของแร่ดินเหนียว ซึ่งจะทำให้วงน้ำในชั้นคู่น้ำหดตัวแคบเข้า และจะเกิดการดึงดูดกันเป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculation structure) ทำให้ได้สารใหม่ คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และผลักให้ ไดเฟอรัสไตรออกไซด์ (Fe_2O_3) , ไดอลูมิเนียมไตรออกไซด์ (Al_2O_3) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เคลื่อนที่ห่างออกไปจากเม็ดดิน จากนั้นเม็ดดินก็จะเกิดประจุไฟฟ้าที่มีแรงดึงดูดให้เม็ดดินเคลื่อนเข้าหากัน นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยาCation Exchange และ Flocculation Agglomeration นี้ไม่ได้เป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้กำลังของส่วนผสมดินเหนียวกับปูนขาวพัฒนาขึ้นมาก เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ จะทำให้ความเหนียวหนืดของดินเหนียวลดลง ซึ่งทำให้ดินร่วนขึ้น ดังนั้นปูนขาวจึงมีประโยชน์ที่จะนำมาใช้กับวัสดุที่มีความเป็นพลาสติกสูงๆ และดินที่มีน้ำมากๆ เช่น ดินเหนียว ซึ่งยากต่อการนำมาใช้งานเพราะบดอัดลำบาก ซึ่งหากนำมาผสมกับปูนขาวจะทำให้บดอัดง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ปูนขาวในการลดค่าดัชนีความเหนียวของดินก่อนที่จะปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์หรือแอสฟัลท์ได้อีกด้วย

3 Lime Carbonation

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปูนขาวกับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ แล้วเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) กับน้ำซึ่งเป็นตัวประสานอย่างอ่อนๆ โดยที่เกิดสารประกอบคาร์บอเนตชนิดใดนั้นขึ้นกับชนิดของปูนขาวที่ใช้ดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นนี้เป็นกระบวนการที่สวนทางกับปฏิกิริยาเคมีอื่นๆเพราะแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นจะหน่วงการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่จะทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(CSH) ให้ช้าลงอันเป็นผลให้การพัฒนากำลังรับแรงอัดของดินเหนียวผสมปูนขาวช้าลงกว่าปกติได้ ดังนั้นจึงต้องเก็บปูนขาวให้มิดชิดก่อนนำไปใช้งาน และนอกจากนี้ยังพบว่าในตัวอย่างของดินผสมปูนขาวที่ป้องกันไม่ให้ปูนขาวเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นกับอากาศนั้น เมื่อระยะเวลาในการบ่มนานๆ จะให้กำลังสูงกว่าตัวอย่างดินที่บ่มแล้วปล่อยให้ปูนขาวทำปฏิกิริยากับอากาศได้

4 Pozzolanic Reactions

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปูนขาวกับซิลิกา (Soil Silica) หรืออลูมินา (Alumina) เพื่อก่อให้เกิดสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้กำลังของส่วนผสมระหว่างดินกับปูนขาวเพิ่มมากขึ้น ส่วนหนึ่งของปฏิกิริยานี้ยังส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) สูงขึ้นอันเป็นผลมาจากปูนขาว และที่สภาวะของค่าความเป็นกรดด่างที่สูงๆ นี้ ซิลิกาและอลูมินาที่สลายตัวออกมาจากโครงสร้างของอนุภาคดินเหนียว จะมาทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} แล้วเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นผลึกของ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และ แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ดังสมการ

$$Ca^{2+}\ 2(OH)^- + SiO_2 \longrightarrow CSH$$

$$Ca^{2+}\ 2(OH)^- + Al_2O_3 \longrightarrow CAH$$

ปฏิกิริยาอลูมิเนต โดยพื้นฐานแล้วจะเกิดขึ้นทันที และจะเกิดที่จุดต่อระหว่างขอบและผิวหน้าของดินเดิม สำหรับสารประกอบซิลิเกตจะเกิดปฏิกิริยาที่ช้ากว่าแรงยึดเกาะ ซึ่งเกิดจากสารประกอบอลูมิเนต จะไม่มีความแข็งแรงเหมือนกับแรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ของสารประกอบซิลิเกต

2.13.2 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, NaCl)

โซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง เป็นสารเคมีราคาถูกที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินกระจายตัวได้ เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวส่วนใหญ่มักจะมีประจุบนผิวไม่สมดุลกัน (Unbalanced Change) จึงทำให้เกิดการดึงดูดระหว่างอนุภาคดิน และของเหลวที่อยู่รอบๆ โซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงไปจะทำให้ความเข้มข้นของโซเดียม Cation เพิ่มมากขึ้น ประจุลบที่

ผิวของอนุภาคดินจะดึงดูดกับประจุลบที่ Na^+ ผลคือ อนุภาคดินนั้นจะรวมตัวกัน (Flocculate) หยุดการกระจายตัว

ข้อดีของโซเดียมคลอไรด์คือช่วยในการบดอัดดิน ทำให้ดินมีความหนาแน่น เวลาใช้ก็ง่าย คือละลายน้ำแล้วพ่นให้เป็นฝอย ข้อเสียคือ โซเดียมคลอไรด์ละลายน้ำได้ดี จะถูกชะล้างไปโดยฝนถึงแม้ว่าการปรับปรุงโดยใช้โซเดียมคลอไรด์จะราคาถูก แต่อาจจะต้องทำบ่อยๆ เหมาะสำหรับในประเทศที่มีอากาศหนาวและไม่มีฝน โซเดียมคลอไรด์จะลดจุดเยือกแข็งและเพิ่มจุดเดือดของน้ำทำให้ด้านทานต่อการแข็งตัวได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสารปรับปรุงคุณภาพที่ราคาถูกแต่ใช้ได้ผลดี เพราะจะถูกชะล้างออกจากดินได้น้อย

2.13.3 ยิปซัม ($CaSO_4.H_2O$)

เป็นสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงดินกระจายตัวได้ สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (Coefficient of Permeability) จะลดลง กำลังอัด (Compressive Strength) ของ Stabilized Soil จะสูงขึ้น เมื่อปรับปรุงดินด้วยยิปซัม แล้วบ่มไว้ประมาณ 1-4 สัปดาห์

Sherard, et al.(1976) ได้ทดลองใช้ยิปซัมผสมกับสารประกอบแคลเซียมซึ่งละลายได้ และกล่าวว่าปริมาณโซเดียมในดินค่อยๆลดลง ทำให้ดินลดการกระจายตัวลงได้แต่ราคาแพงกว่าปูนขาว

2.13.4 อลูมีเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$)

ใช้เป็น Additive สำหรับควบคุมการกระจายตัวของดินเช่นเดียวกัน และทำให้ดินเหนียวขึ้น (More Plastic) ด้วยร้อยละ 0.5 ของอลูมีเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) ผสมกับดิน จะทำให้กำลังรับแรง ของดินดีขึ้น การเพิ่มอลูมีเนียม อิออน จะทำให้ร้อยละโซเดียม ไอออนลดลง ราคาแพงกว่าปูนขาวเช่นเดียวกัน

2.13.5 เถ้าลอย (Fly Ash)

การเผาไหม้ของ หินปูน ในถ่านหินจะได้ สาร Pozzolan ออกมาด้วย แต่อาจจะไม่ค่อยบริสุทธิ์ เนื่องจากมีคาร์บอนเหลืออยู่ และอาจเป็นอันตรายต่อการเกิดไฟไหม้ได้ ซึ่งคุณภาพของ เถ้าลอย (Fly Ash) นี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการเผาไหม้ อนุภาคของคาร์บอนจะทำให้อนุภาคของ Pozzolan เจือจางลง แต่จะเพิ่มความต้องการน้ำ และลด Maximum Dry Density ของ Stabilized Soil คุณภาพของเถ้าลอย (Fly Ash) ขึ้นอยู่กับขนาดของ Grain Size ถ้ายิ่งละเอียดจะใช้ได้ผลดี ควรบดให้ละเอียดก่อนใช้ ซึ่งก็จะทำให้ราคาแพงขึ้น ข้อควรระวังในการใช้ เถ้าลอย (Fly Ash) ปรับปรุงดินคือ ในการบดอัดจะต้องระวัง เพราะอนุภาคเถ้าลอย (Fly Ash) มีประจุ ไฟฟ้า ควรจะต้องหาเทคนิคที่เหมาะสมในการบดอัดดินด้วย

2.13.5.1 คุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีและส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอยจะแตกต่างกันมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านหินที่ใช้ความละเอียดของถ่านหินที่บด ณ อุณหภูมิและความร้อนที่ได้จากการเผาสภาพของการเกิดOxidation การPretreatment

ระหว่างหรือก่อนการเผาไหม้ในการกำจัด SO_2 และระบบในการดักจับและเก็บเถ้าลอย ดังนั้นคุณภาพของเถ้าลอยจึงผันแปรไปตามโรงไฟฟ้าแต่ละโรงทั้งนี้จะแตกต่างจากการผลิตปูนซีเมนต์ที่มีการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอน เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

ปัจจุบันมาตรฐาน ASTM กำหนดประเภทของเถ้าลอยแบบกว้าง ๆ ออกเป็น 2 ประเภท คือ Class F และ Class C ทั้งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน และปริมาณ CaO โดยเถ้าลอยจากถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) และบิทูทินัส (Bituminous) จัดเป็น Class F ในขณะที่ Class C คือเถ้าลอยจากถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub - Bituminous) และลิกไนต์ (Lignite) และพิจารณาถึงปริมาณ CaO เถ้าลอย Class F มักจะมีปริมาณ CaO น้อยว่าร้อยละ 6 ซึ่งเป็นเถ้าลอยที่มีแคลเซียมต่ำ โดยเถ้าลอยประเภทนี้จะมีคุณสมบัติเป็น Pozzolan อย่างเดียว ส่วนเถ้าลอย Class C นั้น มีปริมาณ CaO มากกว่าร้อยละ 15 และถือว่าเป็นเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมสูง เถ้าลอย Class C จะมีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน และเป็นตัวเชื่อมประสาน ดังนั้นเถ้าลอยซึ่งมีลักษณะเป็นวัสดุ Pozzolan จะมีสภาพป่นเป็นฝุ่นเมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำ CaO ส่วนที่เป็น free lime จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็น $Ca(OH)_2$ ซึ่งสารนี้จะทำปฏิกิริยาต่อไปกับ SiO_2 Al_2O_3 ในเถ้าลอย เกิดเป็นสารประกอบใหม่คือ Calcium Silicate และ Calcium Aluminates Hydrate ซึ่งมีหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) เบากว่าดินทั่วไป และคุณสมบัติเชื่อมเกาะ (Cementations) เพิ่มขึ้นตามเวลา (Age - Hardening Property) จนถึงขีดจำกัดหนึ่ง ดังสมการ

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

$$3Ca(OH)_2 + 2SiO_2 \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O$$

$$3Ca(OH)_2 + 2Al_2O_3 \longrightarrow 3CaO.2Al_2O_3.3H_2O$$

ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยในรูปของออกไซด์ ประกอบด้วย SiO_2, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, SO_3, Na_2O และK_2O คาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (Unburned Carbon) ก็เป็นส่วนประกอบที่สำคัญทางเคมี เถ้าลอยจากถ่านบิทูมินัส มี Unburned Carbon มากกว่าจากถ่านหินซับบิทูมินัส และลิกไนต์ อย่างไรก็ตาม Unburned Carbon ขึ้นอยู่กับความละเอียดของถ่านหินที่บด และอัตราการเผาไหม้ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2 - 11

ส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอย เป็นส่วนที่สำคัญที่จะบอกถึงคุณสมบัติของเถ้าลอยนั้น ๆ เถ้าลอยจะมีส่วนที่เป็นผลึกประมาณร้อยละ 15 - 45 เถ้าลอยที่มีปริมาณ CaO สูง มีแนวโน้มที่จะมีส่วนเป็นผลึกมากกว่าเถ้าลอยที่มี CaO ต่ำ คุณสมบัติในการเชื่อมประสานในเถ้าลอย คือ Anhydrite (CaSo4), C3 S, C3 A, C2S, แคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนต และ Free CaO

2.13.5.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเถ้าลอย จากห้องทดลองมีสาระสำคัญซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.13.5.2.1 ตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์ใหม่ จากถังเก็บเถ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่ได้เก็บมาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีครั้งนี้มีองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์เป็นวัสดุ Pozzolan type C ตามมาตรฐาน ASTM ตัวอย่างเถ้าลอยเหล่านี้เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลาย ซึ่งมีสภาพเป็นด่างแก่ มีค่า pH อยู่ระหว่าง 11.1 ถึง 12.0

2.13.5.2.2 เถ้าลอยใหม่ที่เก็บมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เพื่อใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการมีสภาพเป็นฝุ่น และแห้งสนิทมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 (0.074 มม.) ในปริมาณระหว่าง 73 - 92 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณน้ำปกติอยู่ในระดับ 0.3 - 0.4 เปอร์เซ็นต์เมื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับถ้ำลอย เพื่อทำปฏิกิริยาเคมีอย่างสมบูรณ์ด้วยอุปกรณ์ Vicat Apparatus โดยอาศัยเกณฑ์เช่นเดียวกับที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์พบว่าค่า Normal Consistency ของเถ้าลอย ระหว่าง 17 - 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองหา Liquid Limit หรือ ปริมาณน้ำที่จะทำให้ลอย กลายสภาพเป็นของเหลว ได้ใช้อุปกรณ์ Cone Penetrometer ตามมาตรฐาน BS 137 พบว่าค่า Liquid Limit ของเถ้าลอยอยู่ระหว่าง 17 - 25 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเถ้าลอยกับเถ้าลอยเก่าจากบ่อทิ้งเถ้าจะเห็นว่าเถ้าลอยจากบ่อทิ้งเถ้ามีเม็ดหยาบกว่าปริมาณน้ำปกติในมวลรวม ค่า Normal Consistency และค่า Liquid Limit ต่างสูงกว่าเถ้าลอย จากถังเก็บเถ้าประมาณหนึ่งเท่าตัว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเถ้าลอยจากบ่อทิ้งเถ้าได้ผสมน้ำมาบ้างเพื่อลดการฟุ้งกระจายระหว่างขนส่งไปทิ้ง ดังนั้นเถ้าลอยบางส่วนจึงเกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำและแข็งตัวจับเป็นก้อนโตขึ้นทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไปจากเดิม

2.13.5.2.3 เมื่อเถ้าลอยซึ่งเป็นฝุ่นผสมกับน้ำ จะจับก้อนแข็งตัว และมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดังแสดงไว้ในตาราง ได้แสดงคุณสมบัติของเถ้าลอยแข็งตัวที่ได้จากการบดอัดแบบมาตรฐาน แสดงทั้งคุณสมบัติของเถ้าลอยล้วนที่แข็งตัวทั้งจากการผสมเทเหลวจากการบดอัด ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการทดลองกับตัวอย่างเถ้าลอยในห้องปฏิบัติการ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลการทดลองกับตัวอย่างที่เจาะเก็บหรือตรวจวัดจากงานก่อสร้างในสนาม ผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงคุณสมบัติโดยสังเขปของเถ้าลอยแข็งตัวได้ตามตารางที่ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของเถ้าลอยลิกไนต์จากห้องปฏิบัติการ

คุณสมบัติของเถ้าลอย		เถ้าลอย	
		จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	จากบ่อทิ้งเถ้าลอย
1.คุณสมบัติทางเคมี			
pH		11.1 - 12.4	12.0
Mineral Content	,%		
SiO_2		27.6 - 34.4	28.5
Al_2O_3		19.4 – 23.4	19.4
Fe_2O_3		20.4 – 24.3	22.3
CaO		10.5 – 16.0	15.3
MgO		0.8 – 4.1	2.3
SO_3		3.5 – 5.5	5.9
Unburned Carbon	,%	0.39 – 1.6	1.5
Free Lime Content	,%	0.42 – 2.8	0.4
2.คุณสมบัติทางกายภาพ			
ความถ่วงจำเพาะ		2.27 – 2.45	2.41
ขนาดเม็ดขี้เถ้าที่เล็กกว่า 0.42 ม.ม.	,%	95 - 100	81
ขนาดเม็ดขี้เถ้าที่เล็กกว่า 0.074 ม.ม.	,%	73 – 92	60
ขนาดเม็ดขี้เถ้าที่เล็กกว่า 0.03 ม.ม.	,%	4 – 28	22
ขนาดเม็ดขี้เถ้าที่เล็กกว่า 0.01 ม.ม.	,%	0	0
ปริมาณน้ำปกติในขี้เถ้าลอย	,%	0.3 – 0.4	2.5
Normal Consistency	,%	17 – 20	32
Liquid Limit (Cone Penetrometer)	,%	17 – 25	35
3. คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
การบดอัดแบบมาตรฐาน			
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด, γ_d max (ตัน/ลบ.ม.)		1.48 –1.54	1.31
ปริมาณน้ำที่เหมาะสม(W_{opt})	,%	14.5 – 16.4	27.4
กำลังต้านรับแรงกด(q_u) , (กก./ตร.ม.)			
เถ้าลอยฯ ผสมเหลว อายุ 3 วัน		19 –72	3
อายุ 7 วัน		46 - 127	5
อายุ 14 วัน		54 - 163	15

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของเถ้าลอยลิกไนต์จากห้องปฏิบัติการ(ต่อ)

คุณสมบัติของเถ้าลอย	เถ้าลอย	
	จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	จากบ่อทิ้งเถ้าลอย
ความซึมได้ของน้ำ , (ซม./วินาที)		
เถ้าลอยฯ ผสมเหลว อายุ 1 วัน	$7*10^{-6} - 1*10^{-5}$	$1*10^{-3}$
อายุ 7 วัน	$4*10^{-7} - 6*10^{-6}$	$1*10^{-3}$
อายุ 14 วัน	$5*10^{-7} - 4*10^{-6}$	$6*10^{-4}$
อายุ 28 วัน	$3*10^{-5} - 5*10^{-5}$	$2*10^{-4}$
เถ้าลอยฯบดอัด(90 %ของ γ_d max) อายุ 2 วัน	$3*10^{-5} - 5*10^{-5}$	$2*10^{-4}$
อายุ 7 วัน	$2*10^{-6} - 3*10^{-5}$	$2*10^{-4}$
อายุ 14 วัน	$2*10^{-6} - 3*10^{-5}$	$2*10^{-4}$

1). น้ำหนักเบา (low unit weight) ความหนาแน่นแห้งของเถ้าลอยผสมเหลว และเถ้าลอยบดอัดเมื่อแข็งตัวแล้วส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 1.1 - 1.4 และ 1.3 - 1.6 ตัน/ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งเบากว่าดินทั่วไปประมาณ 0.2 - 0.6 ตัน/ลบ.ม.

2). ความแข็งแรงสูง (High Strength) การทดลองหากำลังต้านรับแรงกด (q) ของเถ้าลอยใหม่ซึ่งผสมเทเหลวด้วยปริมาณน้ำที่ Normal Consistency ในห้องปฏิบัติการพบว่า ค่า q ของเถ้าลอยใหม่ผสมเทเหลวเมื่ออายุ 7 วัน จะสูงกว่า 45 กก./ตร.ซม. ทั้งสิ้น ดังภาพที่ 2 - 41 ส่วนเถ้าลอยใหม่ที่บดอัดในห้องทดลองจะมีค่า q_u ที่อายุ 7 วัน สูงกว่า 12 กก./ตร.ซม. ค่า q ของตัวอย่างชุดที่บ่มในตู้อบชื้นที่อุณหภูมิ 40 °C ส่วนใหญ่สูงกว่าค่า q ของตัวอย่างที่บ่มชื้นในอุณหภูมิห้องซึ่งแนวโน้มมีค่อนข้างเห็นชัดในช่วง 7 วันแรก สำหรับเถ้าลอยใหม่ การบ่มด้วยอุณหภูมิมีแนวโน้มที่จะเร่งกำลังต้านรับแรงกดของเถ้าลอยให้สูงขึ้นเร็วค่อนข้างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงต้นของการทำปฏิกิริยาเคมี

3). ความทึบน้ำของเถ้าลอยที่แข็งตัวแล้วมีค่าความซึมได้ของน้ำอยู่ในระดับ 1 ถึง 10 ซม./วินาทีซึ่งจัดว่าเถ้าลอยมีคุณสมบัติกึ่งทึบน้ำ(Semi Impervious)

2.13.5.2.4 ตรวจพบสารปนเปื้อน (trace elements) 4 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb) โครเมี่ยม (Cr) แคดเมี่ยม (Cd) และสารหนู (As) จากน้ำที่ใช้แช่ตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์ที่ได้รับการบดอัด และแข็งตัวในปริมาณไม่เกิน 60, 250, 3 และ 130 ppb. ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารทั้ง 4 ชนิด ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดให้มีสารเหล่านี้ได้ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมคือ 200, 500, 30 และ 250 ppb. ตามลำดับ ส่วนสารปนเปื้อนอื่น ๆ ตรวจไม่พบ

T 2947191

2.13.5.2.5 การผสมเถ้าลอยฯ ใหม่กับทรายหรือกับกรวดปนดินเหนียว เมื่อใช้อัตราส่วนเถ้าลอย ต่อวัสดุโดยน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 1: 3 หรือเมื่อผสมเถ้าลอยกับวัสดุที่เป็นดินเหนียวล้วน ๆ ด้วยอัตราส่วนเถ้าลอยต่อดินเหนียวโดยน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 1: 2 เมื่อบดอัดจะได้วัสดุผสมที่มีความแข็งแรงในระดับที่เพียงพอจะใช้เป็นชั้นรองพื้นทางได้ ในกรณีที่ชั้นรองพื้นทางอยู่ในสภาพที่ไม่ชุ่มน้ำ

การทดลองเพื่อหาอัตราส่วนขั้นต่ำที่จะใช้เถ้าลอย ผสมวัสดุงานดินประเภทต่าง ๆ ในขั้นนี้ยังไม่สามารถสรุปปริมาณอัตราส่วนขั้นต่ำที่ชัดเจนออกมาได้ จำนวนการปรับสัดส่วนเพียง 3 ระดับสำหรับการผสมตัวอย่างแต่ละคู่ในครั้งนี้ยังเป็นจำนวนน้อยเกินไป เนื่องจากตัวอย่างที่ทดลองยังให้ผลที่แปรปรวนมาก นอกจากนั้นยังมีความแปรปรวนในคุณสมบัติของตัวเถ้าลอยแต่ละชนิดอีกด้วย อย่างไรก็ตามพอสังเกตได้ว่าการแช่น้ำมีผลให้กำลังต้านรับแรงกดของเถ้าลอยผสมทรายลดลงไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเถ้าลอยผสมกรวดปนดิน และกรณีเถ้าลอยผสมดินเหนียวแข็งแม่เมาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ตัวอย่างเถ้าลอย ชนิดที่มีคุณภาพการแข็งตัวสูง เช่น LA 106 ในการผสม

2.13.5.2.6 ผลจากการทดลอง CBR ในห้องปฏิบัติการมีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติความแข็งแรงจะลดลงเมื่อวัดสุผสมเปียกน้ำ และความสามารถในการรักษาเสถียรภาพความแข็งแรงนั้นไว้จะยิ่งลดลง เมื่อปริมาณดินเหนียวในมวลรวมเพิ่มขึ้น

2.13.5.2.7 ผลการทดสอบกำลังต้านรับแรงกด ของแท่งตัวอย่างเถ้าลอยแข็งตัวซึ่งเจาะเก็บมาจากถนนทดลอง เมื่ออายุประมาณ 45วัน พบว่าเถ้าลอยใหม่ผสมเทเหลว และเถ้าลอยใหม่บดอัดมีค่า อยู่ระหว่าง 20 ถึง 70 และสูงกว่า 13 กก./ตร.ซม ตามลำดับ หลังจากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยและมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออายุมากกว่า 60 วันขึ้นไปส่วนเถ้าลอยเก่าผสมเทเหลวมีค่า อยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 กก./ตร.ซม แต่ถึงยังมีความแข็งแรงสูงกว่าดินเหนียวแข็งทั่วไปมาก

เหตุที่กำลังต้านรับแรงกด ของตัวอย่างเถ้าลอยผสมเทเหลวในห้องทดลองมีค่าสูงกว่าค่า ของตัวอย่างเถ้าลอยผสมเทเหลวในชั้นรองพื้นทางของถนนทดลองนั้น อาจสืบเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ผสมเถ้าลอย ในห้องทดลองอยู่ในระดับ Normal Consistency ซึ่งต่ำกว่าในปริมาณน้ำที่ใช้จริงในการทำชั้นรองพื้นทางของถนนทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากในขณะปฏิบัติงานสภาพเถ้าลอยที่ Normal Consistency ไม่เหลวพอที่จะเทให้ไหลเข้าตามแบบได้สะดวก แม้จะใช้ vibrator ช่วยจี้แล้วก็ตามจึงจำเป็นต้องเพิ่มประมาณน้ำขึ้นถึงระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปจึงมีผลให้เถ้าลอย.ในงานสนามมีเนื้อเป็นโพรงสูงกว่าตัวอย่างที่เตรียมขึ้นใน

ห้องทดลองดังนั้นกำลังต้านรับกแรงกดซึ่งส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับการอัดตัวกันแน่นของเนื้อเถ้าลอย(ความหนาแน่นแห้งของก้อนเถ้าลอย) จึงมีค่าลดต่ำลงไปด้วย

2.13.5.3 สรุปคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของเถ้าลอยแม่เมาะ

2.13.5.3.1 เถ้าลอยลิดไนต์มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีเมื่อเทียบกับวัสดุงานดินทั่วไปคือ

1). ผสมกับน้ำและบดอัดได้ง่ายกว่าดินเหนียว (Fair Workability)

2). เมื่อเข็งตัวแล้วมีน้ำหนักเบา (Low Dry Unit Wight)

3). กำลังต้านรับแรงกดสูง (High Compressive Strength)

4). มีเสถียรภาพสูง สามารถรักษาความแข็งแรงไว้ได้ดีเมื่อแข็งตัวแล้วเปียกน้ำในภายหลัง (Moisture Insensitivity)

5). มีคุณสมบัติกึ่งทึบน้ำ (Semi Impervious)

2.13.5.3.2 การทดลองผสมเถ้าลอย กับวัสดุงานดินประเภทต่างๆ ให้ผลซึ่งมีแนวโน้มพอสรุปได้ดังนี้

1). ความแข็งแรงของวัสดุผสมจะขึ้นกับคุณภาพของเถ้าลอยที่ให้ผสมแปรผันตามปริมาณของเถ้าลอยในวัสดุผสม และแปรผันตามอายุที่ใช้กาบ่มตัวอย่างด้วย

2). การแช่น้ำจะมีผลให้กำลังต้านรับแรงกดของวัสดุผสมลดลง ถ้าวัสดุที่นำมาผสมกับเถ้าลอยฯ มีปริมาณของดินเหนียวปนอยู่มาก กำลังต้านรับแรงกดก็จะยิ่งลดลงมาก

3). เมื่อเปรียบเทียบกำลังต้านรับแรงกดของเถ้าลอยฯ แข็งตัวที่ก่อตัวด้วยวิธีผสมเทเหลว และวิธีผสมชิ้นบดอัดจากการทดลองในสนาม พบว่าการบดอัดจะให้วัสดุที่แข็งเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าความแข็งแรงของเถ้าลอยบดอัดนี้เกิดจากสาเหตุใหญ่ 2 ประการคือ การอัดตัวกันแน่นของเม็ดวัสดุซึ่งเป็นผลจากพลังงานบดอัด และการเชื่อมจับตัวกันแข็งระหว่างอนุภาคของเถ้าลอย ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อเถ้าลอยผสมกับน้ำ

4). ข้อสังเกตจากการทดลองบดอัดเถ้าลอย ในสนามเมื่อนำไปก่อสร้างชั้นรองพื้นทางด้วยรถบด 2 ประเภท พบว่าการใช้รถบดล้อยางจะให้ผลงานที่ดีกว่าใช้รถบดอัดล้อเหล็กชนิดสั้นสะเทือนเพราะเมื่อใช้รถบดล้อยางจะไม่พบปัญหา Over Stress ที่ทำให้เกิดการแตกร้าวในผิวส่วนบนเมื่อเถ้าลอยแข็งตัวแล้ว รอยร้าวดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นเมื่อใช้รถบดล้อเหล็กชนิดสั้นสะเทือนบดอัดมากเที่ยวเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบดอัดบนทางลาด

5). เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะเมื่อแข็งตัวแล้วมีคุณสมบัติที่ดีคือ เบา แข็งแรง และรักษาความแข็งแรงไว้ได้คงทน จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างงานดินได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพการใช้งานที่ต้องเปียกน้ำ โครงสร้างของเถ้าลอยที่แข็งตัวสมบูรณ์แล้วจะคงตัวและไม่เกิดความเสียหายจากการเปียกน้ำ เช่น ไม่ปรากฏการบวมตัวเมื่อสัมผัสน้ำในภายหลัง ในขณะที่ดินเหนียวทั่วไปภายหลังจากบดอัดแล้ว หากเปียกน้ำจะสูญเสียกำลังต้านรับแรงกดลงไปมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินประเภทที่มีการบวมตัวสูง เช่นที่พบหลายแห่งในบริเวณแม่เมาะ

6). แม้ว่าเถ้าลอย เมื่อแข็งตัวแล้วจะมีกำลังต้านรับแรงกดสูง แต่ผิวของเถ้าลอย จะทนต่อแรงขัดสีได้น้อยจึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นชั้นผิวทาง ซึ่งต้องรับแรงเสียดสีจากล้อรถโดยตรง ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้วัสดุอื่นที่เหมาะสมมาปิดทับผิดหน้าของเถ้าลอย อีกชั้นหนึ่งเช่นหากจะสร้างผิวจราจรลาดยาง ควรใช้หินคลุกหนาประมาณ 10 - 15 ซม ทำเป็นชั้นพื้นทางก่อนเพื่อจะให้เป็นส่วนที่จับยึดกับชั้นผิวทางลาดยางซึ่งจะอยู่เหนือชั้นหินคลุก หรือหากจะสร้างผิวจราจรคอนกรีตเสริมเหล็กอาจสร้างพื้นคอนกรีตหนาเพียง 10 - 15 ซม. บนขั้นเถ้าลอย โดยตรงก็เพียงพอ เนื่องจากเถ้าลอย แข็งตัวสามารถใช้เป็นชั้นรองพื้นทางที่มีความแข็งแรงสูงกว่าดินลูกรังเป็นอย่างมาก ข้อมูลที่สนับสนุนคือค่า Field CBR ที่ตรวจพบในทุกงานที่นำเถ้าลอย ไปใช้ที่แม่เมาะจะสูงกว่าร้อยละ100 ทั้งสิ้น

7). เมื่อมีน้ำไหลผ่านเถ้าลอยที่แข็งตัวแล้ว อาจพบสารปนเปื้อนที่เป็นโลหะหนักปะปนออกมากับน้ำบ้างแต่มีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เถ้าลอยที่แข็งตัวแล้วจึงไม่ก่อ มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมมากไปกว่าโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับการควบคุมดีแล้ว

2.13.5.3.3 ศักยภาพของเถ้าลอยลิกไนต์ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

1). ใช้คุณสมบัติเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งผสมร่วมกับซีเมนต์แล้วก่อรูปเป็นก้อนแข็ง (Solidification) ไปช่วยจับยึดอนุภาคโลหะหนักจากตะกอนของเสีย (Waste) การใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเถ้าลอยกับซีเมนต์ 1: 1 จะก่อเป็นสารแข็งตัวที่มีคุณสมบัติจับยึดโลหะหนักได้ดีกว่าการใช้ซีเมนต์ล้วน ๆ เป็นตัวจับยึด และเห็นได้ชัดในการจับยึดสารโครเมียมเมื่อเถ้าลอยแข็งตัวแล้วจะรักษาความคงตัว (Stability) และดูดซับโลหะหนักไว้ ได้ดีไม่ปล่อยสารพิษจากกากของเสียให้แพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อม

2). ใช้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะมาละลายในกรดเกลือเพื่อผลิตเป็นสารช่วยเร่งการตกตะกอน โดยสารนี้จะช่วยลดแรงผลักระหว่างอนุภาคของสารแขวนลอยในน้ำ (Suspended Matter) และอนุภาค Colloid ที่ก่อความขุ่นในน้ำลงได้ ทำให้อนุภาคเหล่านั้นจับรวมตัวกัน และตกตะกอนลงมาจึงทำให้น้ำใสขึ้น สารที่ผลิตขึ้นนี้สามารถนำมาใช้แทนสารส้ม และ Ferric Chloride ซึ่งใช้กันอยู่ตามปกติในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทุกแห่ง การใช้สารที่ผลิตจากเถ้าลอยลิกไนต์ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณร้อยละ48 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำยา Ferric Chloride

3). การทดลองในแคนาดา และอินเดียในระยะ 4 - 5 ปีที่ผ่านมานี้พบว่าเถ้าลอยลิกไนต์ไปผสมกับกากตะกอนน้ำเสียในสัดส่วนที่พอเหมาะ จะมีคุณค่าเป็นสารสำหรับพืช (Plat Nutrients) สามารถช่วยเร่งการเติบโตของพืชหลายชนิดให้เร็วขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีทั่วไปประมาณ 1 เท่าตัว สารผสมนี้จึงเหมาะกับการใช้ในงานปลูกป่า และในงานเร่ง การเจริญเติบโตของพืชที่ไม่ได้นำผลมารับประทาน แนวทางจัดการกับของเหลือทิ้ง (Waste) ทั้ง 2 ประเภทเช่นนี้เป็นวิธีทางจัดการกับปัญหามลภาวะที่อำนวยประโยชน์ในเชิงบวกให้กับสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างยิ่ง

4). ใช้เป็นสารผสมเพิ่มเพื่อลดช่องว่าง (Filler) ในงาน Asphaltic Concrete ทำให้ประหยัดเนื้อยางแอสฟัสท์ ที่จะใช้ในการทำผิวจราจร (Asphaltic Pavement) ได้ดียิ่งกว่า Filler ชนิดอื่น เพราะเถ้าลอยส่วนใหญ่มีขนาดเล็กในระดับฝุ่นละอองผิวเรียบแข็งไม่มีรูพรุนจึงไม่ดูดซับน้ำยางมาก และมีสัญฐานกลมมี Surface area ไม่สูงจึงต้องการปริมาณยางแอสฟัลท์ เพื่อเคลือบผิวอนุภาคให้ทั่วในจำนวนไม่มาก การผสมเข้ากับเนื้อยางแอสฟังท์สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากมีพฤติกรรมเหมือน Ball Bearing จึงช่วยให้วัสดุผสมมีคุณสมบัติไหลลื่นดี (Flow Ability) และบดอัดได้ง่าย (Compatibility) นอกจากนั้นส่วนผสมที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์ หลังการบดอัดจะมีเนื้อแน่น และผิวหน้าที่แข็งแรงมากกว่าปกติ จึงช่วยยืดอายุการใช้งานของผิวจราจรให้นานยิ่งขึ้นอีกด้วย

5). ใช้ถมหลังกำแพงกันดิน เพื่อลดแรงดันด้านที่กระทำต่อกำแพงกันดิน เนื่องจากเถ้าลอยแข็งตัวมีค่าความด้านทานแรงเฉือน S_u(Shear Strength) สูงมาก และมีหน่วยน้ำหนัก ต่ำ ดังนั้นเถ้าลอยแข็งตัวจะสามารถทรงตัวอยู่ได้โดยไม่ต้องมีการค้ำยันด้านข้าง สูงประมาณ 2 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก กล่าวอีกนัยหนึ่งเถ้าลอย ที่แข็งตัวแล้วหากมวลใหญ่พอ จะมีแรงผลักทางด้านข้างต่อกำแพงกันดินต่ำมาก ดังนั้นการออกแบบกำแพงกันดินที่มีเถ้าลอยแข็งตัวถมอยู่ด้านหลังจึงสามารถ

ประหยัดค่าก่อสร้างได้มาก เนื่องจากไม่ต้องออกแบบกำแพงกันดินให้หนา และไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กมากในกำแพงกันดิน

6). ใช้เป็นวัสดุทำฐานรากอาคาร เช่น ทำฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ โดยวิธีบดอัด หรือผสมเทเหลว หรือทำเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ที่รับแรงกดเป็นสำคัญโดยใช้เถ้าลอยผสมเทอัด หรือเทเหลว เพราะเถ้าลอยเมื่อแข็งตัวแล้วสามารถรับแรงกดได้สูง เพราะมีการยุบตัวต่ำ

7). ใช้การอัดฉีดเถ้าลอยผสมเทเหลวด้วยความดันสูง (Grouting) เพื่อซ่อมฐานรากที่ทรุดตัว หรือซ่อมคันดินถมที่ยุบตัวเป็นโพรงความดันที่สูงจะทำให้เถ้าลอยเหลวไหลแทรกเข้าไปอุดโพรงหรือช่องว่างที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับการฉีดน้ำปูนซีเมนต์

8). ใช้ในงานดาดผิวดินตามลาดเขา เพื่อป้องกันการกัดเซาะจากน้ำผิวดินบนเชิงราบ (Protection for Surface Erosion) สามารถทำได้โดยผสมเถ้าลอยกับทรายในอัตราส่วนประมาณ 1 : 1 โดยปริมาตรน้ำที่ผสมให้มีความข้นเหลวขนาดปูนทราบเทไล้ไปบนผิวเชิงราบ ซึ่งปรับแต่งผิวหน้าให้เรียบไว้ก่อนแล้ว โดยเถ้าลอยผสมทรายนี้จะมีความหนาเพียง 5 - 10 เซนติเมตร ก่อนเทวัสดุผสมลงไปให้ปูตะแกรงเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร @ 0.30 เมตร และมีลวดกรงไก่ (Wire Mesh) วางแนบอยู่ด้านบน และด้านล่างของตะแกรงเหล็กอย่างน้อยด้านละ 1 ชั้น ยึดโครงเหล็กอยู่กึ่งกลางชั้นเถ้าลอยผสมทรายที่จะทำขึ้นลวดกรงไก่ และตะแกรงเหล็ก จะทำหน้าที่เป็นโครงยึดเถ้าลอยผสมทรายไม่ให้เกิดการหดตัวแตกร้าวได้ง่ายในภายหลัง การทำลักษณะนี้คล้ายกับการทำ Ferro Cement แต่ใช้เถ้าลอยแทนปูนซีเมนต์

9). นำไปบดอัด และใช้เป็นวัสดุถมที่ (Fill Material) เช่น ในงานทำฐานรากสถานีไฟฟ้าแรงสูงหน้าโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 12 - 13 จำนวนไม่น้อยกว่า 90,000 ลูกบาศก์เมตร

10). นำไปบดอัด หรือผสมน้ำเทเหลวแล้วใช้เป็นวัสดุทำชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทาง ในถนนสายประธานหลายสายในบริเวณโครงการ ก่อสร้างโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ (Road Foundation)

11). ใช้ถมทำฐานรากรองรับลานจอดยานขนส่งขนาดใหญ่ และลานกองพัสดุอุปกรณ์หนัก หรือใช้เป็นวัสดุกลบท่อร้อยสายไฟได้ดิน หรือท่อระบายน้ำ (Back Fill)

12). ใช้ถมทำเขื่อน หรือคันดินถม (Fill Embankment) การใช้เถ้าลอยมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้วัสดุดินถมทั่ว ๆ ไปคือเถ้าลอยมีน้ำหนักเบากว่าเมื่อถมสูง

เท่ากันจะมีน้ำหนักกดทับชั้นดินที่รองรับน้อยกว่า ดังนั้น จะทำให้การทรุดตัวของชั้นดินเดิมเกิดขึ้นน้อย โดยเถ้าลอยที่แข็งตัวแล้วมีกำลังต้านรับแรงกดสูง และมีความยุบตัว (Compressibility) ต่ำจึงทำให้คันดินถมที่เสถียรภาพความลาดสูง และเกิดการยุบตัวน้อยเมื่อแบกรับน้ำหนักบรรทุก นอกจากนั้นเถ้าลอยที่แข็งตัวแล้วจะมีพฤติกรรมคล้ายกับก้อน หรือแผ่นวัตถุที่แข็งแกร่ง (Rigid Mass or Rigid Plate) สามารถแผ่กระจายน้ำหนักบรรทุกลงไปสู่ดินชั้นล่าง ในปริมาณที่สม่ำเสมอทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนเฉพาะจุด (Local Shear) เพียงระดับต่ำ และค่อนข้างสม่ำเสมอขึ้นในชั้นดินข้างล่าง

2.13.5 ซีเมนต์

ใช้ผสมกับดินจะควบคุมการกระจายตัวของดินได้ แต่ราคาแพงกว่าปูนขาวมาก $Ca(OH)_2$ซึ่งเกิดจาก Cement Hydration จะทำให้ Pore Water ในดินอิ่มตัว และเกิดการแลกเปลี่ยนCation ระหว่างโซเดียม และแคลเซียมในดิน เหมือนกับการเติมปูนขาวเช่นเดียวกัน

Davidson (1961) บันทึกไว้ว่าคุณสมบัติที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นภายหลังจากการผสมซีเมนต์กับดินเหนียวชื้นจะทำให้เกิดการลดลงของค่า Plasticity โดยเหตุผลที่น่าจะมาจากการแยกตัวของ Calcium ions ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น กลไกที่เกิดขึ้นถ้าไม่มาจาก Cation Exchange หรือก็มาจากการจับกลุ่มเพิ่มขึ้นของ Cation ในดินเหนียว จากกระบวนการทั้งสองทำใเกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าที่มีอย่างหนาแน่นบริเวณรอบๆ ของอนุภาคดินเหนียว ประจุไฟฟ้าจะมีการดึงดูดเข้าหากันเป็นเหตุให้อนุภาคดินเหนียวมีการรวมตัวกันตกตะกอนหรือเป็นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและอนุภาคของดินที่ใหญ่ขึ้นนี้จะแสดงคุณสมบัติคล้ายกับดินตะกอนมีค่า Plasticity ต่ำ การยึดประสาน (Cementation) ในการบดอัด Cement Treated Soil ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของส่วนประกอบของซีเมนต์จะเกิดขึ้นในเวลาที่แตกต่างกัน โดยผลของปฏิกิริยาทำให้เม็ดดินเกิดการเกาะยึดกันเป็นก้อน การยึดเกาะนี้เกิดขึ้นจากการพัฒนาของแรงยึดเกาะทางเคมีที่มีอยู่ในธรรมชาติของดิน หรือการยึดเกาะระหว่างผิวเม็ดของซีเมนต์ที่อยู่ใกล้กัน และการยึดเกาะระหว่างผิวเม็ดของซีเมนต์กับผิวอนุภาคของซีเมนต์

Herzog และ Mitchell (1963) ได้ศึกษาปฏิกิริยาของซีเมนต์กับดินเหนียวและได้รายงานว่าปฏิกิริยา ไฮเดรชั่นที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์และน้ำในดินซีเมนต์ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า pH ซึ่งเชื่อว่าการเพิ่มขึ้นของค่า pH นี้จะทำให้เกิดการแตกตัวของ $Ca(OH)_2$ หรือ Hydrated Lime และแร่ประกอบ Silica และ Alumina ที่ละลายออกจากดินเหนียวจะทำปฏิกิริยากับ Calcium ions ก่อให้เกิดวัตถุเชื่อมประสานเพิ่มเติมขึ้น นอกเหนือจากผลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นหลักของซีเมนต์ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาที่นานขึ้น

สำหรับดินซีเมนต์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีสมการดังนี้

$$\text{Cement} + H_2O \longrightarrow CSH + CAH + Ca(OH)_2$$

$$Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca^{++} + 2(OH)^-$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + SiO_2 \text{ (Soil Silica)} \longrightarrow CSH$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + Al_2O_3 \text{ (Soil Alumina)} \longrightarrow CAH$$

กราพัฒนากำลังเกิดจากการที่ซีเมนต์ผสมกับน้ำแล้วเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ผลของปฏิกิริยาจะได้สารประกอบ CSH, CAH และ Calcium Hydroxide ($Ca(OH)_2$) ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปโดยผลของการทำปฏิกิริยาระหว่าง $Ca(OH)_2$ ที่แตกตัวออกเป็น Ca^{++} กับแร่ในดินเหนียวจะได้ CSH และ CSA สารประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นตัวยึดเกาะและทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคของดินเป็นผลให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีกำลังสูงขึ้น

2.13.5.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลนี้ หมายถึงตัวแปรที่มีความสำคัญต่อผลของกำลังความแข็งแรง ความคงทน ของดินซีเมนต์ ดังนี้

2.13.5.1.1 คุณสมบัติของดิน

เป็นสิ่งสำคัญที่ประกอบมีอยู่ตามธรรมชาติของดินแต่ละชนิด ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากสภาวะแวดล้อม สภาวะอากาศ ตลอดจนสภาพภูมิประเทศจะมีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์และน้ำ โดยจะส่งผลไปถึงการรับแรงและความคงทนของดินซีเมนต์ คุณสมบัตินี้รวมทั้งทางด้านกายภาพและทางเคมีด้วย

2.13.5.1.2 ปริมาณดินเหนียวและแร่ประกอบดินเหนียวที่มีอยู่ในดินซีเมนต์

Davidson (1961) ได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินเหนียวที่มีผลต่อกำลังของซีเมนต์ ในการทดสอบใช้ทรายผสมกับดินเหนียวอัตราส่วนดังนี้ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, และ 0:100 และพบว่าปริมาณอัตราส่วน 75:25 จะให้ค่ากำลังสูงสุด เนื่องมาจากปริมาณสัดส่วนผสมที่กลมกลืนกันแบบ Well Grade ทำให้ได้ความหนาแน่นสูงสุด

2.13.5.1.3 ค่า Plasticity Index ของดิน

การเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์ในดินผสมซีเมนต์ จะมีผลทำให้ดินมีการเพิ่มค่า Plastic Limit เล็กน้อยแต่จะทำให้มีการลดลงของค่า Liquid Limit และเป็นผลทำให้ Plasticity Index มีค่าลดลง

2.13.5.1.4 ความหนาแน่นและปริมาณความชื้นขณะบดอัด

Felt (1955) ได้ทดลองและสรุปผลว่าผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้น จะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดิน

ซีเมนต์ คือ ดินเหนียวและดินตะกอนควรบดอัดให้อยู่ทางด้าน Wet Side ของ OMC เล็กน้อยจึงจะให้ค่ากำลังรับแรงสูงสุด

2.13.5.1.5 อุณหภูมิที่ใช้บ่มดินซีเมนต์

การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิขณะช่วงเวลาบ่มตัวอย่างดินซีเมนต์จะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นทางด้านกำลังของดินซีเมนต์

2.13.5.1.6 ปริมาณซีเมนต์

จากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์ จะมีผลทำให้ค่าการรับแรงของดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

2.14 การปรับปรุงด้วยการผสมแบบอัดฉีดความดันสูง (Jet Grouting)

Jet Grouting Technique เป็นวิธีการทำให้ดินแข็งแรงขึ้นโดยการฉีดน้ำปูนเข้าไปผสมรวมกับดินด้วยความดันที่ระดับสูมากผ่านทางรูเล็กๆ ซึ่งมีขนาดประมาณ 1.8 – 35 มิลลิเมตรและเรียงตัวอยู่ในแนวนอนรอบส่วนปลายล่างของก้านเจาะ ในขณะที่ทำงานจะหมุนกดก้านเจาะที่มีปลายปิดเจาะดินลงไปช้าๆ ในกรณีที่ดินมีความแข็งมากก็จะใช้แรงดันน้ำฉีดน้ำตัดดินเข้ามาช่วยในตอนแรกจนได้ระดับความลึกที่ต้องการจากนั้นจะหมุนก้านเจาะพร้อมทั้งดึงก้านเจาะขึ้นขณะเดียวกันจะฉีดน้ำปูนซีเมนต์ตัดดินด้วยความดันที่สูงในระดับ 200 – 400 bar ผ่านรูเล็กๆออกไปกวนผสมกันดินกระแสน้ำปูนซีเมนต์ที่มีความเร็วประมาณ 200 เมตรต่อวินาที หรือสูงกว่านั้นจากแรงดันดังกล่าวจะทำงานในลักษณะคล้ายใบพัดของเหลวที่มีกำลังทะลุทะลวงสูง ตัดย่อยดินอ่อนและดินแข็งให้ผสมรวมกันกับน้ำปูนซีเมนต์จนได้เป็นเนื้อเดียวกัน และในขณะเดียวกันกับที่หมุนดึงก้านเจาะขึ้นช้าๆ วัสดุผสมระหว่างดินและซีเมนต์จะก่อตัวเป็นรูปทรงกระบอกในลักษณะคล้ายเสาเข็มแสดงไว้ในรูปที่ 2.11 ซึ่งอาจเรียกว่าเสาเข็มดิน – ซีเมนต์ (Soil – Cement Column) โดยรูปแบบการฉีดน้ำปูนซีเมนต์ให้ผสมกับดินมีวิธีการฉีดอยู่ 3 แบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของซีเมนต์คอลัมน์ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ และคุณสมบัติของดินเดิม แบ่งได้ดังนี้

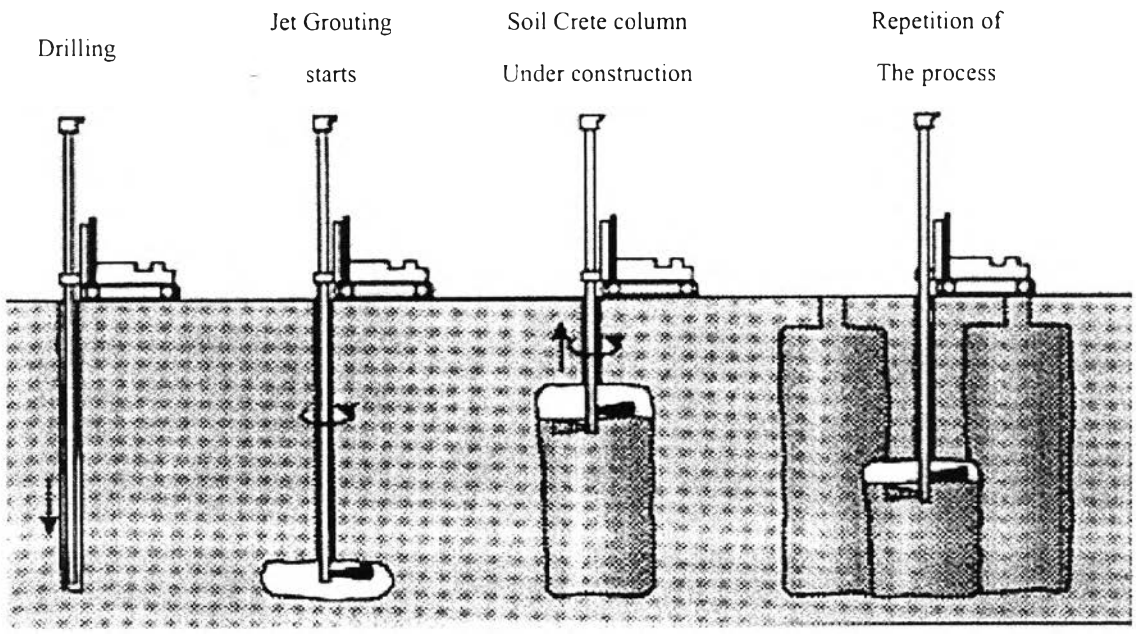
1 ระบบ Single เป็นการฉีดที่ใช้เพียงแต่น้ำปูนเพียงอย่างเดียว

2 ระบบ Double เป็นการฉีดที่ใช้น้ำปูนซีเมนต์และลมเข้ามาช่วย

3 ระบบ Triple เป็นการฉีดที่ใช้ น้ำปูนซีเมนต์ ลม และน้ำบางส่วนเข้ามาช่วย

ในขณะทำการอัดฉีดด้วยแรงดันสูงนั้นพลังงานจลน์ของน้ำปูนจะลดลงเนื่องจากถูกแรงเสียดทานภายในมวลดินจนกระทั่งได้สลายหมดไปในชั่วระยะทางหนึ่งที่น้ำปูนซีเมนต์ได้ตัดผ่านเนื้อดินออกไปเป็นระยะรัศมีของการฉีดน้ำปูนซีเมนต์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการอัดตัวแน่นของเนื้อดินระยะเวลาที่ทำการฉีดน้ำไว้ในช่วงความลึกหนึ่งๆซึ่งควบคุมโดยค่าอัตราการยกขึ้นของก้านเจาะค่าความดันของน้ำปูน และขนาดของรูเล็กที่ปล่อยน้ำปูนออกไปจากก้านเจาะ วัสดุผสมดิน – ซีเมนต์จะกลายเป็นของผสมที่มีเนื้อสม่ำเสมอ และในช่วงระยะเวลาเพียง 1 – 2 สัปดาห์ความแข็งแรงของดินเหนียวจะพัฒนาสูงขึ้นถึงระดับ Hard Clay ส่วนในกรณีของดินทรายนอกจากจะ

แข็งแรงเหมือนปูนทรายแล้ว มีคุณสมบัติความทึบน้ำเพิ่มขึ้นด้วย คุณสมบัติที่ได้เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของดินเดิม ชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสาน (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1)



รูปที่ 2.11 การทำงานโดยวิธีการผสมแบบอัดฉีดความดันสูง (Jet Grouting)

2.14.1 คุณลักษณะของ Jet Grouting Technique ที่โดดเด่นกว่าการปรับปรุงดินโดยวิธีอื่น มีดังนี้

2.14.1.1 สามารถทำให้ดินแข็งตัว (Solidification) ได้ในเฉพาะช่วงความลึกของชั้นดินที่ต้องการปรับปรุงเท่านั้น จึงสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงดินลงได้ เนื่องจากไม่ต้องทำเสาเข็มดิน – ซีเมนต์ ให้ยาวต่อเนื่องขึ้นมาจนถึงชั้นผิวดินเสมอไปโดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้เสาเข็มรับแรงดันดินในส่วนบน

2.14.1.2 สามารถปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเครื่องเจาะที่ทำงานได้ทั้งแนวดิ่งแนวเฉียง หรือแกระทั่งแนวราบ และมุมเงย

2.14.1.3 สามารถเจาะผ่านก้อนหินลอยที่ฝังจมอยู่ในมวลดินได้ และทำให้ดินรอบก้อนหินแข็งนั้นแข็งตัวยึดก้อนหินลอยนั้นเอาไว้กับกลุ่มเสาเข็มดิน – ซีเมนต์ได้

2.14.1.4 การทำงานของเครื่องเจาะฉีดน้ำปูนไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมคือ ไม่ก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนและเสียงลบกวนแต่อย่างใด จึงสามารถทำการก่อสร้างเสาเข็มดิน – ซีเมนต์ ต่อเนื่องกันได้ทั้งกลางวันและกลางคืน โดยไม่รบกวนความสงบสุขของชุมชน