

การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำในโครงสร้างถนน Use of Geotextile with Wicking Yarn in Pavement Structure

ภูเบศร์ เตรัมย์

บริษัท เทนคาต้า จีโอซินเทติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (ในเครือบริษัท โซลแมกซ์ จีโอซินเทติกส์ จำกัด)

E-mail address: bterum@solmax.com

บทคัดย่อ

โครงสร้างดินถมในงานวิศวกรรมสำหรับรองรับการขนส่ง เช่น ถนน ทางรถไฟ และทางวิ่งเครื่องบิน โครงสร้างเหล่านี้ก่อสร้างในสภาพที่มีความชื้นในระดับที่บดอัดดินให้มีความหนาแน่นสูงสุด ซึ่งเป็นดินที่ยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แผ่นใยสังเคราะห์ใช้เพื่อแยกชั้น กรองน้ำ และเสริมกำลังให้กับดินถม แผ่นใยสังเคราะห์สามารถช่วยให้ดินไม่ผสมกัน ระบายน้ำได้ดี และเสริมความแข็งแรงให้กับชั้นดินถม อย่างไรก็ตามความแข็งแรงและการซึมผ่านของดินจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและความดันน้ำในดิน แผ่นใยสังเคราะห์แบบดั้งเดิมที่สัมผัสกับดินอาจทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันการซึมน้ำชั่วคราว จนกว่าดินเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ในขณะที่แผ่นใยสังเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำสามารถดึงน้ำออกจากดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำได้ ทำให้ค่าโมดูลัสการคืนตัวของดินเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพโดยรวมของถนนดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดน้ำที่ซึมเข้าไปในช่วงที่ฝนตกได้ดีกว่าแผ่นใยสังเคราะห์แบบดั้งเดิม โดยบทความนี้ได้นำเสนอถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ของเส้นใยดูดซึมน้ำ กรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้แผ่นใยสังเคราะห์ชนิดนี้ รวมถึงโครงการอ้างอิงที่ใช้งานแผ่นใยสังเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำในการก่อสร้างถนน

คำสำคัญ: แผ่นใยสังเคราะห์, เส้นใยดูดซึมน้ำ, ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ, ชั้นป้องกันการซึมน้ำ

Abstract

Engineered fill structures used in transportation infrastructure, such as roads, railways, and airport runways, are constructed under moisture conditions where the soil is compacted to its maximum dry density and remains unsaturated with water. Geotextiles are used for layer separation, water filtration, and reinforcement of the fill material. Geotextiles help prevent the mixing of subgrade and filled soils, facilitate water drainage, and enhance the strength of the fill layers. However, the strength and permeability of the soil depend on its moisture content and matric suction. Conventional geotextiles in contact with soil may temporarily act as a capillary barrier until the soil

reaches a saturated state. In contrast, wicking geotextiles, which contain wicking fibers, can wick water out of unsaturated soils, increasing the resilient modulus of the soil and improving the overall performance of the roadway. Moreover, wicking geotextiles are more effective than conventional geotextiles at removing infiltrating water during rainfall events. This article presents relevant theories and the benefits of wicking yarn, case studies related to the use of this type of geotextile, as well as reference projects that have utilized geotextile with wicking yarn in road construction.

Keywords: Geotextile, Wicking yarn, Unsaturated soil, Capillary barrier

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าความแข็งแรงของโครงสร้างดินถมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับความชื้นของดิน โดยทั่วไปแล้ว ความแข็งแรงของโครงสร้างดังกล่าวมักลดลงเมื่อระดับความชื้นเพิ่มขึ้น โครงสร้างดินถมถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรมเพื่อรองรับระบบคมนาคมขนส่ง อาทิ ถนน ทางรถไฟ และทางวิ่งของอากาศยาน โดยการก่อสร้างโครงสร้างดินถมมักดำเนินการภายใต้สภาวะที่มีความชื้นเหมาะสม เพื่อให้สามารถบดอัดดินจนมีความหนาแน่นสูงสุด

อย่างไรก็ตาม ความชื้นภายในโครงสร้างดินถมอาจเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น การสูญเสียความชื้นจากกระบวนการระเหยและการระบายน้ำใต้ดิน หรือการเพิ่มขึ้นของความชื้นอันเนื่องมาจากการซึมผ่านของน้ำฝนหรือการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำใต้ดิน

โดยทั่วไปมักมีการใช้แผ่นใยสังเคราะห์ในงานโครงสร้างดิน เช่น ใช้แผ่นใยสังเคราะห์สำหรับการแยกระหว่างชั้นดินเดิมและดินถมใหม่ หรือใช้แผ่นใยสังเคราะห์สำหรับการกรองดินไม่ให้ถูกพัดพาไปกับน้ำในกำแพงกันดินและโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะ หรือการใช้แผ่นใยสังเคราะห์ในการเสริมกำลังดินช่วยรับแรงดึงในโครงสร้างลาดดินและกำแพงกันดิน แผ่นใยสังเคราะห์ในการใช้งานดังกล่าวเป็นแผ่นใยสังเคราะห์แบบดั้งเดิมอาจทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันการซึมน้ำชั่วคราวจนกว่าดินเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อค่ากำลังรับแรงของดินที่สัมผัสกับแผ่นใยสังเคราะห์

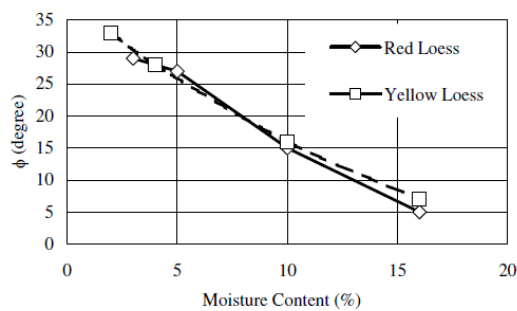
ตรงข้ามกันกับแผ่นใยสังเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำ จะดูดซึมน้ำออกจากดินที่สัมผัสได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องรอให้ดินที่สัมผัสอิ่มตัวด้วยน้ำ

จากที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้เข้าใจประเด็นเกี่ยวกับผลกระทบของความชื้นในดินและประโยชน์ของการใช้งานแผ่นใยสังเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำในโครงสร้างดินอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น บทความนี้จึงได้อ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องบางส่วน

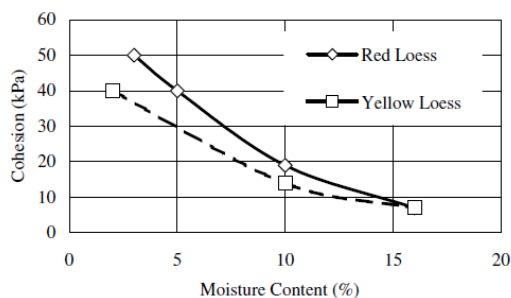
2. ผลกระทบของความชื้นต่อค่าความแข็งแรงของดิน

2.1 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ความแข็งแรงของดินตามปริมาณความชื้น

[1] ได้ดำเนินการศึกษาความแข็งแรงของดินลมหอบสีแดง (Red loess) และสีเหลือง (Yellow loess) ที่ยังไม่ถูกรบกวนในจังหวัดขอนแก่น ผ่านการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำและไม่ปรับสภาพความเค้น (Unconsolidated Undrained: UU triaxial test) ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเชื่อมแน่นปรากฏ (apparent cohesion) และมุมเสียดทานภายใน (internal friction angle) ของดินทั้งสองชนิดลดลงเมื่อได้รับความชื้น ตามที่แสดงในรูปที่ 1 และ 2 แนวโน้มของข้อมูลชี้ให้เห็นว่า ดินที่มีความชื้น 5% จะมีมุมเสียดทานภายในมากกว่า 25° และค่าความเชื่อมแน่นมากกว่า 40 กิโลปาสกาล อย่างไรก็ตาม หากความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 15% หรือมากกว่า มุมเสียดทานภายในอาจลดลงเหลือเพียง 5-10° ขณะที่ค่าความเชื่อมแน่นลดลงต่ำกว่า 10 กิโลปาสกาล



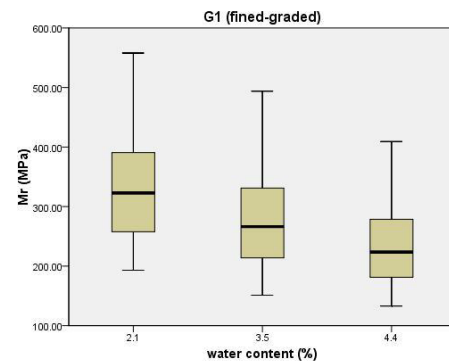
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเสียดทานภายในกับความชื้นในดิน [1]



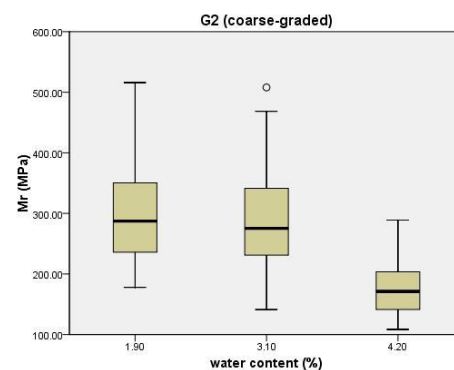
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเชื่อมแน่นปรากฏกับความชื้นในดิน [1]

2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสการคืนตัวของดิน Unbound Granular Material (UGM) ตามปริมาณความชื้น

[2] ได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับโมดูลัสการคืนตัวและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากระดับต่ำถึงสูง นอกจากนี้ยังจะศึกษาผลกระทบจากสภาวะความเค้นและการคั่นขนาดของ UGM หินปูนซึ่งเป็นหินที่มีการใช้งานในการก่อสร้างฐานและชั้นรองฐานของถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำถึงปานกลางในประเทศไทยมากที่สุด เนื่องจากมีเหมืองหินกระจายอยู่ทั่วประเทศ ผลการศึกษาพบว่า โมดูลัสการคืนตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความชื้นใน UGM ลดลงจากช่วงเปียกไปยังช่วงแห้ง แม้ว่าความชื้นที่เหมาะสมจะเป็นจุดที่ง่ายที่สุดในการบดอัด UGM ให้มีความหนาแน่นสูงสุด แต่ไม่ทำให้โมดูลัสการคืนตัวที่สูงที่สุด และ ตัวอย่างดินละเอียดมีแนวโน้มที่จะมีโมดูลัสการคืนตัวสูงกว่าตัวอย่างดินหยาบเล็กน้อย ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



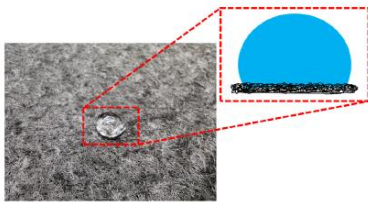
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสการคืนตัวของดินละเอียดกับความชื้นในดิน [2]



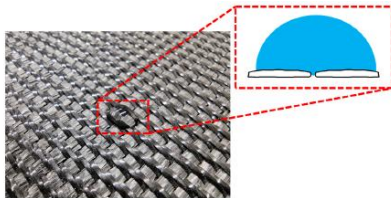
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสการคืนตัวของดินหยาบกับความชื้นในดิน [2]

3. ฟังก์ชันการระบายน้ำที่เพิ่มขึ้นของแผ่นโอสองเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำ

แผ่นโอสองเคราะห์แบบดั้งเดิม ไม่ว่าจะเป็นแบบทอหรือไม่ทอ มักมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยธรรมชาติ รูปที่ 5 แสดงให้เห็นหยดน้ำที่อยู่บนแผ่นโอสองเคราะห์แบบไม่ทอทั่วไป ขณะที่รูปที่ 6 แสดงหยดน้ำที่อยู่บนแผ่นโอสองเคราะห์แบบทอทั่วไป โดยหยดน้ำจะไม่สามารถไหลผ่านแผ่นโอสองเคราะห์ได้ จนกว่าหยดน้ำจะมีขนาดใหญ่พอที่จะสร้างแรงดันน้ำ (Hydraulic Head) มากพอที่จะเอาชนะแรงไม่ชอบน้ำของแผ่นโอสองเคราะห์แบบดั้งเดิม



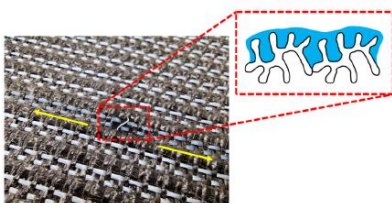
รูปที่ 5 หยดน้ำที่อยู่บนแผ่นโอสองเคราะห์แบบไม่ทอทั่วไป [3]



รูปที่ 6 หยดน้ำที่อยู่บนแผ่นโอสองเคราะห์แบบทอทั่วไป [3]

3.1 แผ่นโอสองเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมความชื้น

แผ่นโอสองเคราะห์แบบดูดซึมความชื้นได้รับการออกแบบให้สามารถดูดซับความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาจมีการผสมเส้นใยดูดซึมความชื้นบางส่วนหรือทั้งแผ่นโอสองเคราะห์ก็ได้ แผ่นโอสองเคราะห์แบบดั้งเดิมมักผลิตจากเส้นใยที่ไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น ทำให้เป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับความชื้น เส้นใยที่มีคุณสมบัติดูดซับความชื้นจึงถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิต เส้นใยเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะภายในสูงมาก จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับและลำเลียงน้ำ พื้นที่ผิวจำเพาะที่สูงนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เส้นใยมีฟังก์ชันการดูดซับความชื้น รูปที่ 7 แสดงแผ่นโอสองเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมความชื้น



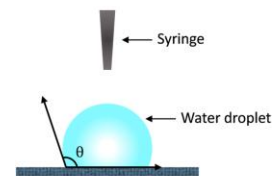
รูปที่ 7 แผ่นโอสองเคราะห์ที่มีเส้นใยดูดซึมความชื้น [3]

3.2 การประเมินภาวะการเปียกน้ำของแผ่นโอสองเคราะห์ด้วยมุมสัมผัส

[3] ภาวะการเปียกน้ำเป็นเงื่อนไขสำคัญสำหรับการเริ่มต้นกระบวนการระบายน้ำหรือการดูดซับน้ำในวัสดุประเภทเส้นใย ภาวะการเปียกน้ำของพื้นผิวของแข็งสามารถอธิบายได้โดยมุมสัมผัสของของเหลวบนพื้นผิวนั้น ซึ่งเป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นสัมผัสของพื้นผิวของเหลวและพื้นผิวของตัวอย่างในแนวนอน ดังรูปที่ 8 เมื่อของเหลวอยู่บนพื้นผิวของแข็งในอุดมคติ เช่น แก้ว โลหะ และเซรามิก ของเหลวจะมีรูปทรงกลมสมดุซึ่งขึ้นอยู่กับมุมสัมผัส โดยแผ่นโอสองเคราะห์ประกอบด้วยเส้นใยหลายเส้นใยประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งแตกต่างจากวัสดุเนื้อแข็ง ดังนั้นจึงไม่ใช่พื้นผิวที่เป็นอุดมคติ เมื่อของเหลวอยู่บนพื้นผิวที่เป็นเส้นใยของเหลวจะค่อยๆ ซึมเข้าสู่เนื้อแผ่นโอสองเคราะห์ตามเวลา ในกรณีนี้ มุมสัมผัสจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งหยดของเหลวซึมหายไปโดยสมบูรณ์

[4] สรุปว่าขนาดของมุมสัมผัสสามารถใช้ในการจำแนกภาวะการเปียกน้ำของวัสดุแข็งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้: (1) เมื่อมุมสัมผัส $\theta = 0^\circ$ พื้นผิวจะเปียกน้ำอย่างสมบูรณ์และวัสดุสามารถถือว่าเป็นวัสดุที่มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) เต็มที่; (2) เมื่อ $0^\circ < \theta < 90^\circ$ วัสดุจะถือว่าเป็นวัสดุที่มีความชอบน้ำบางส่วน เนื่องจากมีการเปียกน้ำบางส่วนของพื้นผิว; และ (3) เมื่อ $\theta \geq 90^\circ$ พื้นผิวจะแสดงลักษณะการไม่เปียกน้ำและวัสดุจะถือว่าเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic)

[3] ได้ทดสอบกับแผ่นโอสองเคราะห์แบบไม่ทอทั่วไป แผ่นโอสองเคราะห์แบบทอทั่วไป และแผ่นโอสองเคราะห์แบบทอที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำ โดยอ้างอิงทฤษฎีข้างต้น พบว่าหยดน้ำซึมเข้าสู่แผ่นโอสองเคราะห์แบบทอที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำอย่างรวดเร็วและเต็มที ในขณะที่แผ่นโอสองเคราะห์แบบทอทั่วไปอีกสองประเภทมีน้ำซึมผ่านบางส่วน มุมสัมผัสของแผ่นโอสองเคราะห์แบบทอที่มีเส้นใยดูดซึมน้ำลดลงต่ำกว่า 90° ภายในไม่กี่วินาที ขณะที่มุมสัมผัสของแผ่นโอสองเคราะห์ที่ไม่มีเส้นใยดูดซึมน้ำยังคงมากกว่า 90°



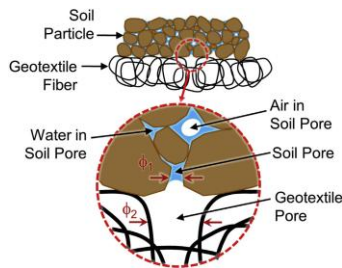
รูปที่ 8 มุมสัมผัสของของเหลวบนพื้นผิว [3]

3.3 แผ่นโอสองเคราะห์ที่มีการเพิ่มเส้นใยดูดซับความชื้น

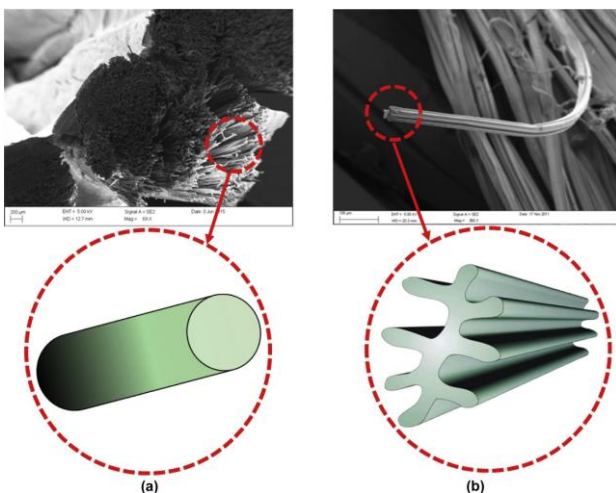
[5] การใช้แผ่นโอสองเคราะห์ชนิดต่างๆ ร่วมกับวัสดุที่มีรูพรุน เช่น หิน กรวดหรือทราย เป็นที่นิยมกันอย่างมากในการก่อสร้างชั้นระบายน้ำในงานดินถมคันทาง เนื่องจากมีความเข้าใจว่าระบบนี้ช่วยในการระบายน้ำได้อย่างดี แต่ในความเป็นจริงแผ่นโอสองเคราะห์ประเภททั่วไป จะระบายน้ำได้ดีในกรณีที่แผ่นโอสองเคราะห์เองและดินรอบๆ อิ่มตัวด้วยน้ำเท่านั้น หากไม่อิ่มตัวด้วยน้ำตัวแผ่นโอสองเคราะห์เองจากกลายเป็นชั้นป้องกันการซึมน้ำเสีย

เอง ดังในรูปที่ 9 แสดงปรากฏการณ์การเกิดขึ้นป้องกันการซึมน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างดินกับแผ่นใยสังเคราะห์ที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนจากค่าขนาดเล็ก ϕ_1 ในดินไปเป็นค่าขนาดใหญ่กว่า ϕ_2 ในแผ่นใยสังเคราะห์ โดยแรงดูดเมทริก (Matric Suction) ในช่องเหลวจะมีค่าแปรผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่างของดินและแผ่นใยสังเคราะห์ รูพรุนขนาดเล็ก ϕ_1 ในดินทำให้มีแรงดูดเมทริกมากกว่า ดังนั้นน้ำจะสามารถเคลื่อนที่ไปยังรูพรุนขนาดใหญ่กว่า ϕ_2 ในแผ่นใยสังเคราะห์ได้ ก็ต่อเมื่อแรงดูดในดินลดลง โดยชั้นป้องกันการซึมน้ำที่เกิดขึ้นนี้จะป้องกันไม่ให้น้ำไหลจากดินเข้าสู่แผ่นใยสังเคราะห์จนกว่าจะถึงจุดอิ่มตัว (Saturation) หรือแรงดูดเมทริกลดลงใกล้ศูนย์ เมื่อถึงจุดนี้ น้ำจึงสามารถเคลื่อนเข้าสู่รูพรุนขนาดใหญ่ ϕ_2 จากรูพรุนขนาดเล็กได้ ϕ_1

แผ่นใยสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มเส้นใยดูดซับความชื้นถูกออกแบบให้สามารถถ่ายเทน้ำผ่านช่องขนาดเล็กที่มีแรงดูดเมทริกสูงซึ่งช่วยระบายน้ำจากมวลดินที่ยังไม่อิ่มตัวได้ แผ่นใยสังเคราะห์ประเภททั่วไป ตามรูปที่ 10 (a) ระบายน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเส้นใยได้ก็ต่อเมื่อดินอิ่มตัว แผ่นใยสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มเส้นใยดูดซับความชื้น ตามรูปที่ 10 (b) มีร่องลึกขนาดเล็กในโครงสร้างเส้นใย ซึ่งทำหน้าที่เป็นท่อช่วยให้น้ำไหลตามแนวเส้นใยผ่านช่องแคบเหล่านี้ได้



รูปที่ 9 ปรากฏการณ์การเกิดขึ้นป้องกันการซึมน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างดินกับแผ่นใยสังเคราะห์ที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ [5]

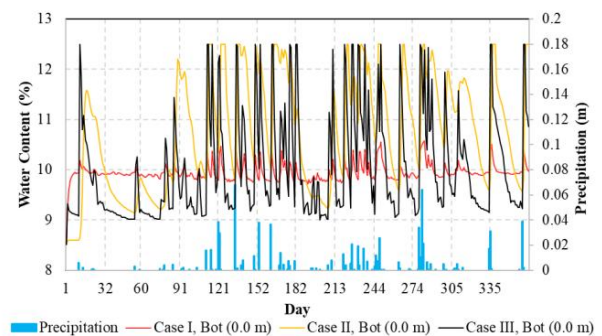


รูปที่ 10 เส้นใยในแผ่นใยสังเคราะห์ [5]

4. ประโยชน์ของการใช้งานแผ่นใยสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มเส้นใยดูดซับความชื้นในช่วงที่มีฝนตก [6]

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นตามเวลา

การจำลองถูกแบ่งออกเป็นสามกรณี ได้แก่ กรณีควบคุม (Case I), ถนนที่ติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ประเภททั่วไป (Case II) และถนนที่ติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มเส้นใยดูดซับความชื้น (Case III) โดยระดับน้ำใต้ดินถูกกำหนดให้ลึก 1.0 เมตร ซึ่งค่อนข้างตื้น และพื้นที่ทดสอบอยู่ที่เมือง Camdenton รัฐ Missouri ซึ่งมีฝนตกหนักในช่วงฤดูร้อน ผลการจำลองแสดงในรูปที่ 11 พบว่า ปริมาณน้ำในชั้นพื้นทางของถนนเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (ทั้ง Case II และ Case III) เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ชั้นป้องกันการซึมน้ำจากแรงตึงผิวของวัสดุสองชนิดที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกัน ส่งผลให้น้ำสะสมบริเวณรอยต่อระหว่างดินและแผ่นใยสังเคราะห์ นอกจากนี้ ปริมาณน้ำในดินและค่าการอิ่มตัว (12.5%) ในกรณีที่ใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (Case II และ III) ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันน้ำในรูพรุนและปัญหาการพังของชั้นพื้นทางเมื่อมีแรงกดจากล้อรถ อย่างไรก็ตาม แผ่นใยสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มเส้นใยดูดซับความชื้น ใน Case III ช่วยระบายน้ำด้านข้างได้ดีกว่า ทำให้ระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวลดลงเมื่อเทียบกับ Case II ที่ใช้แผ่นใยสังเคราะห์ประเภททั่วไป

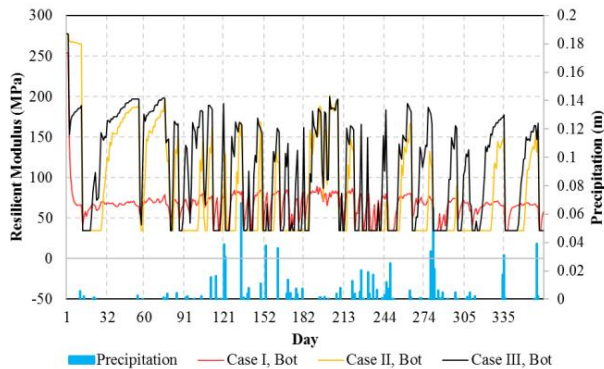


รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตามเวลาที่บริเวณรอยต่อระหว่างดินและแผ่นใยสังเคราะห์ [6]

4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสการคืนตัวตามเวลา

กราฟในรูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัวพื้นฐานของชั้นพื้นทางถนนทั้งสามกรณี โดยใช้กรณีควบคุม (Case I) เป็นค่ามาตรฐานเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผ่นใยสังเคราะห์ ในช่วง 70 วันแรก ค่าโมดูลัสคืนตัวเฉลี่ยของ Case III (แผ่นใยสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มเส้นใยดูดซับความชื้น) อยู่ที่ 202 MPa ซึ่งสูงกว่า Case I กว่า 3 เท่า แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการระบายน้ำด้านข้างออกจากระบบถนน แต่ช่วงฤดูร้อนที่มีฝนตกหนักต่อเนื่อง ค่าโมดูลัสคืนตัวของ Case II (แผ่นใยสังเคราะห์ประเภททั่วไป) และ Case III ต่ำกว่า Case I อย่างมาก เนื่องจากข้อมูลปริมาณฝนรายวันทำให้คาดการณ์ระยะเวลาฝนตกยาวนานเกินจริง ส่งผล

ให้น้ำส่วนเกินไหลย้อนกลับเข้าสู่ระบบถนน และลดความแข็งแรงของชั้น
พื้นทางถนน



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงโมดูลัสการคืนตัวตามเวลาที่ชั้นพื้นทางถนน
สำหรับกรณีที่แตกต่างกัน [6]

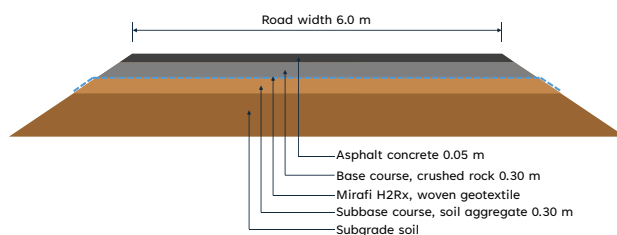
5. โครงการอ้างอิง

ในส่วนนี้จะนำเสนอโครงการอ้างอิงในเอเชียที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน
แผ่นใยสังเคราะห์ที่กล่าวมาในหัวข้อข้างต้น

5.1 โครงการปรับปรุงถนนเลียบลคลองมหาราช จังหวัดสิงห์บุรี ประเทศไทย กรมชลประทาน

คลองมหาราช ตั้งอยู่ในจังหวัดสิงห์บุรี เป็นคลองสาขาที่แยกออกจาก
คลองชลประทานสายหลัก (คลองชัยนาท-อยุธยา) ตลอดสองฝั่งของคลองมี
ถนนที่ขนานไปกับคลองเดิม ซึ่งเกิดจากการขุดลอกคลองและนำดินที่ขุด
ได้มาใช้ในการถมเป็นถนน ส่งผลให้ชั้นดินเดิมของถนนมีค่ากำลังรับแรง
เฉือนต่ำ นอกจากนี้ การอยู่ใกล้กับคลองยังทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงอีกด้วย
ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ล้วนเป็นปัจจัยให้ถนนเกิดความเสียหาย

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว วิศวกรโครงการจึงมีแผนการปรับปรุงโดยการ
ใช้แผ่นใยสังเคราะห์ที่สามารถระบายน้ำออกจากดินและช่วยเพิ่มความ
แข็งแรงของโครงสร้างทางได้ โดยทำการขุดลงไปจนถึงชั้นพื้นทาง
(subbase) และติดตั้งแผ่นวัสดุ MIRAFI® H2Rx จากนั้นจึงถมด้วยหินบด
อัด และดำเนินการก่อสร้างผิวทางต่อไป โดยภาพตัดถนนและภาพหน้างาน
แสดงดังรูปที่ 13 และ 14



รูปที่ 13 ภาพตัดทั่วไปของการก่อสร้างถนนในโครงการ

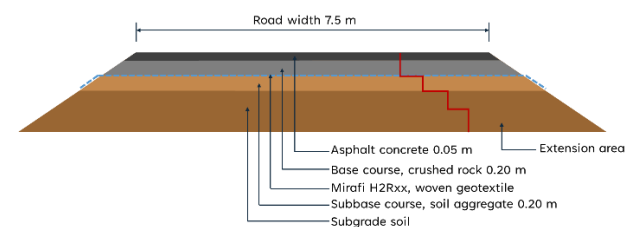


รูปที่ 14 การติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดมีเส้นใยดูดซับน้ำลงบนชั้นดินรอง
พื้นทางของถนนเรียบคลอง

5.2 โครงการขยายและปรับปรุงถนน สบ. 4035 บ้านบุใหญ่ อำเภอกำแพง ศอย จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย กรมทางหลวงชนบท

โครงการนี้ครอบคลุมการก่อสร้างและยกระดับถนน สบ. 4035
ระยะทาง 3.000 กิโลเมตร โดยเริ่มจากทางแยก ทล. 3222 ไปจนถึงบ้านบุ
ใหญ่ อำเภอกำแพงศอย จังหวัดสระบุรี มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและ
ความปลอดภัยของระบบคมนาคมในพื้นที่ ผ่านการพัฒนาและปรับปรุง
โครงสร้างพื้นฐานของถนนที่มีอยู่ ขอบเขตของโครงการประกอบด้วย
การก่อสร้างถนนสายใหม่และการยกระดับถนนเดิม กิจกรรมหลัก ได้แก่ การ
เตรียมพื้นที่ ก่อสร้างคันดินสำหรับยกระดับถนน ปลูกถนนด้วยแอสฟัลต์
และติดตั้งป้ายจราจรที่จำเป็น นอกจากนี้ยังรวมถึงการก่อสร้างระบบระบาย
น้ำเพื่อบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันน้ำท่วม

ปัญหาหลักของโครงการนี้คือ ดินฐานรากเป็นดินเหนียวอ่อน มีค่าระดับ
น้ำใต้ดินสูง ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินต่ำมาก ดังนั้นการใช้แผ่นใย
สังเคราะห์ที่สามารถระบายน้ำออกจากดินและช่วยเพิ่มความแข็งแรงของ
โครงสร้างทางได้ จึงเป็นทางเลือกที่ผู้ออกแบบเลือกใช้ โดยภาพตัดถนนและ
ภาพหน้างานแสดงดังรูปที่ 15 และ 16



รูปที่ 15 ภาพตัดทั่วไปของการก่อสร้างถนนในโครงการ



รูปที่ 16 การติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดมีเส้นใยดูดซึมน้ำลงบนชั้นดินรอง
พื้นทางของถนน

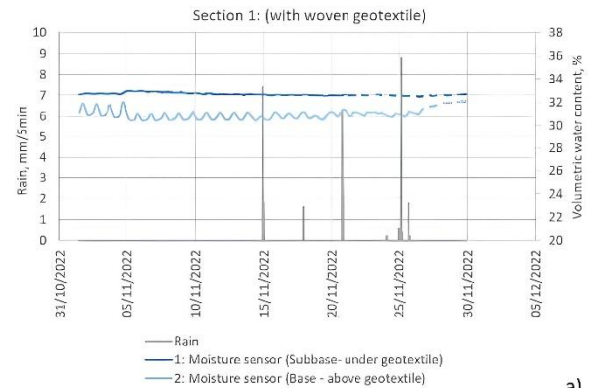
5.3 โครงการปรับปรุงถนนทางหลวงหมายเลข 117 นครสวรรค์ - หนอง เต่า ประเทศไทย กรมทางหลวง

กรมทางหลวงประเทศไทยมอบหมายให้ Solmax ดำเนินโครงการวิจัย
สำคัญเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและประสิทธิภาพของทางหลวงแผ่นดิน
หมายเลข 117 ซึ่งเป็นเส้นทางหลักที่เชื่อมระหว่างจังหวัดนครสวรรค์ พิจิตร
และพิษณุโลก ถนนสายนี้ประสบปัญหาความเสียหายของผิวทางอย่าง
ต่อเนื่อง แม้จะได้รับการปรับปรุงมาแล้วหลายครั้ง เป้าหมายหลักของ
โครงการคือการประเมินประสิทธิภาพของ MIRAFI® H2Rx แผ่นใย
สังเคราะห์ชนิดทอช่วยในการควบคุมความชื้นภายในโครงสร้างถนน แสดง
การติดตั้งแผ่นใยดังรูปที่ 17 โดยโครงการนี้ดำเนินการเป็นเวลา 30 วัน โดย
ร่วมมือกับบริษัท Mattech Co., Ltd. ซึ่งมีการศึกษาเชิงลึกและการติดตั้ง
อุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อแก้ไขปัญหาถนนที่วิธีการดั้งเดิมไม่สามารถแก้ไขได้

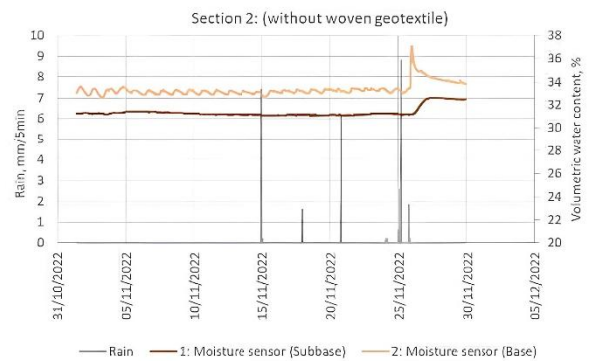


รูปที่ 17 การติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ชนิดมีเส้นใยดูดซึมน้ำลงบนชั้นดินรอง
พื้นทางของถนน [7]

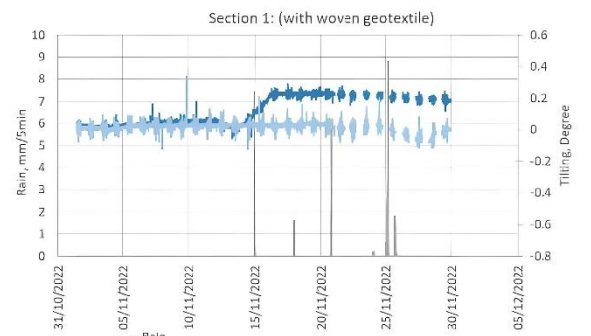
ผลลัพธ์ของอุปกรณ์ตรวจวัดแสดงในรูปที่ 18 พบว่าข้อมูลจากเครื่อง
ตรวจวัดแสดงให้เห็นว่า ถนนที่ติดตั้ง MIRAFI® H2Rx มีความชื้นคงที่แม้มีฝน
ตกหนัก ในขณะที่ถนนส่วนที่ไม่มีผ้าใยสังเคราะห์มีความชื้นเปลี่ยนแปลง
อย่างฉับพลัน และที่อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัวแนวราบพบว่า ถนนที่ไม่มี
MIRAFI® H2Rx มีการเคลื่อนตัวของผิวทางมากกว่า อย่างมีนัยสำคัญ



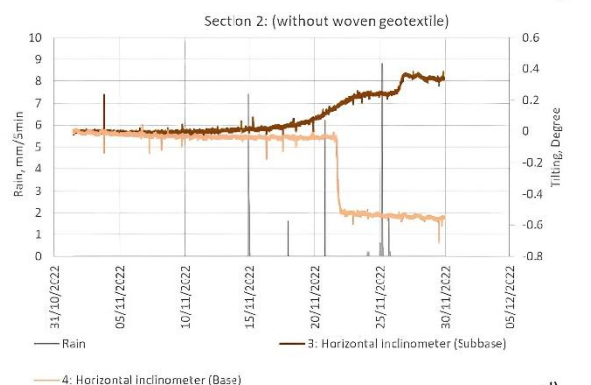
a)



b)



c)

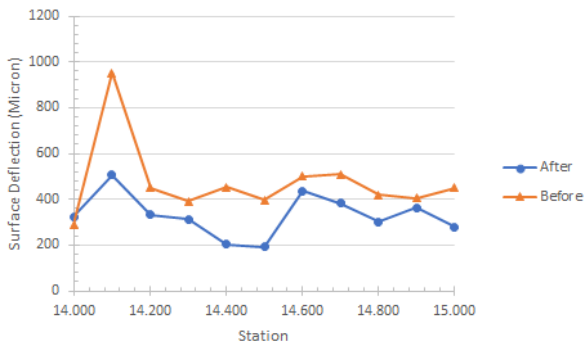


d)

รูปที่ 18 ผลการวัดจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นและเซ็นเซอร์วัดการเสียรูปของ
ถนนในหน้างานจริง เปรียบเทียบกันระหว่างหน้าตัดทดลองที่ติดตั้งและไม่ได้
ติดตั้ง MIRAFI® H2Rx [7]

[7] อีกทั้งยังมีการวัดการโก่งตัวของพื้นผิวถนนโดยใช้เครื่อง Falling Weight Deflectometer (FWD) ได้ดำเนินการทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง โดยผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังการปรับปรุง การโก่งตัวของผิวถนนลดลงประมาณ 30%

การประเมินสภาพถนนที่ดำเนินการสองเดือนหลังจากการก่อสร้างพบว่า ไม่มีสัญญาณของความเสียหายหรือความเสื่อมสภาพ บ่งชี้อย่างชัดเจนว่า วิธีการปรับปรุงที่นำมาใช้ให้ผลลัพธ์ที่ดีเยี่ยมในด้านความมั่นคงเชิงโครงสร้างและสมรรถนะการใช้งานของถนน



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบของการโก่งตัวของผิวถนนทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงของพื้นผิวถนนโดยใช้เครื่อง FWD [7]

5.4 โครงการปรับปรุงทางหลวง Maharlika Highway ในพื้นที่ Beguito Viejo, Libmanan ระยะทาง 470 ม. ประเทศฟิลิปปิน

เนื่องจากการจราจรหนาแน่นจากรถบรรทุกและรถโดยสารที่ทำให้ถนนชำรุด ประกอบกับปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก โครงการนี้ใช้ MIRAFI® H2Rx เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของชั้นดินและจัดการความชื้นส่วนเกิน

แนวทางแก้ไขมีดังนี้ ใช้ MIRAFI® H2Rx ปริมาณ 6,300 ตร.ม. ดังรูปที่ 20 ช่วยควบคุมความชื้น ป้องกันการทรุดตัว และลดความเสียหายของถนน ลดความถี่ในการบำรุงรักษา ช่วยกระจายน้ำหนักรถ ลดการเสียรูปของพื้นผิว และต้านทานการกัดเซาะ

ผลลัพธ์ที่ได้ไม่เพียงช่วยแก้ไขปัญหาดินถนนชำรุด แต่ยังเป็นต้นแบบสำหรับงานปรับปรุงถนนในอนาคต โดยเน้นการใช้นวัตกรรมแผ่นโพลีเมอร์ MIRAFI® H2Rx เพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการจัดการความชื้น และเสริมความแข็งแรงให้กับถนน อีกทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว และช่วยให้ถนนมีอายุการใช้งานนานขึ้น



รูปที่ 20 การติดตั้งแผ่นโพลีเมอร์ชนิดมีเส้นใยดูดซับน้ำลงบนชั้นดินรองพื้นทางของถนน

5.5 โครงการปรับปรุงถนน Queens Street เมืองเยปุน รัฐควีนส์แลนด์, ประเทศออสเตรเลีย

กรณีศึกษาี้แสดงให้เห็นถึงการใช้งานแผ่นโพลีเมอร์ชนิดมีเส้นใยดูดซับน้ำเพื่อแก้ปัญหาผิวถนนแตกร้าวอย่างรุนแรงแสดงในรูปที่ 21 ที่เกิดจากดินฐานรากเป็นดินอ่อนและมีระดับน้ำใต้ดินสูง

โดยทางโครงการมีแนวทางแก้ไขดังนี้ ใช้ MIRAFI® H2Rx ปริมาณ 3,600 ตร.ม. ดังรูปที่ 22 ที่สามารถช่วยเสริมกำลังดินฐานรากและช่วยจัดการกับความชื้นส่วนเกินที่อยู่ในดิน เพื่อให้ดินฐานรากมีกำลังรับแรงเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานของผิวทางดังกล่าว

ผลลัพธ์จากการใช้แผ่นโพลีเมอร์ในการแก้ไขในโครงการนี้ไม่เพียงแต่ยืดอายุการใช้งานของถนน ยังลดจำนวนรอบในการบำรุงผิวทาง และยังช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการสัญจรของผู้ใช้ถนนในพื้นที่ รูปที่ 23 แสดงรูปหลังจากงานก่อสร้างเสร็จสิ้น



รูปที่ 21 ความเสียหายของผิวทางที่เกิดจากดินฐานรากเป็นดินอ่อนและมีระดับน้ำใต้ดินสูง



รูปที่ 22 การติดตั้งแผ่นโয়สังเคราะห์ชนิดมีเส้นโยดูดซึมน้ำลงบนชั้นดินรอง
พื้นทางของถนน



รูปที่ 23 ถนนหลังจากปรับปรุงด้วยแผ่นโยสังเคราะห์ชนิดมีเส้นโยดูดซึมน้ำ

6. การอภิปรายและข้อสรุป

ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้น มีฝนตกหนักและน้ำท่วมขังในบางพื้นที่ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไปส่งผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างดินถมบดอัด แต่กลับไม่ได้รับความสนใจในการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งการซึมผ่านของน้ำฝนและการซึมของน้ำใต้ดินทำให้ปริมาณความชื้นในชั้นดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ดินถมบดอัดอ่อนตัวลงและเกิดความเสียหายต่อถนนหรือโครงสร้างที่อยู่บนดินถมบดอัดเร็วกว่าที่คาดการณ์ไว้

แผ่นโยสังเคราะห์ที่มีเส้นโยดูดซึมน้ำ (wicking geotextile) มีคุณสมบัติเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำในดินที่ไม่อิ่มตัวเป็นนวัตกรรมใหม่ที่พัฒนาขึ้นในวงการวัสดุสังเคราะห์สำหรับงานเทคนิคธรณี โดยการผสมเส้นโยดูดซึมน้ำ (wicking yarn) เข้ากับแผ่นโยสังเคราะห์ชนิดดั้งเดิม ทำให้แผ่นโยสังเคราะห์นี้สามารถดูดซับและระบายน้ำใต้ดิน ซึ่งมีคุณสมบัติดูดซับน้ำและเพิ่มการระบายน้ำในแนวระนาบ โดยถูกนำมาใช้เพื่อเสริมความแข็งแรง

ให้กับโครงสร้างดินถมบดอัดที่รองรับระบบขนส่งต่าง ๆ ให้ทนทานต่อฝนตกหนักและปัญหาความชื้นส่วนเกินในโครงสร้างดินถม

โครงสร้างดินถมบดอัดที่รองรับระบบขนส่งต่าง ๆ มักต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดิน ซึ่งปกติดินเหล่านั้นมักอยู่ในสภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเกือบตลอดเวลา แผ่นโยสังเคราะห์แบบดั้งเดิมที่ใช้ในระบบระบายน้ำทำให้เกิดปรากฏการณ์การเกิดขึ้นป้องกันการซึมน้ำ (capillary barrier) ชั่วคราวและชะลอการระบายน้ำในระบบ แผ่นโยสังเคราะห์ที่มีเส้นโยดูดซึมน้ำ สามารถป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงช่วยให้ระบายน้ำข้างบนพื้นผิวดินได้เร็วขึ้น ทำให้พื้นที่สามารถกลับมาใช้งานได้เร็วขึ้นหลังฝนตก

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. A. Cameron and R. Nuntasarn (2006). Pavement Engineering Parameters for Thai Collapsible Soil. *Fourth International Conference on Unsaturated Soils*, Carefree, Arizona, United States, 2 Apr 2006, pp.1061-1072.
- [2] Chanpheng Phommavone and Boonchai Sangpetngam (2018). Influences of Moisture Content on Resilient Modulus of Unbound Crushed Limestone. *Engineering Journal*, pp.39-49.
- [3] Md Wasif Zaman, Jie Han and Xiong Zhang (2022). Evaluating wettability of geotextiles with contact angles. *Geotextiles and Geomembranes Journal*, pp.825-833.
- [4] Kutilek, M. and Nielsen, D.R. (1994). *Soil hydrology*, Catena Verlag, pp.370.
- [5] Jorge G. Zornberg, Marcelo Azevedo, Mark Sikkema and Brett Odgers (2017). *Transportation Geotechnics Journal*, pp.85-100.
- [6] Chuang Lin and Xiong Zhang (2022). *Numerical Simulation of Pavement Installed with Wicking Geotextile in Responses to Climatic Conditions*. Technical report, National University Transportation Center TriDurLE, Washington State University, United States.
- [7] Auckpath Sawangsuriya, Manoth Chaosuan, Lee Ching Hua, Sathapat Daolert and Apinit Jotisankasa (2023). A Hybrid Design Concept for Pavement Resilience of National Highway No.117: Nakornsawan - Nongtao, Thailand. *The Kuala Lumpur International Pavement Seminar*, Kuala Lumpur, Malaysia, 7 to 9 March 2023, pp.2-10.