การประเมินคุณสมบัติของดินธรรมชาติบริเวณรอบหลุมฝังกลบขยะ ในการเป็นแนวกั้นรองป้องกันการแพร่กระจายของน้ำชะขยะ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Assessment of Natural Soil Properties Surrounding a Landfill as a Secondary Barrier Against Leachate Migration in Bang Ban District, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

ศิรภัสสร พันธะสา[1*]

Sirapassorn Phanthasa[1*]

รับบทความ 30 พฤษภาคม 2568/ ปรับแก้ไข 17 มกราคม 2569/ ตอบรับบทความ 21 มกราคม 2569

Received: May 30, 2025/ Revised: January 17, 2026/ Accepted: January 21, 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณสมบัติของดินธรรมชาติบริเวณรอบหลุมฝังกลบขยะ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในฐานะ “แนวกั้นรอง” (secondary barrier) โดยการเก็บตัวอย่างดินและวิเคราะห์สมบัติดินเชิงวิศวกรรม ได้แก่ ค่าขีดจำกัดความข้นเหลว (LL), ค่าดัชนีพลาสติก (PI), ค่าการบดอัด (OMC และ MDD) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (k) ตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าดิน S1 และ S2 จัดเป็นดินเหนียวพลาสติกต่ำ (CL) และดินเหนียวพลาสติกสูง (CH) ตามลำดับ โดยมีค่าพลาสติกและปริมาณอนุภาคละเอียดที่เอื้อต่อการอัดแน่น อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชั้นดินกันซึม โดยค่า k ของ S1 และ S2 อยู่ที่ 1.859×10^{-4} และ 5.1×10^{-7} cm/s ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ($\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s) และยังมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดต่ำกว่ามาตรฐาน บ่งชี้ว่าดินธรรมชาติในพื้นที่ศึกษายังไม่สามารถทำหน้าที่เป็นแนวกั้นรองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประเมินร่วมกับปัจจัยเชิงพื้นที่ เช่น การตั้งอยู่ในพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษามีความเปราะบางทางสิ่งแวดล้อม แนวทางจัดการควรเน้นการพัฒนาระบบฝังกลบ เช่น การติดตั้งระบบชั้นดินกันซึมแบบสองชั้น ระบบบ่อน้ำใต้ดิน และการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการขยะและติดตามสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: แนวกั้นรอง หลุมฝังกลบขยะ ชั้นดินกันซึม

[1]สาขาการจัดการสาธารณภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Department of Disaster Management, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

*Corresponding author, E-mail: sirapassorn@vru.ac.th

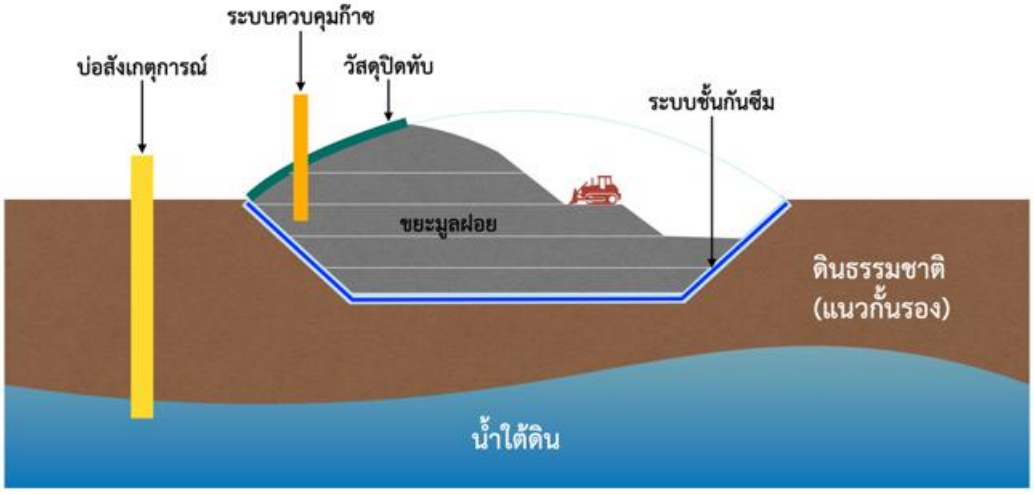
Abstract

This study aimed to evaluate the properties of natural soil surrounding the landfill site in Bang Bal District, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province, as a "secondary barrier" through soil sample collection and analysis of engineering soil properties, including liquid limit (LL), plasticity index (PI), compaction parameters (OMC and MDD), and coefficient of permeability (k) according to ASTM standards. The study findings revealed that soils S1 and S2 were classified as low plasticity clay (CL) and high plasticity clay (CH), respectively, with plasticity values and fine particle content conducive to compaction. However, the coefficient of permeability values did not meet the standard criteria for clay liner, with k values of S1 and S2 at 1.859×10^{-4} and 5.1×10^{-7} cm/s, respectively, which exceeded the specified threshold ($\leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s), and maximum dry density values below standard requirements. This indicates that natural soil in the study area cannot effectively function as a secondary barrier. Assessment combined with spatial factors, such as location in flood-risk areas, demonstrates that the study area exhibits environmental vulnerability. Management approaches should emphasize landfill system development, including double-liner installation, groundwater monitoring systems, and community participation in waste management and sustainable environmental monitoring.

Keywords: Secondary barrier, Landfill, Clay liner

บทนำ

การฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและสามารถรองรับปริมาณขยะจำนวนมากได้ โดยขยะมูลฝอยจะถูกรวบรวมและลำเลียงไปเทกองไว้ในบ่อฝังกลบ จากนั้นจะถูกเกลี่ยและบดอัดให้ยุบตัวลงโดยใช้เครื่องกลหนักแล้วปิดทับด้วยวัสดุปิดทับ กระบวนนี้จะดำเนินการทำให้ได้ขยะมูลฝอยที่ถูกบดอัดกันเป็นชั้นๆ จนได้ความสูงที่ต้องการจึงทำการปิดทับชั้นสุดท้าย โดยระบบฝังกลบขยะมูลฝอยจะต้องถูกออกแบบและก่อสร้างที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล โดยพื้นที่ที่เหมาะสมควรมีชั้นดินหรือชั้นหินตามธรรมชาติที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำต่ำ มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับปริมาณขยะมูลฝอยได้ ต้องมีบ่อสังเกตการณ์น้ำใต้ดิน ระบบควบคุมก๊าซ และต้องมีระบบชั้นกันซึมป้องกันการไหลของน้ำชะขยะมูลฝอยลงสู่สิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังมีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะจากน้ำชะขยะที่สามารถแทรกซึมผ่านชั้นดินลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินหรือแหล่งน้ำผิวดินบริเวณใกล้เคียง ดินธรรมชาติรอบบริเวณหลุมฝังกลบจึงมีบทบาทในฐานะ “แนวกั้นรอง” (secondary barrier) ที่ช่วยจะช่วยชะลอความเร็วของน้ำชะขยะและช่วยลดปริมาณการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมใต้ดินได้ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักของหลุมฝังกลบขยะ

โครงสร้างของดินธรรมชาติมีคุณสมบัติในการดูดซับและกักเก็บสารมลพิษบางประเภท ซึ่งอาจช่วยสนับสนุนระบบชั้นกันซึมหลักในกรณีที่เกิดความเสียหาย โดย Cuevas et al. (2012) ได้ศึกษาดินเหนียวธรรมชาติที่อยู่ใต้หลุมฝังกลบอายุ 20 ปี โดยใช้แบบจำลองธรณีเคมีร่วมกับการทดลองในห้องแล็บและตัวอย่างจริงจากหลุมฝังกลบเพื่อประเมินการแพร่ของสาร เช่น แอมโมเนียม, โซเดียม และคลอไรด์ พบว่าดินชั้นลึกที่ไม่ถูกรบกวนทางกลศาสตร์มีความสามารถสูงในการชะลอการแพร่กระจายของสารมลพิษผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนและการแพร่แบบจำกัด ยืนยันว่า ดินเหนียวธรรมชาติสามารถทำหน้าที่เป็นแนวกั้นธรรมชาติ (natural barrier) ที่มีประสิทธิภาพในการปกป้องน้ำใต้ดินจากมลพิษของน้ำชะขยะในระยะยาว แม้จะยังไม่มีเกณฑ์เฉพาะสำหรับการประเมินดินธรรมชาติในบทบาทแนวกั้นรอง แต่สามารถอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานของการออกแบบชั้นดินกันซึมตามแนวคิดของ Daniel และ Benson (1990) ได้แก่ ค่าขีดจำกัดความข้นเหลวอยู่ระหว่าง 20-90%, ค่าดัชนีมากกว่า 7%, ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไม่เกิน 1×10^{-7} cm/s, มีปริมาณดินอนุภาคเม็ดละเอียดมากกว่า 30-50%, มีค่าความชื้นสูงสุดอยู่ในช่วงเหมาะสมสำหรับการบดอัดและมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงกว่า 1.4 g/cm^3 นอกจากนี้ การศึกษาของ Regadío et al. (2020) ได้นำเสนอค่าคุณสมบัติของดินเหนียวธรรมชาติ 4 ชนิด ได้แก่ London Clay, Oxford Clay, Shallow Coal Measures Clay และ Deep Coal Measures Clay ซึ่งล้วนมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำ ความหนาแน่นแห้งสูง และคุณสมบัติด้านพลาสติกตามเกณฑ์มาตรฐานและเหมาะสมต่อการทำหน้าที่เป็นแนวกั้นตามธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน จึงสามารถใช้เป็นกรณีอ้างอิงสำคัญในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ศักยภาพของดินอื่นๆ ที่มีบทบาทเป็นแนวกั้นรองในระบบฝังกลบขยะได้

ในทางกลับกัน หากเกิดการรั่วไหลของน้ำชะขยะมูลฝอยลงสู่ชั้นดินใต้พื้นที่ฝังกลบ และดินธรรมชาติรอบบริเวณไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการทำหน้าที่เป็นแนวกั้นรอง จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติกายภาพและกลศาสตร์ของดิน ดินจะอ่อนตัว สูญเสียความหนาแน่นและความแข็งแรงเฉือน ทำให้ค่าการซึมผ่านของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ช่องว่างในเนื้อดินขยายตัว และเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ส่งผลให้แร่ดินเกิดการแตกตัวหรือเปลี่ยนสภาพ ส่งผลให้มลพิษจากน้ำชะขยะซึมลึกลงสู่ชั้นดินและน้ำใต้ดิน และยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการทรุดตัวหรือพังทลายของโครงสร้างหลุมฝังกลบ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนโดยรอบ (Harun et al., 2025) ปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาคุณสมบัติของดินธรรมชาติในพื้นที่ฝังกลบ เพื่อประเมินศักยภาพในการทำหน้าที่เป็นแนวกั้นรองและวางแนวทางจัดการป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างเหมาะสม

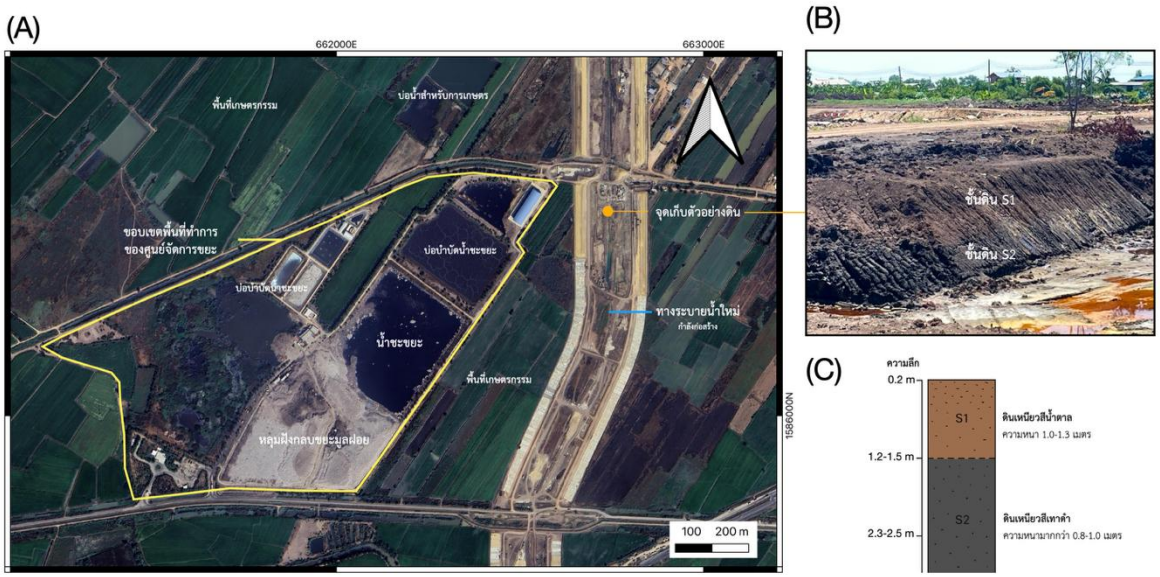
พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ หลุมฝังกลบขยะในอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นพื้นที่จัดการขยะที่รองรับขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste) โดยมีการรับขยะมาทิ้งวันละประมาณ 500 ตัน ดำเนินการโดยองค์การบริหารส่วนจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ใช้วิธีการฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งแม้จะมีการติดตั้งชั้นกันซึมแบบสังเคราะห์ (Geosynthetic Clay Liner, GCL) แล้ว แต่ยังคงมีปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่ควรมีการจัดการ ได้แก่ การเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้บ่อขยะที่ต้องใช้น้ำปริมาณมากในการดับเพลิง จนนำไปสู่การเกิดน้ำชะขยะในปริมาณสูง และความเสี่ยงจากน้ำท่วมซ้ำซาก รวมถึงการขุดลอกทางระบายน้ำใหม่ในระยะประชิดที่อาจกลายเป็นช่องทางแพร่กระจายของมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมใกล้เคียงที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและแหล่งน้ำผิวดิน

งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินธรรมชาติในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานชั้นดินกันซึมและดินธรรมชาติตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์และมีประสิทธิภาพในการเป็นชั้นดินกันซึมธรรมชาติ เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการเป็นแนวกั้นรองป้องกันน้ำชะขยะ ประเมินความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อม และนำเสนอแนวทางจัดการอย่างเหมาะสมในบริบทพื้นที่

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บตัวอย่างดิน

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นด้วยการเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณรอบหลุมฝังกลบขยะในอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ณ ตำแหน่งในรูปที่ 2(A) ซึ่งมีระดับความสูงอยู่ที่ 10 เมตร จากน้ำทะเลปานกลาง ในขณะที่หลุมฝังกลบขยะมีระดับความสูงของฐานหลุมอยู่ที่ 11-12 เมตร ตัวอย่างดินที่เก็บได้จึงมาจากชั้นดินที่อยู่ลึกกว่าระดับฐานหลุมฝังกลบ



รูปที่ 2 (A) สภาพแวดล้อมของหลุมฝังกลบขยะอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดิน, (B) หน้าตัดชั้นดินที่เกิดจากการขุดลอกทางระบายน้ำใหม่ และ (C) ภาพจำลองความหนาของชั้นดิน

และสามารถใช้เป็นตัวแทนของชั้นดินธรรมชาติใต้หลุมฝังกลบได้ การเก็บตัวอย่างใช้วิธีการเก็บแบบเลือกตำแหน่ง (judgmental sampling) โดยอาศัยโอกาสจากกิจกรรมขุดลอกเพื่อก่อสร้างระบบระบายน้ำ ซึ่งช่วยเปิดเผยหน้าตัดชั้นดินอย่างชัดเจน พบว่าชั้นดินในพื้นที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นหลัก ในรูปที่ 2(B) ได้แก่ ชั้นดินเหนียวสีน้ำตาล (S1) ที่อยู่ชั้นบนที่ระดับความลึก 0.2-1.5 เมตร และชั้นดินเหนียวสีเทาดำ (S2) ที่อยู่ถัดลงไปที่ระดับลึก 1.5 เมตรลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2(C)

สำหรับชั้นดิน S1 ได้เก็บตัวอย่างดินที่ช่วงความลึกประมาณ 0.5–1.0 เมตรจากผิวดิน ส่วนชั้นดิน S2 เก็บที่ช่วงความลึกประมาณ 1.6–2.0 เมตร ในแต่ละชั้นดินได้เลือกจุดเก็บตัวอย่างย่อยจำนวน 3 จุดที่สภาพดินมีความสม่ำเสมอและไม่ถูกรบกวน โดยแต่ละจุดอยู่ห่างกันประมาณ 10 เมตรเก็บตัวอย่างดินจุดละประมาณ 5 กิโลกรัมต่อชั้นดิน จากนั้นนำดินที่เก็บได้จากจุดย่อยเหล่านี้มาผสมรวมเป็นตัวอย่างดินรวม (composite sample) ของชั้นดินนั้น

ตัวอย่างดินถูกเก็บด้วยอุปกรณ์มือ ได้แก่ จอบและเกรียงสแตนเลส แล้วบรรจุในถุงพลาสติกหนาที่ปิดสนิทเพื่อรักษาความชื้นตามธรรมชาติ หลักการเก็บตัวอย่างดินเป็นไปตามแนวทางของ USDA NRCS Soil Survey Manual (2017) ว่าด้วยการเก็บและเก็บรักษาตัวอย่างดินเพื่อการทดสอบทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการโดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อโครงสร้างดินที่อาจมีผลต่อผลการวิเคราะห์ ซึ่งเหมาะสมในกรณีที่ต้องการเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะโดยไม่ได้ใช้หลักการทางสถิติหรือการสุ่ม

การทดสอบคุณสมบัติดิน

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของดินตัวอย่างเพื่อใช้วิเคราะห์ศักยภาพในการเป็นชั้นดินกันซึม ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการตามขั้นตอนภายใต้มาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM)(ASTM International, 2004) โดยมีตัวแปรสำคัญซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใช้ในการประเมินศักยภาพชั้นดินกันซึม ได้แก่

1) การทดสอบหาค่าขีดจำกัดความข้นเหลว (Atterberg's limits) ตามมาตรฐาน ASTM D4318 เพื่อหาค่าความสามารถในการเปลี่ยนรูปของดินเมื่อมีความชื้น โดยการหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit: LL) ทำได้โดยนำดินใส่ในถ้วยเคาะมาตรฐาน บากร่องด้วยมีด และเคาะด้วยความถี่ 2 ครั้งต่อวินาที จนร่องดินปิดยาว 1 เซนติเมตร แล้วคำนวณหาค่าร้อยละความชื้นที่ดินเปลี่ยนจากสถานะของเหลวเป็นพลาสติก ส่วนการหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit: PL) ทำโดยการปั้นดินให้เป็นแท่งกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว และสังเกตจุดที่ดินเริ่มแตกร้าว ซึ่งเป็นจุดที่ดินเปลี่ยนจากสถานะพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง การทดสอบทั้งสองทำซ้ำ 5 ครั้งเพื่อเพิ่มความเที่ยงและความเชื่อมั่นของผลการทดสอบ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและคำนวณค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity Index: PI = LL – PL) เพื่อใช้วิเคราะห์คุณสมบัติการเปลี่ยนสถานะของดิน

2) การทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Compaction Test) ตามมาตรฐาน ASTM D698 โดยการปรับปรุงปริมาณความชื้นในตัวอย่างดินให้แตกต่างกัน 5 ระดับ บดอัดดินในกระบอกบดอัดมาตรฐาน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 112.5 มิลลิเมตร มีปริมาตร 111.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร แบ่งการบดอัดออกเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน โดยในแต่ละ

ชั้นทำการบดอัดจำนวน 25 ครั้ง หลังการบดอัดแต่ละชุดชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักรวมของดิน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินบางส่วนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105–110 °C จนมีน้ำหนักคงที่ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าร้อยละความชื้น (Water Content) และใช้คำนวณหาค่าความหนาแน่นเปียก (Wet Density) และความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของดินในแต่ละชุด ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละระดับความชื้น จึงนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลมาแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้น เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ดินสามารถอัดแน่นได้มากที่สุด (Optimum Moisture Content, OMC) และความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินที่ได้จากการอัดแน่นที่ความชื้นที่เหมาะสมที่สุด (Maximum Dry Density, MDD)

3) การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability) โดยใช้ชุดทดสอบแบบผนังยืดหยุ่น (Flexible Wall Permeameter) ตามมาตรฐาน ASTM D5084 เพื่อให้ได้ค่าความสามารถในการซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ทำได้โดยเตรียมตัวอย่างดินทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.93 เซนติเมตร ความยาว 22.2 เซนติเมตร ปริมาตร 1095.07 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรจุในชุดทดสอบแบบผนังยืดหยุ่น กำจัดอากาศ แล้วกดทับแกนดินแบบไอโซโทรปิกจนคงที่ คำนวณค่าความสามารถในการซึมผ่านของแต่ละรอบ ทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

4) การจำแนกดินตามระบบ Unified Soil Classification System (USCS) ตามมาตรฐาน ASTM D2487 โดยใช้การร่อนผ่านตะแกรง (sieve analysis) และผลการทดสอบ Atterberg's limits กระบวนการประกอบด้วยการทดสอบขนาดเม็ดดินด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง โดยใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐานเบอร์ 4 (4.76 มิลลิเมตร), เบอร์ 10 (2.0 มิลลิเมตร), เบอร์ 40 (0.42 มิลลิเมตร), เบอร์ 100 (0.15 มิลลิเมตร) และเบอร์ 200 (0.074 มิลลิเมตร) ตามลำดับ เพื่อหาสัดส่วนของดินที่เป็นกรวด ทราย และดินละเอียด โดยพิจารณาจากร้อยละของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หากมีมากกว่าร้อยละ 50 จะจัดเป็นดินเม็ดละเอียด (fine-grained soil) จากนั้นจึงใช้ค่า LL และค่า PI แยกประเภทดินเม็ดละเอียดเป็นกลุ่ม CL (ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวพลาสติก), CH (ดินเหนียวพลาสติกสูง), ML (ตะกอนทรายพลาสติกต่ำ), หรือ MH (ตะกอนทรายพลาสติกสูง) ตามระบบ USCS

ผลการวิจัย

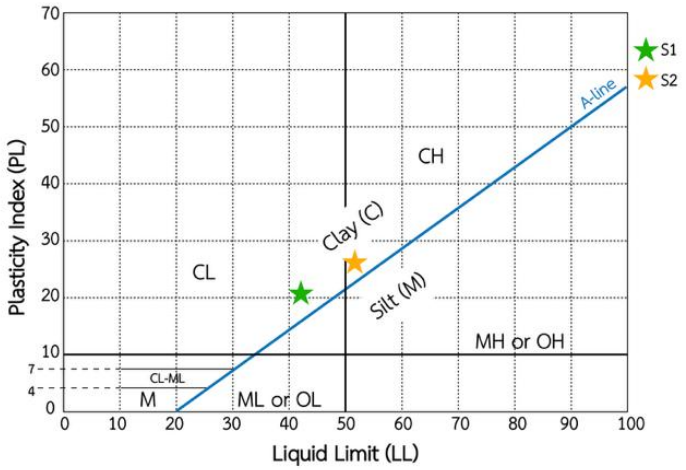
ผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

ผลการทดสอบการจัดจำแนกดินตัวอย่างจากหลุมฝังกลบขยะ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่าตัวอย่างดินทั้งสองตัวอย่าง ได้แก่ S1 และ S2 เป็นดินเม็ดละเอียด (fine-grained soil) มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สูงกว่า 50% โดย S1 มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงเท่ากับ 89.3% และ S2 เท่ากับ 98.4% ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกระจายขนาดเม็ดดินของตัวอย่างดิน S1 และ S2 โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง

ตะแกรงเบอร์ (ขนาด, mm)	% passing sieve	
	S1	S2
4 (4.76)	98.5	100
10 (2.0)	97.4	100
40 (0.42)	94.0	99.7
100 (0.15)	89.7	99.0
200 (0.074)	89.3	98.4

ผลการทดสอบค่าขีดจำกัดความข้นเหลว พบว่า ตัวอย่าง S1 มีค่า LL=44.20% และ PI=20.26% ขณะที่ตัวอย่าง S2 มีค่า LL สูงกว่า คือ 51.30% และมีค่า PI=26.67% สูงกว่า S1 แสดงให้เห็นว่า S2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมากกว่า S1 และมีแนวโน้มที่จะแสดงพฤติกรรมแบบพลาสติกได้เด่นชัดกว่า เมื่อนำค่า LL และ PI ของทั้งสองตัวอย่างพล็อตลงในแผนภาพความเป็นพลาสติกเพื่อจำแนกดินละเอียดตามระบบ USCS สามารถจำแนกได้ว่าทั้ง S1 และ S2 เป็นดินเหนียว (Clay) แต่ S1 ซึ่งมีค่า LL ต่ำกว่า 50 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม CL (ดินเหนียวพลาสติกต่ำ) ขณะที่ S2 ซึ่งมีค่า LL มากกว่า 50 อยู่ในกลุ่ม CH (ดินเหนียวพลาสติกสูง) (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 กราฟแสดงการจำแนกประเภทดินของตัวอย่าง S1 และ S2 บนแผนภาพความเป็นพลาสติกตามระบบ USCS

ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน พบว่า S1 มีค่า OMC เท่ากับ 19.70% และค่า MDD เท่ากับ 1.32 g/cm³ ในขณะที่ S2 มีค่า OMC ต่ำกว่า (17.00%) และค่า MDD ต่ำกว่าเช่นกัน (1.248 g/cm³) ซึ่งอาจสะท้อนถึงองค์ประกอบของเม็ดดินที่แตกต่างกัน หรือการกระจายขนาดเม็ดดินที่มีผลต่อความหนาแน่นเมื่อถูกบดอัด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของตัวอย่างดินกับเกณฑ์มาตรฐานของชั้นกันซึม

ตัวแปร (หน่วย)	ตัวอย่างดินในการศึกษา		เกณฑ์ของ Daniel & Benson (1990)	ดินตัวอย่างของ Regadío et al. (2020)				สรุปการผ่านเกณฑ์
	S1	S2		London Clay (LC)	Oxford Clay (OC)	Shallow Coal Measures Clay (SCMC)	Deep Coal Measures Clay (DCMC)	
LL (%)	44.20	51.30	20-90	79	53	40	44	ผ่าน
PI (%)	20.26	26.67	≥ 7	51	24	18	19	ผ่าน
k (cm/s)	1.859×10^{-4}	5.1×10^{-7}	$\leq 1 \times 10^{-7}$	$0.3–0.8 \times 10^{-7}$	$0.3–0.8 \times 10^{-7}$	ไม่ระบุแต่แนวโน้มดี	ไม่ระบุแต่แนวโน้มดี	ไม่ผ่าน
Fine Content (%)	89.3	98.5	≥ 30–50	สูงมาก	สูงมาก	สูง	สูง	ผ่าน
OMC (%)	19.70	17.00	อยู่ในช่วงเหมาะสมสำหรับ compaction	25–29	25–29	16–17	16–17	ผ่าน
MDD (g/cm³)	1.32	1.248	≥1.4	1.43–1.47	1.43–1.47	1.78–1.80	1.78–1.80	ไม่ผ่าน

สำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability, k) พบว่า S1 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (k) เท่ากับ 1.859×10^{-4} cm/s ในขณะที่ S2 มีค่า k ต่ำกว่ามาก (5.1×10^{-7}cm/s) ซึ่งบ่งชี้ว่า S2 มีโครงสร้างที่หนาแน่นหรือมีสัดส่วนของอนุภาคขนาดเล็กสูงกว่า S1 ทำให้การซึมผ่านของน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินตัวอย่างในพื้นที่ศึกษากับค่าเกณฑ์มาตรฐานตามทฤษฎีของ Daniel and Benson (1990) พบว่า ทั้งตัวอย่าง S1 และ S2 มีคุณสมบัติที่ผ่านเกณฑ์ 4 ตัวแปร (ตารางที่ 2) ต่อไปนี้

1) LL ของทั้งสองตัวอย่างอยู่ที่ 44.20% (S1) และ 51.30% (S2) ซึ่งทั้งคู่เกินกว่าค่าขั้นต่ำที่ 20% แต่ยังต่ำกว่า 90% ตามช่วงเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้เนื้อดินสามารถรับความแปรปรวนของความชื้นได้ดีโดยไม่เปลี่ยนสภาวะจากพลาสติกไปเป็นของเหลวอย่างฉับพลัน

2) PI ของ S1 เท่ากับ 20.26% และ S2 เท่ากับ 26.67% สูงกว่าเกณฑ์ 7% อย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ว่าดินทั้งสองมีโครงสร้างที่เหนียวแน่นพอจะป้องกันการแตกร้าวและลดการแพร่กระจายของหยดน้ำใต้แรงกดดันได้ดี

3) ปริมาณอนุภาคละเอียด (Fine Content) ในทั้งคู่มีสูงถึง 89.3% และ 98.4% ตามลำดับ ซึ่งนับว่าเกินค่ามาตรฐาน 30–50% มาก ช่วยให้ช่องว่างภายในเม็ดดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงเอื้อต่อการอัดแน่นให้เกิดความหนาแน่นแห้งสูงและลดพฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำได้ดียิ่งขึ้น

4) ค่า OMC อยู่ในช่วง 19.70% (S1) และ 17.00% (S2) ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการบดอัดตาม Proctor ทั่วไป ช่วยให้การกระจายน้ำภายในดินเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและการอัดแน่นเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

อย่างไรก็ตาม ดินในพื้นที่ศึกษามีตัวแปรที่สำคัญไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 2 คุณสมบัติ ได้แก่

1) สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน (k) ที่ใช้เป็นชั้นกันซึมควรไม่เกิน 1×10^{-7} cm/s จะเห็นได้ชัดว่า S1 ที่มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ 1.859×10^{-4}cm/s สูงเกินกว่ามาตรฐานถึงประมาณ 1,800 เท่า ขณะที่ S2 มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ 5.1×10^{-7} cm/s แม้จะใกล้เคียงเกณฑ์มากกว่า แต่ก็ยัง สูงกว่าเกณฑ์อยู่ประมาณ 5 เท่า

2) ค่า MDD ที่อยู่ที่ 1.32 และ 1.248 g/cm³ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ประมาณ ≥ 1.4 g/cm³ ส่งผลให้โครงสร้างของดินมีความพรุนมากกว่าที่ควรจะเป็น

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษากับดินตัวอย่างที่มีคุณสมบัติเหมาะสม 4 ชนิดจากการศึกษาของ Regadío et al. (2020) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (k) และความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MDD) ของตัวอย่าง S1 และ S2 จะเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินมาตรฐานทั้งสี่ชนิดที่ผ่านเกณฑ์เต็มรูปแบบ ได้แก่ London Clay ($k = 0.3–0.8\times10^{-7}$ cm/s, MDD = 1.43–1.47 g/cm³), Oxford Clay ($k = 0.3–0.8\times10^{-7}$ cm/s, MDD = 1.43–1.47 g/cm³), Shallow Coal Measures Clay ($k \leq 1\times10^{-7}$ cm/s, MDD = 1.78–1.80 g/cm³) และ Deep Coal Measures Clay ($k \leq 1\times10^{-7}$ cm/s, MDD = 1.78–1.80 g/cm³)

อภิปรายผล

การประเมินประสิทธิภาพของดินธรรมชาติในฐานะ ‘แนวกั้นรอง’

การประเมินประสิทธิภาพของดินธรรมชาติในบริเวณหลุมฝังกลบขยะอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในฐานะ ‘แนวกั้นรอง’ พบว่า ดินตัวอย่าง S1 และ S2 มีคุณสมบัติบางประการที่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานของ Daniel & Benson (1990) ได้แก่ ค่า LL ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการรักษาสถานะทางพลาสติกเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง ควบคู่กับค่า PI ที่สูงกว่าขั้นต่ำอย่างชัดเจน สะท้อนความเหนียวแน่นและความต้านทานการแตกร้าวได้ดี ปริมาณอนุภาคละเอียดของทั้งสองตัวอย่างสูงกว่าค่าขั้นต่ำมาก เอื้อต่อการอัดแน่นและลดการซึมผ่านของน้ำ และค่า OMC อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการบดอัดภาคสนาม แต่เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด พบว่าทั้งสองตัวแปรไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ S1 มีค่า k สูงกว่าขีดจำกัดมาตรฐานถึงประมาณ 1,800 เท่า ในขณะที่ S2 แม้จะมีค่า k ต่ำกว่า แต่ยังสูงกว่ามาตรฐานประมาณ 5 เท่า แสดงถึงความพรุนและช่องว่างภายในโครงสร้างดินที่เอื้อต่อการไหลซึมของน้ำชะขยะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับสารปนเปื้อนตามธรรมชาติ และยังมีค่า MDD ต่ำกว่ามาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบกับดินธรรมชาติที่ผ่านการประเมินแล้วว่าสามารถทำหน้าที่เป็นชั้นดินกันซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพตามการศึกษาของ Regadío et al. (2020) พบว่าดินทั้งสี่ชนิดดังกล่าวมีค่า k และ MDD อยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการอัดแน่นสูงและมีโครงสร้างที่แน่นหนาเพียงพอในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำชะขยะได้อย่างยั่งยืน ขณะที่ MDD ของดินในพื้นที่ศึกษายังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างดินมีความหลวมแม้จะบดอัด ส่งผลให้ไม่สามารถสกัดกั้นน้ำชะขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสี่ยงต่อการแตกร้าวของชั้นดินภายใต้แรงกดดันของมวลขยะหรือแรงดันน้ำในระยะยาว ซึ่งอาจนำไปสู่การปนเปื้อนของสารอันตรายลงสู่ชั้นใต้ดินและสิ่งแวดล้อม

จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า ดินธรรมชาติในพื้นที่ศึกษายังไม่สามารถทำหน้าที่เป็นแนวกั้นรองที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์วิศวกรรมหรือไม่สามารถป้องกันการซึมของน้ำชะขยะเทียบเท่าชั้นดินกันซึมตามมาตรฐานได้ ทำให้ระบบการป้องกันสิ่งแวดล้อมทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับชั้นกันซึมหลักของหลุมฝังกลบขยะหรือ GCL เพียงอย่างเดียว และในกรณีที่ชั้นกันซึมหลัก ระบบการป้องกันสิ่งแวดล้อมจะขาดชั้นป้องกันสำรองที่มีคุณภาพเพียงพอในการยับยั้งการแพร่กระจายของมลพิษ

การประเมินความเสี่ยงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เมื่อนำผลการประเมินประสิทธิภาพของดินธรรมชาติในการทำหน้าที่เป็นแนวกั้นรองรับน้ำชะขยะมาพิจารณาร่วมกับปัจจัยเชิงพื้นที่ของ หลุมฝังกลบขยะอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า ปัญหาในพื้นที่ดังกล่าวมีส่วนส่งเสริมและเพิ่มระดับความเสี่ยงของการปนเปื้อน กล่าวคือ (1) พื้นที่ตั้งของหลุมฝังกลบขยะอยู่ในเขตที่มีประวัติการเกิดอุทกภัย แม้ว่าจะยังไม่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 แต่หากเกิดน้ำท่วมในอนาคต อาจส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนและ

น้ำหลากไหลเข้าสู่หลุมฝังกลบในปริมาณมาก ทำให้เกิดน้ำชะขยะปริมาณสูงที่มีศักยภาพในการแพร่กระจายของสารมลพิษ ทั้งสารอินทรีย์ สารเคมี และโลหะหนัก สู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ (2) หลุมฝังกลบขยะมีการรับขยะมูลฝอยในปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง การควบคุมระบบก๊าซยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ทำให้เกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้จากการสะสมของก๊าซบ่อยครั้ง การดับเพลิงต้องใช้น้ำในปริมาณมากซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของน้ำชะขยะอย่างเฉียบพลัน และอาจเกินความสามารถของระบบรองรับน้ำชะขยะที่มีอยู่ ส่งผลให้เกิดการเอ่อท่วมและการไหลซึมของน้ำชะขยะลงสู่ดินและชั้นใต้ดินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และ (3) การขุดคลองระบายน้ำใหม่ในระยะห่างจากหลุมฝังกลบขยะเพียง 200 เมตร หากไม่มีระบบป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่เหมาะสม อาจกลายเป็นช่องทางแพร่กระจายโดยตรงของน้ำชะขยะที่ปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและพื้นที่เกษตรกรรม

ผลการพิจารณาผลการศึกษาศักยภาพดินธรรมชาติในฐานะแนวกั้นรองและปัจจัยด้านพื้นที่ทั้งสามประการนี้มีสามารถสรุปได้ว่า หลุมฝังกลบขยะในอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดปัญหาการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยเฉพาะในกรณีที่เกิดการรั่วไหลของน้ำชะขยะออกนอกระบบ เนื่องจากชั้นดินธรรมชาติที่ทำหน้าที่เป็นแนวกั้นไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่าชั้นดินกันซึมที่ออกแบบเฉพาะ น้ำชะขยะจึงมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินสู่ชั้นใต้ดินได้รวดเร็วกว่ากระบวนการดูดซึมและการกักเก็บตามธรรมชาติ ซึ่งอาจส่งผลให้แหล่งน้ำใต้ดินซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำคัญสำหรับการอุปโภคบริโภคและการเกษตร รวมทั้งแหล่งน้ำผิวดินใกล้เคียง เช่น คลองชลประทานและบ่อเกษตรกรรม ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนสารมลพิษ

ปัญหาเช่นเดียวกันนี้ สามารถพบได้ในกรณีศึกษาหลุมฝังกลบขยะในจังหวัดนครปฐม ซึ่งตั้งอยู่ใกล้ชุมชนและคลองสาธารณะ ได้ประสบกับปัญหาน้ำชะขยะรั่วไหลสู่คลอง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) ในน้ำผิวดินเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของเกษตรกรในพื้นที่ (ภูวดล ธรรมรัตน์ และ ศศิธร กุลนิล, 2561) และกรณีศึกษาที่จังหวัดระยองซึ่งมีการฝังกลบขยะอุตสาหกรรมโดยไม่มีระบบป้องกันการซึมผ่านอย่างเหมาะสม พบว่ามีการตรวจพบสารโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว และแคดเมียม ในแหล่งน้ำใต้ดินในระดับที่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2563) กรณีศึกษาเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบระบบควบคุมมลพิษและมาตรการป้องกันที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการวางผังพื้นที่ใช้งานที่คำนึงถึงความเสี่ยงในระยะยาว เพื่อป้องกันและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

แนวทางการจัดการความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากดินธรรมชาติอยู่อยู่รอบบริเวณและรองรับหลุมฝังกลบอยู่แล้ว จึงไม่สามารถดำเนินการปรับปรุงคุณสมบัติโดยตรงในเชิงวิศวกรรมได้ อย่างไรก็ตาม หากมีการนำดินชนิดเดียวกันนี้ไปใช้เป็นวัสดุชั้นกันซึม (liner) สำหรับระบบฝังกลบในพื้นที่อื่นที่ยังอยู่ในขั้นตอนการออกแบบหรือก่อสร้าง จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการให้เหมาะสม ทวีศักดิ์ วังไพศาล และ นท แสงเทียน (2553) ได้ปรับปรุงคุณสมบัติของดินทรายสำหรับก่อสร้างชั้นกันซึม โดยการผสมดินเบนโทไนต์ ซึ่งสามารถลดสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 1×10^{-7}cm/s อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้น วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม (Industrial Waste) ยังนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวในปัจจุบัน โดยการนำมาผสมกับดินเหนียวเพื่อลดอัตราการซึมผ่านและเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารพิษ เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) ซีโอไลต์ (Zeolite) และ ตะกอนเยื่อกระดาษ (Paper Mill Sludge) ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเป็นปราการกั้นของแผ่นรองพื้นและยังเป็นการส่งเสริมแนวคิดด้านความยั่งยืน โดยการรีไซเคิลของเสียอุตสาหกรรมแทนการนำไปกำจัดอีกด้วย (Al-Soudany et al., 2024) หรือการใช้วัสดุท้องถิ่น เช่น เถ้าลอยไม้ยางพารา ซึ่งเป็นวัสดุท้องถิ่นในจังหวัดสงขลา นำมาผสมกับดินเหนียวในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานได้อย่างมีนัยสำคัญ และในขณะเดียวกันก็ช่วยเพิ่มกำลังอัดแกนเดียวและเพิ่มการหดตัวเชิงปริมาตรได้อีกด้วย (ณัฐรัตน์ ไชยพลฤทธิ์ และคณะ, 2566)

แนวทางการจัดการความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อมที่ควรให้ความสำคัญคือ การปรับปรุงระบบฝังกลบขยะ เนื่องจากเป็นมาตรการที่สามารถดำเนินการได้จริงในพื้นที่ปัจจุบัน โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงชั้นดินธรรมชาติที่รองรับอยู่เดิม โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบชั้นกันซึมและควบคุมน้ำชะขยะ เช่น การศึกษาของ Al-Soudany et al. (2024) ได้ศึกษาระบบชั้นกันซึมหลายวิธี พบว่าระบบชั้นกันซึมแบบคอมโพสิต (Composite Liner Systems) เป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่ต้องการสำหรับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน ประกอบด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Geomembrane) ที่มีความหนาแน่นสูง (เช่น HDPE) ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันหลักในการซึมผ่านของน้ำชะขยะ วางซ้อนทับอยู่บนชั้นของดินเหนียวอัดแน่น (Compacted Clay Liner) หรือแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว (Geosynthetic Clay Liner: GCL) ทำหน้าที่เป็นชั้นสำรองเพื่อดักจับน้ำชะขยะที่อาจรั่วซึมผ่านรอยต่อหรือรูเล็กๆ ของแผ่นใยสังเคราะห์หลักชั้นบน โดยมีประสิทธิภาพในการลดอัตราการรั่วไหลได้ดีกว่าระบบชั้นกันซึมแบบเดี่ยวอย่างมาก อีกทั้งควรจัดตั้งระบบบ่อน้ำใต้ดิน (piezometers) รอบหลุมฝังกลบ

เพื่อเฝ้าระวังคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอ โดยตรวจวัดพารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่ pH ความนำไฟฟ้า (TDS) สารอาหาร เช่น ไนเตรตและฟอสเฟต ตลอดจนโลหะหนัก เช่น สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม การจัดการที่ต้นทาง เช่น การบำบัดน้ำเสียและน้ำชะขยะก่อนปล่อย และการบังคับใช้กฎหมายสิ่งแวดล้อมอย่างเข้มงวด เป็นกลไกหลักที่สามารถลดความรุนแรงของมลพิษได้อย่างยั่งยืน (Islam et al., 2015) และยังควรส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนโดยรอบหลุมฝังกลบขยะในกระบวนการจัดการสิ่งแวดล้อม จัดกิจกรรมให้ความรู้แก่ประชาชนเกี่ยวกับการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง การรีไซเคิล การใช้ซ้ำ และการจัดการขยะอินทรีย์ เช่น การทำปุ๋ยหมักในครัวเรือน เพื่อลดปริมาณขยะที่ต้องนำไปฝังกลบ และลดปริมาณน้ำชะขยะและมลพิษที่เกิดขึ้นตามมาโดยตรง ตลอดจนส่งเสริมการจัดตั้งกลไกการมีส่วนร่วมของชุมชนในการตรวจสอบคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อม เช่น การสังเกตความผิดปกติของคุณภาพน้ำในบ่อเกษตร การศึกษาของ Zurbrugg et al. (2012) ชี้ให้เห็นว่าชุมชนที่ได้รับการสนับสนุนให้มีบทบาทในกระบวนการจัดการขยะจะมีแนวโน้มในการร่วมมือกับภาครัฐและหน่วยงานท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ส่งผลให้ระบบการจัดการขยะและการดูแลสิ่งแวดล้อมโดยรอบมีความเข้มแข็งและมีประสิทธิภาพในระยะยาว

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติของดินธรรมชาติบริเวณหลุมฝังกลบขยะ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อประเมินศักยภาพในการเป็นแนวกั้นรองน้ำชะขยะ พบว่า ดินธรรมชาติในพื้นที่ศึกษามีคุณสมบัติบางประการที่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานชั้นดินกันซึมของ Daniel & Benson (1990) โดยมีค่าขีดจำกัดเหลว (LL) และค่าดัชนีพลาสติก (PI) ที่เหมาะสม ซึ่งบ่งชี้ถึงความเหนียวแน่นและความต้านทานการแตกร้าวที่ดี ปริมาณอนุภาคละเอียดของทั้งสองตัวอย่างยังสูงกว่าค่าขั้นต่ำที่กำหนดมาก ซึ่งเอื้อต่อการอัดแน่นและลดการซึมผ่านของน้ำ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุด (OMC) ก็อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการบดอัดภาคสนาม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (k) และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MDD) พบว่าดินทั้งสองตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดย S1 มีค่า k สูงกว่ามาตรฐานประมาณ 1,800 เท่า และ S2 สูงกว่ามาตรฐานประมาณ 5 เท่า รวมถึงค่า MDD ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินธรรมชาติในพื้นที่ศึกษายังมีโครงสร้างที่หลวมและช่องว่างภายในสูงแม้จะบดอัดแล้ว ทำให้ไม่สามารถกักเก็บน้ำชะขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจนำไปสู่การแตกร้าวและการปนเปื้อนของสารอันตรายลงสู่ชั้นใต้ดินได้ เมื่อเปรียบเทียบกับดินธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการเป็นชั้นดินกันซึมจากการศึกษาอื่น

จากการประเมินความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อม พบว่าหลุมฝังกลบขยะในพื้นที่ศึกษามีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เนื่องจากชั้นดินธรรมชาติไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำชะขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังมีปัจจัยเชิงพื้นที่ เช่น ประวัติการเกิดอุทกภัย การเกิดเพลิงไหม้บ่อขยะที่ต้องใช้น้ำปริมาณมากในการดับเพลิง และการขุดคลองระบายน้ำใหม่ใกล้พื้นที่ฝังกลบ ที่เพิ่มความเสี่ยงของการปนเปื้อนทั้งในแง่ขอบเขตและระยะเวลา สำหรับแนวทางการจัดการเบื้องต้น งานวิจัยนี้เสนอการปรับปรุงระบบฝังกลบขยะ เช่น การติดตั้งระบบชั้นกันซึมแบบสองชั้นหรือแบบคอมโพสิต การจัดตั้งระบบบ่อน้ำใต้ดินเพื่อเฝ้าระวังคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอ และการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการขยะและการตรวจสอบสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ หากมีการนำดินชนิดเดียวกันนี้ไปใช้เป็นวัสดุชั้นกันซึมในพื้นที่อื่น ควรพิจารณาการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมวัสดุ เช่น ดินเหนียวเบนโทไนต์ หรือเถ้าลอย เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2566 (รหัสโครงการ: ววน. 005/2566)

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2560). *แนวทางในการพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่การออกแบบก่อสร้าง และการจัดการสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล*. กรุงเทพฯ: บริษัท ธนสิริ ปริ้นติ้ง จำกัด.

ณัฐรัตน์ ไชยพลฤทธิ์, ธนิต เฉลิมยานนท์, และธนันท์ ชุบอุปการ. (2566). การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ดินเหนียวจังหวัดสงขลา ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราสำหรับชั้นกันซึมของบ่อฝังกลบมูลฝอย. *ในการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*: เอกสารประกอบการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 ปี พ.ศ. 2566: ความท้าทายด้านวิศวกรรมโยธาหลังการระบาดใหญ่. น.GTE24-1–GTE24-7. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทวีศักดิ์ วังไพศาล และนท แสงเทียน. (2553). คุณสมบัติของดินทรายปนทรายแป้งผสมเบนโทไนต์สำหรับก่อสร้างชั้นกันซึม. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 12*(1), น.19–29.

ภูวดล ธรรมรัตน์ และศศิธร กุลนิล. (2561). ผลกระทบของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบต่อคุณภาพน้ำผิวดินในเขตชุมชน: กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม*, *40*(3), น.45–56.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2563). *รายงานการเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมจากหลุมฝังกลบขยะอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

Al-Soudany, K. Y. H., Fattah, M. Y., & Rahil, F. H. (2024). A review of landfill liner and liner systems. *AIP Conference Proceedings*, *3105*(1), 50013. doi:10.1063/5.0212198.

ASTM International. (2004). *Annual book of ASTM standards.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

Cuevas, J., Ruiz, A. I., de Soto, I. S., Sevilla, T., Procopio, J. R., Da Silva, P., Gismera, M. J., Regadío, M., Sánchez Jiménez, N., Rodríguez Rastrero, M., & Leguey, S. (2012). The performance of natural clay as a barrier to the diffusion of municipal solid waste landfill leachates. *Journal of Environmental Management*, *95*(Suppl), pp.S175–S183.

Daniel, D. E., & Benson, C. H. (1990). Water content-density criteria for compacted soil liners. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, *116*(12), pp.1811-1830.

Harun, S.N., Ali Rahman, Z. & Damanhuri, N.A. (2025). Impact of landfill leachate contamination on the geotechnical behavior of granitic sandy-clayey soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*. *22*, pp.12423–12436.

Islam, M. S., Uddin, M. K., Tareq, S. M., Shammi, M., Kamal, A. K. I., Sugano, T., Kurasaki, M., Saito, T., Tanaka, S., & Kuramitz, H. (2015). Alteration of water pollution level with the seasonal changes in mean daily discharge in three main rivers around Dhaka City, Bangladesh. *Environments*, *2*(3), pp.280–294.

Regadío, G. M., Black, J. A., & Thornton, S. F. (2020). The role of natural clays in the sustainability of landfill liners. *Detritus*, *12*, pp.100-113.

United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2017). *Soil survey manual* (Agriculture Handbook No. 18, Rev. ed.). U.S. Government Printing Office.

Zurbrugg, C., Gfrerer, M., Ashadi, H., Brenner, W., & Kühr, R. (2012). Determinants of sustainability in solid waste management – The Gianyar Waste Recovery Project in Indonesia. *Waste Management*, *32*(11), pp.2126–2133.