

**เสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดิน : หัวข้อแนะนำให้เพิ่ม
ในตำราวิชาปฐพีกลศาสตร์**

**INTERNAL EROSION STABILITY OF SOILS: A RECOMMENDED TOPIC
TO BE ADDED IN SOIL MECHANICS TEXTBOOK**

อติเทพ ศรีคงศรี

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

บทคัดย่อ

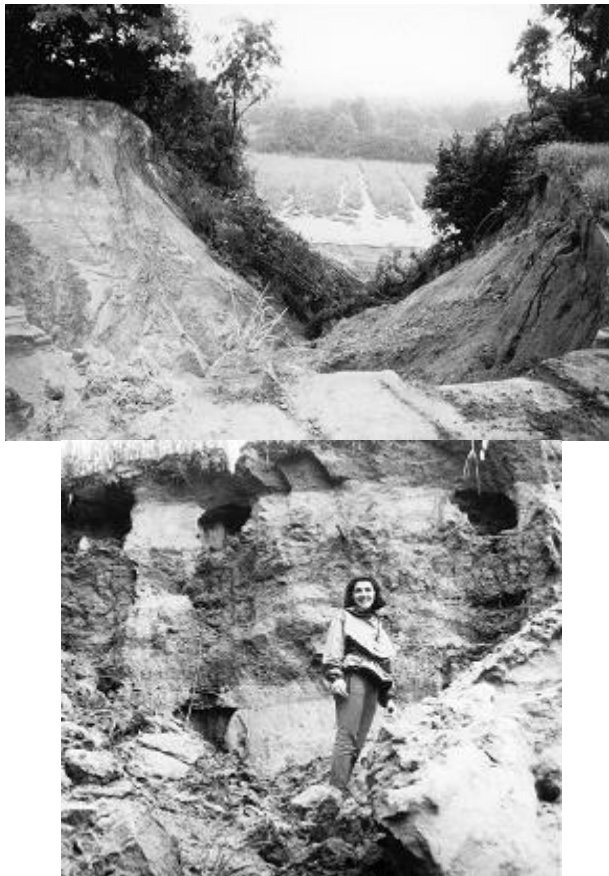
บทความนี้กล่าวถึงองค์ความรู้เกี่ยวกับการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดินเนื่องจากอิทธิพลการไหลซึมของน้ำผ่านการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อธิบายแนวคิดพื้นฐานในพัฒนาวิธีการประเมินเสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดินด้วยการพิจารณาจากการกระจายขนาดเม็ดดินลำดับความก้าวหน้าและประเด็นปัญหาที่นักวิจัยพยายามค้นคว้าทดลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ด้วยหลักทางกลศาสตร์ เสนอแนะหลักการวิเคราะห์ทางทฤษฎีที่ควรกล่าวถึงในตำราวิชาปฐพีกลศาสตร์รวมถึงข้อแนะนำสำหรับแนวทางการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ (Key words) : การไหลซึม, การกัดเซาะ, การกรอง, ความลาดชันทางชลศาสตร์

1. ความสำคัญและที่มา

การวิบัติของลาดดินที่มีการไหลซึมของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ดิ่ง เขื่อน หรือแม้แต่ลาดดินเชิงเขา ในบางกรณีอาจมีสาเหตุจากความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างมวลดินก่อนที่จะพัฒนาไปสู่ความเสียหายที่เห็นเป็นกายภาพที่ชัดเจน ในทางทฤษฎีพอจะอธิบายเบื้องต้นว่าเป็นผลมาจากแรงที่กระทำต่อตัวลาดดินมีค่าสูงกว่าความต้านทานของลาดดินทั้งระบบ (Global system stability) หากพิจารณาลึกลงไปก็อาจจะสันนิษฐานต่อได้ว่า ความเป็นไปได้ที่จะเป็นผลมาจากการสูญเสียเสถียรภาพจากกลไกภายในโครงสร้างดิน (Internal stability) ก่อนในขั้นต้นเนื่องจากอิทธิพลของการไหลซึมที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงช่องว่างภายใน แล้วจึงนำไปสู่การวิบัติของคันดินทั้งระบบในเวลาถัดมา มีหลายกรณีที่หลังการวิบัติของลาดดินและดิ่งแล้วปรากฏร่องรอยการกัดเซาะที่ทำให้เห็นเป็นโพรงอยู่ในชั้นดิน ซึ่งบอกเป็นนัยว่ากระบวนการนี้เกิดขึ้นอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ดังนั้นการสูญเสียเสถียรภาพภายในโครงสร้างดินอาจเป็นอีกเหตุปัจจัยหนึ่งที่มองข้ามไม่ได้ ในหลายกรณีการตรวจสอบในสนามเพื่อหาโพรงที่เกิดจากการกัดเซาะภายในหลังจากที่โครงสร้างดินเกิดความเสียหายไปแล้วกระทำได้ยากและมักจะทำให้เรามองข้ามปัญหาข้อนี้ไป [1]

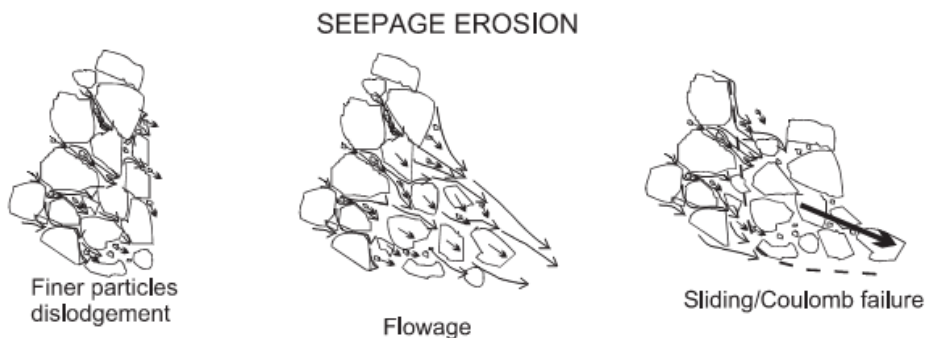
รูปที่ 1 เป็นตัวอย่างร่องรอยของโพรงที่ปรากฏให้เห็นชัดจากกรณีการวิบัติของลาดดินในแถบ Groppello ทางตะวันตกของเมืองมิลาน ประเทศอิตาลี ซึ่งอยู่ในการศึกษาของ Crosta & di Prisco (1999) เป็นภาพถ่ายจากมุมด้านบนและภาพตัดของลาดดินที่วิบัติ จะเห็นว่าโพรงขนาดใหญ่ที่เกิดจากการกัดเซาะภายใน 2 โพรงอยู่เหนือศีรษะของคนในภาพ



รูปที่ 1 ภาพถ่ายการวิบัติของลาดดินที่ปรากฏโพรงการกัดเซาะภายในโครงสร้างดิน [2]
(โดยการอนุญาตจาก NRC Research Press)

การสูญเสียเสถียรภาพภายในโครงสร้างดินเนื่องจากแรงดันการไหลซึม (Seepage force) เป็นกระบวนการที่เม็ดดินในส่วนที่มีขนาดเล็กกว่า ถูกแรงจากการไหลซึมกระตุ้นให้เคลื่อนที่และพัดพาออกมากับการไหลของน้ำผ่านช่องว่างในมวลดิน การสูญเสียเม็ดดินอย่างต่อเนื่องจะทำให้ช่องว่างขยายใหญ่ขึ้นจนเกิดเป็นช่องทางที่น้ำจะไหลซึมได้เร็วกว่าส่วนอื่น (Preferential flow channel) จากนั้นเม็ดดินบริเวณรอบช่องว่างที่กว้างขึ้นจะหลวมและจะถูกพัดพาออกมามากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดเป็นโพรง (Piping) ในตำราวิศวกรรมธรณีเทคนิค [3] เรียกกระบวนการนี้ว่า "internal

erosion” แปลตรงตัวว่า การกัดเซาะภายใน หรือเอกสารทางวิชาการบางฉบับ [2, 4 - 5] เรียกว่า “seepage erosion” แปลตรงตัวว่า การกัดเซาะจากการซึม โพรงเหล่านี้ถ้ามีจำนวนมากๆและอยู่เป็นกลุ่มจะเสี่ยงต่อการก่อตัวเป็นโพรงขนาดใหญ่ได้ อาจมีลักษณะเป็นปล่องอุโมงค์หรือหลุมยุบ (Sinkhole) ก็ได้ ซึ่งทำลายเสถียรภาพโดยรวมของดินและจะเกิดการวิบัติในที่สุด (ดูรูปที่ 2 วิวัฒนาการของการกัดเซาะภายในโครงสร้างดิน จากรูปซ้ายไปขวา) อย่างไรก็ตาม การประเมินเสถียรภาพภายในโครงสร้างดินผ่านกระบวนการทดสอบในห้องปฏิบัติการผนวกกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ จะสามารถช่วยอธิบายปรากฏการณ์การวิบัติในกรณีต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น และสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นอีกในอนาคต



รูปที่ 2 การกัดเซาะภายในโครงสร้างดินจากแรงดันการไหลซึม (จาก Crosta & di Prisco, 1999 : โดยการอนุญาตจาก NRC Research Press)

ดินชนิดที่มีการละขนาดดี (Well - graded soil) หรือมีการละขนาดเชิงกว้าง (Broadly - graded soil) และแบบขนาดเม็ดดินขาดช่วง (Gap - graded soil) จัดว่าเป็นดินที่มีโอกาสเกิดความไม่เสถียรภายในโครงสร้างดิน (Seepage - induced internal instability) เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการไหลซึม ผลที่ตามมาคือความเสี่ยงต่อการเกิดกัดเซาะภายใน ดินที่จะมีเสถียรภาพภายในนั้นจะต้องมีคุณสมบัติด้านการกรองภายในตัวเอง (Self - filtering characteristic) ดังนั้นการประเมินแนวโน้มเบื้องต้นต่อการเกิดการกัดเซาะภายในสามารถทำได้โดยวิธีวิเคราะห์ลักษณะของเส้นแสดงการกระจายขนาดเม็ดดิน (Graphical analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคอย่างง่ายที่ใช้วิเคราะห์ดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless soil) เช่น วิธีของ Kenney และ Lau [6, 7] และเทคนิคของ Lowe [8] นอกจากนี้ปัจจัยเกี่ยวกับการกระจายขนาดเม็ดดินแล้ว การศึกษาของ Skempton และ Brogan [9] ค้นพบว่าเมื่ออีก 2 ปัจจัยได้แก่ ความดันของการไหลซึมและความเค้นภายในดิน เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นให้เกิดการกัดเซาะภายในโครงสร้างดินด้วย อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ถูกนำไปขยาย

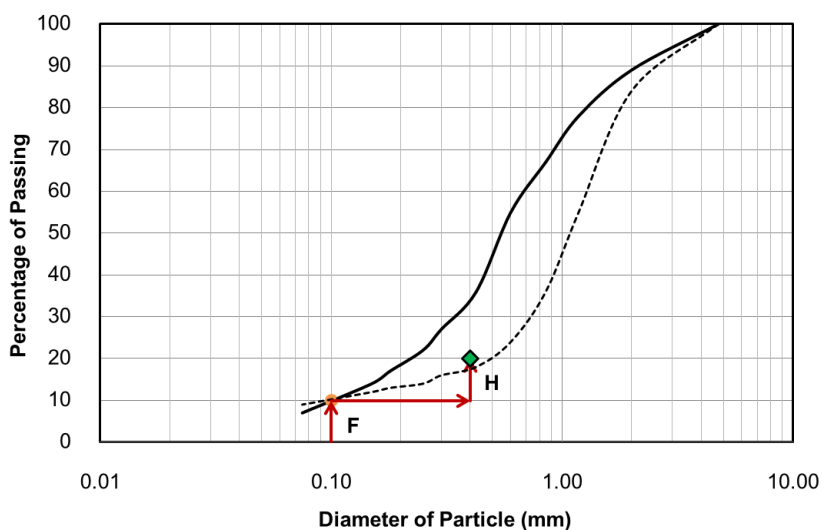
ผลเป็นงานศึกษาวิจัยเพิ่มเติมโดย Moffat & Fannin [10] ซึ่งการค้นพบล่าสุดช่วยอธิบายกลไกเกิดการกัดเซาะภายในโครงสร้างดินได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ การศึกษาในอดีตและการค้นพบทั้งหลายที่กล่าวมานั้นล้วนอยู่บนพื้นฐานของดินเม็ดหยาบ (ขนาดเม็ดดินโตกว่า 0.075 มิลลิเมตร) ที่ไม่มีความเชื่อมโยงแน่น เน้นเพื่อประยุกต์ใช้กับงานเชื่อมในส่วนของวัสดุกรองแต่ดินตามสภาพธรรมชาติที่ถูกนำไปใช้ในงานประเภทอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกันน้ำ คงไม่ได้จำกัดไว้แต่เพียงดินประเภทดังกล่าว อาจเป็นดินที่มีส่วนผสมของดินเม็ดละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร) ที่มีความเชื่อมโยงแน่นก็ได้มีเพียงข้อแนะนำไว้อย่างกว้างๆ อ้างอิงประสบการณ์สนามโดย Ripley [11] และ Lowe [8] ว่าทรายสะอาดที่มีขนาดเม็ดประมาณ 0.25 - 0.5 มิลลิเมตรสามารถป้องกันการพัดพาดินเม็ดละเอียดออกจากโครงสร้างดินได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบหลักฐานจากการศึกษาวิจัยอย่างเป็นระบบที่สนับสนุนว่าเทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นจะประยุกต์ใช้ได้ดีกับดินประเภทนี้อย่างเหมาะสมหรือไม่อย่างไร ด้วยเหตุผลนี้ การศึกษาวิจัยในประเด็นนี้จึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งจะใช้ตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์ที่มีอยู่ดั้งเดิมและถ้าไม่เหมาะสม ผลจากการศึกษาวิจัยในอนาคตจะช่วยในการพัฒนาเทคนิคและวิธีการใหม่ ๆ ต่อไป

2. ทฤษฎีการประเมินเสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดิน

การกัดเซาะภายในดินชนิดใดมีความเชื่อมโยงแน่น มีข้อพิจารณาในการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1) ลักษณะการกระจายขนาดเม็ดดิน (Grain size distribution) ซึ่งใช้เป็นข้อบ่งชี้เบื้องต้นต่อความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดเซาะภายใน 2) สภาวะปัจจัยอิทธิพลของแรงดันน้ำและหน่วยแรงประสิทธิผล (Hydromechanical influence) ที่กระตุ้นให้เกิดการกัดเซาะภายใน [12] การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดเซาะภายในเบื้องต้นสามารถทำได้ โดยวิเคราะห์รูปแบบของเส้นแสดงการกระจายเม็ดดิน ดินชนิดที่มีการกระจายขนาดเม็ดดินเชิงกว้าง (Broadly - graded soil) และดินแบบขนาดเม็ดดินกระจายตัวแบบขาดช่วง (Gap - graded soil) พบว่ามีความเป็นไปได้สูงในการเกิดการกัดเซาะภายใน

Kezdi [13] เสนอวิธีวิเคราะห์ โดยให้แบ่งเป็นเส้นแสดงการกระจายขนาดเม็ดดินเป็นสองเส้น ได้แก่ เส้นที่แสดงส่วนที่หยาบกว่า (Coarser component) และส่วนที่ละเอียดกว่า (Finer component) จากนั้นอาศัยกฎการออกแบบขนาดเม็ดดินสำหรับวัสดุกรองของเทอร์ซากิ (Terzaghi's filter rule) ที่ตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1939 [14] คือ $D_{15} < 4d_{85}$ เพื่อตรวจสอบเสถียรภาพภายใน เมื่อ D_{15} และ d_{85} คือขนาดเม็ดดินที่ 15 เปอร์เซนต์ที่ผ่านโดยน้ำหนักของส่วนที่หยาบกว่า และขนาดเม็ดดินที่ 85 เปอร์เซนต์ที่ผ่านโดยน้ำหนักของส่วนที่ละเอียดกว่าโดยน้ำหนัก วิธีการของ Kezdi พบว่าเหมาะสมสำหรับประเมินความสามารถการกรองตัวเอง (Self - filtering ability) ของดินชนิด broadly - graded และ gap - graded โดยใช้อัตราส่วน D_{15}/d_{85} ประมาณ 4-5 [15] และในภายหลัง Lowe [8] เสนอให้ใช้อัตราส่วนเท่ากับ 5

Kenney และ Lau [6, 7] เสนอวิธีวิเคราะห์โดยพิจารณาจากความลาดชันของเส้นการกระจายขนาดเม็ดดิน รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ดินสองชนิด ที่พิจารณาในช่วงปลายด้านล่างของเส้นการกระจายขนาดเม็ดดินของที่มีลักษณะความชันน้อยกว่าส่วนที่หยาบกว่า [16] วิธีการคือเลือกที่เปอร์เซ็นต์ผ่านใดๆ กำหนดให้เป็นค่า F (ในรูปเท่ากับ 10%) จะมีขนาดเม็ดดิน D (ในรูปเท่ากับ 0.10 mm) ขยายออกไปตามแนวราบเท่ากับ 4D (0.40 mm) แล้วสร้างเส้นในแนวตั้ง H ให้มีระยะเท่ากับ F จะได้จุดที่ใช้ตรวจสอบ (จุดสัญลักษณ์ขาวกลมตัด) จะเห็นว่าดินที่เป็นเส้นประอยู่ต่ำกว่าจุดนี้ แสดงว่าเป็นดินตัวอย่างนี้มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดการกัดเซาะภายใน แต่ดินอีกตัวอย่างที่เป็นเส้นทึบอยู่สูงกว่าจุดนี้จึงเป็นดินที่มีเสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายใน



รูปที่ 3 การวิเคราะห์เสถียรภาพภายในตามวิธีของ Kenney & Lau

Li และ Fannin [17] ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำของทั้งสองวิธี โดยใช้ฐานข้อมูลจากผลการทดลอง วิธีของ Kezdi ให้ผลที่ดีกว่า เมื่อค่า $F > 15\%$ ในขณะที่วิธีของ Kenney และ Lau ให้ผลที่แม่นยำ เมื่อ $F < 15\%$ ดังที่กล่าวในเบื้องต้น ลักษณะการกระจายขนาดเม็ดดินสามารถบอกแนวโน้มในการเกิดความไม่เสถียรภาพภายใน แต่ปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้การกระตุ้นให้เกิดปรากฏการณ์คือ แรงดันการไหลซึม (Seepage pressure) และหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) แนวคิดเกี่ยวกับอิทธิพลของการกระจายหน่วยแรงประสิทธิผลถูกเสนอโดย Skempton และ Brogan [9] ซึ่งในการศึกษาครั้งนั้นเป็นการตรวจสอบการเกิดโพรงในดินทราย (Piping) โดยใช้เครื่องทดสอบการไหลซึม (Permeameter) ค่าความลาดชันชลศาสตร์วิกฤตที่วัดได้ในการทดลองพบว่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีซึ่งทำให้ Skempton และ Brogan เสนอแนวคิดว่าเม็ดดินแต่ละเม็ดรับ

แรงกดที่ต่างกัน โดยอธิบายว่าหน่วยแรงประสิทธิผลส่วนใหญ่กระจายอยู่ในเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่เม็ดที่ละเอียดกว่ารับแรงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นเหตุให้มีการเคลื่อนที่ในช่องว่างของดินได้ง่าย

งานศึกษาวิจัยในยุคหลังจาก Skempton และ Brogan ส่วนหนึ่งเน้นการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุกรองภายใต้อิทธิพลจากแรงดันการไหลและหน่วยแรงประสิทธิผลต่อการควบคุมการเคลื่อนที่ของเม็ดดินภายในช่องว่างของมวลดิน [18, 19] อีกส่วนหนึ่งเป็นงานวิจัยเชิงทดลองที่ผนวกความก้าวหน้าของเครื่องมือที่ได้ถูกออกแบบมาเฉพาะ เพื่อมุ่งสู่การค้นคว้าความรู้เกี่ยวกับการเกิดการกัดเซาะภายในโครงสร้างดินประเภทดินเม็ดหยาบที่สามารถการอธิบายได้ด้วยหลักทางกลศาสตร์ซึ่งสิ่งที่ค้นพบได้ยืนยันแนวคิดของ Skempton และ Brogan และทำให้มีความเข้าใจตัวควบคุมกลไกการเกิดการกัดเซาะภายในโครงสร้างดินประเภทดินเม็ดหยาบได้ดีกว่าในอดีต [10, 12, 20] แต่กับดินที่มีความละเอียดมากขึ้นพบว่ายังมีการศึกษาเกี่ยวกับดินจำพวกนี้น้อยมากอย่างที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ว่ามีเพียงข้อแนะนำไว้อย่างกว้าง ๆ ว่าทรายสะอาดที่มีขนาดเม็ดประมาณ 0.25 - 0.5 มิลลิเมตรหรือเกณฑ์ออกแบบวัสดุกรองของเทอร์ซากิ สามารถป้องกันการพัดพาดินเม็ดละเอียดออกจากโครงสร้างดินได้ [8, 15]

3. การทดสอบเสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดิน

ในปัจจุบัน มาตรฐาน ASTM ซึ่งเป็นมาตรฐานหลักที่ถูกใช้อ้างอิงสำหรับการทดสอบดินนั้นยังไม่มีมาตรฐานสำหรับการทดสอบเสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดิน แต่จากการทบทวนงานวิจัยหลายฉบับดังที่นำเสนอไปก่อนหน้านี้ พบว่าการทดสอบจะใช้เครื่องมือที่ออกแบบและสร้างตามลักษณะเฉพาะของแต่ละงานวิจัยนั้น ๆ (Customized design) แต่ล้วนมีพื้นฐานจากเครื่องมือทดสอบค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในมวลดินเม็ดหยาบด้วยความดันคงที่ ที่พอเปรียบได้กับ มาตรฐาน ASTM Designation: D2434 - 68 "Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant head)" [21] ทิศทางการไหลของน้ำมีทั้งไหลจากบนลงล่างและจากล่างขึ้นบน แต่งานวิจัยในระยะหลังพบว่านิยมทดสอบด้วยการไหลขึ้นเพราะจะทำให้เห็นร่องรอยการเกิดช่องหรือโพรงจากการกัดเซาะได้จากด้านบนซึ่งสังเกตได้ง่ายกว่า อีกทั้งเม็ดดินส่วนที่เล็กกว่าที่ถูกพามาที่ด้านบนจะเห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้ การวัดความเปลี่ยนแปลงหรือความผิดปกติของการกระจายความลาดชันทางชลศาสตร์ตลอดความยาวตัวอย่างเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่นักวิจัยเริ่มนำมาใช้ [22] โดยเครื่องมือสามารถดัดแปลงจาก มาตรฐาน ASTM Designation: D 5101 - 01 "Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio"

ในบทความนี้ ผู้เขียนขอแนะนำเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D 5101 [23] เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต (รูปที่ 4) เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจเครื่องมือประกอบด้วย

- ครอบกบบรรจุตัวอย่างดินทดสอบ (Permeameter cell) ทำจากอะคริลิกหรือกระจกพลาสติก (Acrylic or Plexi glass) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 ซม. ยาว 20 ซม.
- ชั้นส่วนประกอบได้แก่ ฝาปิดด้านบนและด้านล่างพร้อมสายยางและอุปกรณ์วาล์วต่างๆ
- แผงควบคุมและชุดหลอดแก้ววัดหัวความดันน้ำ
- ครอบกบความดันคงที่ (Constant head cylinder) สำหรับจ่ายและรับน้ำจากครอบทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 ซม. ยาว 30 ซม. พร้อมขาตั้งและสายรัดสำหรับแขวน
- อ่างพักน้ำและปั้มน้ำ
- กล้องดิจิตอลแบบบันทึกวีดีโอได้จำนวน 1 ตัว



รูปที่ 4 เครื่องมือทดสอบการกักเซาะภายในโครงสร้างมวลดินที่พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิธีการทดสอบดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D 5101 แนะนำให้ใช้การทดสอบแบบไหลจากล่างขึ้นบนการประเมินผลการทดสอบจะยึดถือการสังเกตด้วยสายตาเป็นหลัก (Visual inspection) นั่นคือเหตุผลที่ครอบทดสอบต้องโปร่งใส สำหรับขั้นตอนมีดังนี้

- เตรียมตัวอย่างดินแห้งประมาณ 1350 กรัม (3000 กรัมสำหรับกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 ซม.) นำมาบรรจุในภาชนะแล้วเติมน้ำให้ท่วมผิวหน้า
- ใส่ฟองอากาศ ด้วยเครื่องดูด (Vacuum) หรือตมด้วยความร้อนจนกว่าฟองจะหมด
- ประกอบกระบอกกับฐาน ปิดวาล์วทุกตัว แล้วเติมน้ำในกระบอกประมาณ 2 - 3 ซม. (ควรใช้น้ำที่ใส่ฟองอากาศออกแล้วด้วย)
- ตักตัวอย่างดินด้วยช้อนแล้วค่อยๆเติมลงไปในกระบอก จนมีความสูง (L) ประมาณ 10 ซม. แล้วปาดผิวหน้าให้เรียบ
- หากต้องการเพิ่มแรงกดที่ผิวหน้าด้วยวัสดุอื่นให้รองด้วยตะแกรงหรือจีโอเทกซ์ไพล์ที่มีช่องเปิดไม่เล็กกว่าขนาดที่ของเม็ดดินที่อาจเคลื่อนที่ขึ้นมา
- ปิดฝาครอบแล้วเติมน้ำให้เต็มจากด้านบน เชื่อมต่อสายยางด้านบนไปที่กระบอกรับน้ำ
- กำหนดค่าผลต่างความดันน้ำ ΔH ควรเริ่มจากค่าน้อยๆ เช่น 0.2L, 0.3L, 0.4L....
- ให้อย่างสังเกตสองอย่างคือ ความผิดปกติของการกระจายแรงดันตามความยาวของตัวอย่าง และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ตัวอย่างดิน
- ถ้าการกระจายแรงดันตามความยาวของตัวอย่างเริ่มมีความผิดปกติ (ปกติจะต้องกระจายเป็นเชิงเส้นตรง) และมีดินส่วนที่ละเอียดขึ้นมากจำนวนมากบริเวณด้านบนหรือเกิดโพรงที่เห็นได้ชัด ให้ถือว่าตัวอย่างวิบัติแล้ว
- ถ้าไม่เกิดตามข้อก่อนหน้า ก็ให้เพิ่มค่า ΔH ไปเรื่อยๆจนกระทั่งตัวอย่างดินถูกดันขึ้นทั้งตัว จึงหยุดการทดลอง และถือว่าดินตัวอย่างนั้นมีเสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายใน

4. สรุป

เสถียรภาพต่อการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดินไม่ว่าจะเป็นการประเมินในทางทฤษฎีหรือทางปฏิบัติด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ยังมีการกล่าวถึงน้อยมากในตำราด้านปฐพีกลศาสตร์ แม้แต่ตำราของต่างประเทศ ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างมวลดินในระดับการเคลื่อนย้ายของอนุภาคด้วยการกระตุ้นจากผลต่างความดันของน้ำเป็นสิ่งที่อธิบายเชิงกายภาพได้ไม่ยากนัก และจริง ๆ แล้วความเข้าใจต่อปรากฏการณ์นี้อาจช่วยอธิบายข้อสงสัยหลายอย่างเกี่ยวกับความวิบัติหรือความบกพร่องของงานวิศวกรรมปฐพีที่มีการซึมของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง

วิธีทางทฤษฎีของ Kezdi (1979) และ Kenney และ Lau (1985 และ 1986) ค่อนข้างเป็นที่ยอมรับในการใช้ประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดเซาะภายในโครงสร้างมวลดินซึ่งวิธีที่ไม่ซับซ้อนและน่าจะถูกนำไปบรรจุในเอกสารประกอบการสอนหรือแม้แต่ตำราด้านปฐพีกลศาสตร์ แต่

องค์ความรู้ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างลึกซึ้งด้วยหลักทางกลศาสตร์เริ่มยังมีงานวิจัยในวงจำกัดอยู่ เพราะการศึกษาวิจัยต้องเกี่ยวข้องกับองค์ความรู้เรื่องระบบแรงที่กระทำต่ออนุภาคเม็ดดินซึ่งเป็นสิ่งที่วัดได้ยากในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม การทดสอบในห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่ยากนัก เครื่องมือที่ใช้เป็นลักษณะเดียวกันกับการทดสอบการไหลซึมผ่านมวลดินทั่วไป จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา เห็นว่าทั้งเครื่องมือและวิธีการทดสอบนิยมดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM Designation: D2434 - 68 และ D 5101 - 01 เนื่องจากเครื่องมือไม่ได้มีกลไกซับซ้อนมากนักจึงเอื้อต่อการออกแบบและสร้างขึ้นใช้เองได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hagerty, D.J. (1992). **Identification of piping and sapping erosion of streambanks. Contract Report HL-92-1.** US Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS, USA.
- [2] Crosta, G. & di Prisco, C. (1999). "On slope instability induced by seepage erosion," **Canadian Geotechnical Journal.** 36 (No. 6): 1056-1073.
- [3] Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1995). **Soil Mechanics in Engineering Practice.** 3rd edition. USA.: John Wiley & Sons.
- [4] Hutchinson, J.N. (1982). "Damage to slopes produced by seepage erosion in sands. In Landslides and mudflows," Edited by A. Sheko. **Reports of Alma Ata International Seminar.** October 1981. Centre of International Projects. GKNT, Moscow. pp. 250-265.
- [5] Fox, G.A., Chu-Agor, M.L. and Wilson, G.V. (2007). "Seepage erosion: A significant mechanism of stream bank failure," **Proceedings of the American Society of Civil Engineers (ASCE) World Environmental and Water Resources Congress.** May 15-19, 2007. Tampa, FL, USA. pp. 1-14.
- [6] Kenney, T. C. & Lau, D. (1985). "Internal stability of granular filters," **Canadian Geotechnical Journal.** 22 (No. 2): 215-225.
- [7] Kenney, T. C. & Lau, D. (1986). "Internal stability of granular filters: Reply," **Canadian Geotechnical Journal.** 23 (No. 3): 420-423.
- [8] Lowe, J. (1988). **Seepage Analysis. Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation.** New York, Van Nostrand Reinhold, pp. 270-275.
- [9] Skempton AW, Brogan JM. (1994). "Experiments on piping in sandy gravels," **Geotechnique.** 44(3): pp. 449-460.

- [10] Moffat, R.M. and Fannin, R.J. (2011). "A hydromechanical relation governing the internal stability of cohesionless soil," **Canadian Geotechnical Journal**. Vol. 48 (No.3): 413-424.
- [11] Ripley, C.F. (1986). "Internal stability of granular filters: Discussion," **Canadian Geotechnical Journal**. Vol. 23 (No. 2): 253-255.
- [12] Moffat, R.M., Fannin, R.J. and Garner, S.J. (2011). "Spatial and temporal progression of internal erosion in cohesionless soil," **Canadian Geotechnical Journal**. Vol. 48 (No. 3): 399-412.
- [13] Kezdi A. (1979). **Soil Physics**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publication.
- [14] Fannin, R.J. (2008). "Karl Terzaghi: from theory to practice in geotechnical filter design," **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. 134 (No. 3): 267-276.
- [15] Sherard J.L. and Dunnigan L.P. (1984). "Filters for clays and silts," **ASCE Journal of Geotechnical Division**. 110: 701-718.
- [16] อติเทพ ศรีคงศรี (2554). "แนวทางการเลือกเกณฑ์การออกแบบวัสดุกรองชนิดจีโอเท็กซ์ไทล์," การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16. ชลบุรี. (เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ รหัส GTE045)
- [17] Li M, Fannin R.J. (2008). "Comparison of two criteria for internal stability of granular soil," **Canadian Geotech. J**. Vol. 45: pp. 1303-1309.
- [18] Indraratna, B & Vafai, F (1997). "Analytical model for particle migration within base soil-filter system," **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. 123 (No. 2): 100-109.
- [19] Indraratna, B. & Radampola, S. (2002). "Analysis of critical hydraulic gradient for particle movement in filtration," **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. 128 (No. 4): 347-350.
- [20] Li, M. and Fannin, R.J. (2012). "A theoretical envelope for internal instability of cohesionless soil," **Geotechnique**. vol. 62: pp. 77-80.
- [21] ASTM D2434 - 68 (reapproved 2006). **Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)**. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.
- [22] Moffat, R.A. and Fannin, R.J. (2006). "A large permeameter for study of internal stability in cohesionless soils," **ASTM Geotechnical Testing Journal**. Vol. 29 (No. 4): pp. 273-279.

- [23] ASTM D 5101 - 01 (reapproved 2006). **Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio.** American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.

ประวัติผู้เขียน



ดร.อติเทพ ศรีคงศรี

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

โทรศัพท์ 02-3202777 ต่อ 1202