การผลิตบล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบสำหรับใช้เป็นโครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียง

Production of Interlocking Blockand Geotextile from Natural Rubber Composites for Use as Slope Bank Protection

ดร.เจต พานิชภักดี[1,*], พิชิต เจนบรรจง[2], ดร.ศิริพร ลาภเกียรติถาวร[3], สารัตน์ นุชพงษ์[4], วุฒินัย กกกำแหง[5], สุวัฒน์ชัย ทองน้อย[6], องอาจ นวลปลอด[7], นางณัฐจุฑา นาคทิพวรรณ[8], นางสาวอรพิน ขวัญศรี[9], และดร.วาสนา ฆ้องวง[10]

1-10 ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมวัสดุ กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาด้านพัฒนาอย่างยั่งยืน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จ.ปทุมธานี

*Corresponding author; E-mail address: jate@tistr.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับใช้เป็นโครงสร้างปิดทับแนวตลิ่งชนิดลาดเอียง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างแนวป้องกันการกัดเซาะตลิ่งตามธรรมชาติ โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะ ร่วมกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นจีโอเท็กไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นกรองดินโดยในส่วนผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน ได้มีการศึกษาพัฒนาสูตรส่วนผสมบล็อกประสานให้ผ่านเกณฑ์ความต้านทานแรงอัดที่ 140 กก./ตร.ซม. ของกรมชลประทานและมีการใช้ยางธรรมชาติร่วมผสมเพื่อลดการดูดกลืนน้ำ ในส่วนผลิตภัณฑ์แผ่นจีโอเท็กไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบได้ถูกเตรียมโดยใช้ยางธรรมชาติเชิงประกอบ ร่วมกับแผ่นแกนเสริมแรงจากเส้นใยธรรมชาติอีกทั้งยังมีการพัฒนาวัสดุปกคลุมเมล็ดพืชจากยางธรรมชาติเชิงประกอบ เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยที่รากสามารถแทรกผ่านรูพรุนของแผ่นวัสดุคอมพอสิตเพื่อยึดโยงโครงสร้างดินตลิ่งและเจริญเติบโตเป็นแนวป้องกันทางธรรมชาติบนแผ่นวัสดุ

In this research, interlocking block(i.e., armor layer) and geotextile (i.e., filter layer), based on natural materials, with an aim of use as slope bank protection had been developed.As forthe interlocking block, the formula of producing of interlocking block and the amount of natural rubber latex used was investigated. The results showed that the interlocking blockat140 ksc.was successfully prepared and the lowest water absorption could be observed whennatural rubber latex was introduced. In addition, Geotextile, based on natural rubber composite, was also prepared and used as filter layer in this research. The results revealed that synthesized binding agent played an important role in bonding between natural fibers and natural rubber matrix. Moreover, the seed covering material from natural rubber composites to promote seed germination and the field testing of these products were also evaluated.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยมีแหล่งน้ำและเส้นทางน้ำไหลพาดผ่านในหลายจังหวัด คลอบคลุมทั่วทุกภูมิภาคของประเทศการไหลของกระแสน้ำผ่านบริเวณผิวดินริมตลิ่งหรือเข้าบริเวณผิวหน้าตลิ่งโดยตรง ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนหรือแรงอัดกระทำกับบริเวณผิวหน้าดินของตลิ่ง โดยถ้าปริมาณแรงอัดหรือแรงเฉือนที่กระทำกับผิวหน้าดินของตลิ่งมีปริมาณมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงต้านทานเฉือนบริเวณผิวดินส่งผลให้เกิดการพัดพาดินออกจากแนวตลิ่งและเกิดการพังทลายของแนวตลิ่งในท้ายที่สุด ปัจจุบันมีพื้นที่หลายจังหวัดในประเทศที่กำลังประสบปัญหาการพังทลายของแนวตลิ่ง ทำให้เกิดการสูญเสียความมั่นคงทางอาณาเขตพื้นที่ดิน อาคารบ้านเรือน และสร้างอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ที่อยู่อาศัยใกล้ริมน้ำ นอกจากนั้นยังสร้างผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของระบบนิเวศริมน้ำและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ

การสร้างโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดลาดเอียง(อัตราส่วนระยะแนวตั้งต่อระยะแนวราบ อยู่ระหว่าง 1:2 ถึง 1:3) เพื่อป้องกันการกัดเซาะแบบถาวรด้วยปูนซีเมนต์ เป็นการลงทุนที่ใช้งบประมาณในการก่อสร้างที่สูง และจำเป็นที่ต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ รวมถึงระยะเวลาในการดำเนินการก่อสร้าง และระยะเวลาหลังการก่อสร้างในการบ่มซีเมนต์เพื่อให้ได้แนวป้องกันที่มีการรับกำลังที่เพียงพอต่อการใช้ในการรับแรงดันน้ำ การสร้างแนวป้องกันแบบซีเมนต์ในช่วงระยะทางสั้นๆ เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณหรือความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ที่ไม่ครอบคลุมพื้นที่การกัดเซาะทั่วแนวบริเวณ เมื่อเวลาผ่านไปบริเวณที่ไม่ได้สร้างแนวป้องกันจะพังทลาย และเกิดการกัดเซาะ ณ บริเวณปลายที่สร้างแนวป้องกันตามมาในภายหลัง และในท้ายที่สุด แนวป้องกันปูนซีเมนต์จะถูกทำลายตามมาเนื่องจากการกัดเซาะของน้ำที่เกิดภายใต้แนวป้องกัน นอกจากนั้น การสร้างโครงสร้างแบบถาวรด้วยปูนซีเมนต์ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรงจากการทำลายระบบนิเวศของพื้นที่ริมน้ำ

การสร้างโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดลาดเอียงที่พืชสามารถเจริญเติบโตและร่วมยึดโยงหน้าดินจึงเป็นทิศทางการพัฒนาโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ชั้นป้องกันการกัดเซาะ (Armour layer) ทำหน้าที่รับแรงอัดหรือแรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของกระแสน้ำซึ่งต้องมีความแข็งแกร่งและมีน้ำหนักที่มากพอที่จะไม่ถูกพัดพาโดยกระแสน้ำและ ชั้นวัสดุกรอง (Filter layer) ซึ่งทำหน้าที่กักเก็บผิวดินไม่ให้ถูกชะออกจากบริเวณแนวตลิ่งและในขณะเดียวกันมีความสามารถที่ยอมให้น้ำซึมผ่านชั้นวัสดุได้เพื่อลดแรงดันน้ำที่ไหลออกจากดินตามแนวตลิ่งแต่อย่างไรก็ตาม วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำชั้นป้องกันการกัดเซาะ นิยมนำหินใหญ่ที่ได้จากการระเบิดภูเขามาเรียงตามแนวตลิ่ง ในขณะที่ชั้นวัสดุกรองโดยทั่วไปนิยมใช้วัสดุจีโอเท็กซ์ไทล์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Synthetic geotextiles) มาใช้เป็นวัสดุปกคลุมดิน ซึ่งนับวันมีแต่จะหมดไปและไม่สามารถหาทดแทนได้ในอนาคต

ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีกรอบแนวคิดถึงความเป็นไปได้ในการสร้างนวัตกรรมพัฒนาวัสดุทางเลือกใหม่จากทรัพยากรธรรมชาติเพื่อการป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ด้วยการพัฒนาชั้นป้องกันการกัดเซาะจากบล็อกประสานรูปแบบใหม่ ที่สามารถก่อสร้างได้ง่าย ต้นทุนถูกโดยบล็อกประสานสามารถปรับโค้งให้เข้ากับความลาดเอียงตามธรรมชาติตลิ่ง มีรู ร่อง สำหรับการเก็บกักสะสมตะกอนตามธรรมชาติช่วงน้ำไหลช้า และเป็นที่จับยึดของพืชริมน้ำ ในขณะที่แผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์สำหรับใช้ทำชั้นวัสดุกรอง ปิดทับหน้าตลิ่งทำจากวัสดุทดแทนการใช้วัสดุจีโอเท็กซ์ไทล์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม กล่าวคือ วัสดุคอมพอสิตยางผสมมีความทนทานและมีความยืดหยุ่นที่วัตถุดิบสามารถ

เกิดขึ้นทดแทนได้ตลอดเวลา (Renewable resource)และสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุรองรับชั้นป้องกันการกัดเซาะจากบล็อกประสาน ซึ่งสามารถออกแบบให้มีลักษณะชั้นรูพรุนที่ทำหน้าที่ช่วยกักเก็บตะกอนดินไม่ให้ถูกชะออกจากบริเวณผิวหน้าตลิ่งแล้วยังสามารถออกแบบทางลักษณะโครงสร้างบนผิวหน้าของแผ่นวัสดุที่มีแนวโน้มที่สามารถดักจับตะกอนดินที่มาจากการพัดพาของกระแสน้ำได้อีกทาง จึงเป็นการส่งเสริมให้เกิดการสะสมและการสร้างชั้นตะกอนดินบนแผ่นวัสดุซึ่งพืชสามารถเจริญเติบโตและก่อตัวเป็นแนวป้องกันตลิ่งโดยวิธีธรรมชาติได้อีกทาง (Vegetation)

2. วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างองค์ความรู้และพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบสำหรับใช้เป็นโครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียง

3. วิธีการวิจัย

3.1 การเตรียมผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน

การพัฒนาการหาสัดส่วนผสมของมวลรวม เพื่อให้มีความต้านทานแรงอัดผ่านมาตรฐาน 140 กก./ตร.ซม. ที่กรมชลประทานกำหนด ด้วยการวิเคราะห์การคละขนาด โดยการเขียนโปรแกรมการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง และนำสูตรที่คำนวณได้ตามโปรแกรมมาผลิตเป็นก้อนบล็อกตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม. และการหาสูตรอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์โดยใช้ก้อนบล็อกป้องกันตลิ่งที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อเลือกอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่ค่าความต้านทานแรงอัดผ่านมาตรฐานและประหยัด

3.1.1 การพัฒนาความต้านทานแรงอัดของบล็อกกันตลิ่งด้วยวิธีการออกแบบสัดส่วนการคละขนาดของมวลรวม

นำตัวอย่างมวลรวม ได้แก่ ดินลูกรัง ทรายหยาบ หินฝุ่น ตัวอย่างละประมาณ 500 กรัม มาทดสอบหาขนาดคละ ตามวิธีทดสอบมาตรฐานโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4, 10, 40, 100, 200และถาดเปล่า แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าC_cและC_uด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อได้สัดส่วนคละที่เหมาะสมแล้ว ทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นของบล็อกตัวอย่างที่อัดขึ้นรูปขนาด 5x5x5 ซม. สัดส่วนมวลรวมที่ได้จากการคำนวณผ่านโปรแกรม เพื่อเปรียบเทียบว่าทฤษฎี Grain size analysis สามารถเพิ่มความหนาแน่นของบล็อกที่อัดขึ้นรูปได้สูงสุดจริงหรือไม่

การหาสัดส่วนปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิต โดยการทดสอบการผลิตก้อนบล็อกตามรูปร่างการใช้งานจริงตามอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่ปรับอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 1: 6, 1: 5 และ 1: 4 เพื่อหาอัตราส่วนที่สามารถผลิตบล็อกป้องกันตลิ่งที่มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตงานเขื่อนป้องกันตลิ่งของกรมชลประทาน ที่ระดับความต้านทานแรงอัด 140 กก./ตร.ซม. เพื่อเลือกเป็นอัตราส่วนที่ใช้ในการผลิตก้อนบล็อกสำหรับการทดสอบการก่อสร้าง เพื่อเก็บข้อมูล

3.1.2 การใช้ประโยชน์จากยางพาราเพื่อเพิ่มความสามารถในการป้องกันการกัดเซาะบล็อกป้องกันตลิ่ง

อัดก้อนบล็อกตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ สูตรละ 10 ก้อน บ่มอากาศอย่างน้อย 3 วันทำเครื่องหมายที่ก้อนตัวอย่าง และหาค่าการดูดกลืนน้ำของก้อนตัวอย่างแต่ละก้อน นำมาตากจนก้อนแห้ง อย่างน้อย 1 วันเตรียมน้ำยางพาราเจือจางที่ใช้ในการแช่บล็อกตามอัตราความเข้มข้นที่กำหนด

ส่วนผสมน้ำยางพารา 60% จำนวน 1ส่วนต่อน้ำ 100 ส่วน (1: 100), 2: 100, 3: 100, 4: 100 และ 5: 100 ตามลำดับ จำนวน 5 ชุดนำก้อนตัวอย่างที่แห้งแล้วมาแช่น้ำยางจนอิ่มน้ำ/ฟองอากาศหมด นำก้อนตัวอย่างไปทำการหาค่าการดูดกลืนน้ำ เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงการป้องกันการดูดกลืนน้ำว่าสัดส่วนใดให้ค่าที่ดีขึ้นมากที่สุด

3.2 การเตรียมผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

3.2.1 การพัฒนาแผ่นแกนเสริมแรง (reinforcement) จากแผ่นเส้นใยธรรมชาติด้วยการเตรียมตัวเชื่อมประสานจากการสังเคราะห์น้ำยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีด้วยสารเมทิลเมทาคริเลต

ชั่งน้ำยางข้น ร้อยละ 60 น้ำหนัก 150 กรัม ใส่ลงขวดก้นกลม เติมน้ำปราศจากไอออน จำนวน 75 มิลลิลิตร เพื่อเจือจางน้ำยางให้มีความเข้มข้นสุดท้ายที่ ร้อยละ 40หลังจากนั้น กวนผสมให้น้ำยางเข้ากัน พร้อมกับให้ความร้อน จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เติมโพแทสเซียมลอเรต จำนวน 2.5 กรัม ลงในขวดพร้อมกับกวน ที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที หลังจากนั้นเติม เตตระเอทิลีนเพนตามีน จำนวน 0.9 กรัม ทำการกวนเป็นเวลา 30 นาที เติมคิวมีนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จำนวน 0.9 กรัม และเมทิลเมทาคริเลตที่ปริมาณต่างๆ เช่น 5, 10 และ 15 กรัม หลังจากนั้นทำการกวนภายใต้ก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจนเสร็จสิ้นปฏิกิริยา สำหรับการนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางเคมี ตัวเชื่อมประสานที่สังเคราะห์ขึ้น จะถูกนำไปจับตัวด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น ร้อยละ 10 จนเป็นก้อน หลังจากนั้นนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยการสกัดซอกเลตด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตามด้วยการสกัดด้วยอะซีโตน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นทำการตรวจสอบคุณลักษณะโครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติของตัวเชื่อมประสานโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วงอินฟราเรด ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีก่อนนำไปเคลือบบนแผ่นเส้นใยธรรมชาติหลังจากนั้นเนื้อพื้นจากยางธรรมชาติเชิงประกอบถูกนำมาเคลือบแผ่นแกนเสริมแรง แล้วทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงและการกักเก็บตะกอนดินด้วยดินจำลองชนิดเม็ดแก้ว

3.2.2 การเตรียมวัสดุปกคลุมเมล็ดพืชจากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

แผ่นวัสดุปกคลุมเมล็ดพืชได้ถูกเตรียมโดยการผสมแกลบกับยางเครป ด้วยเครื่องผสมระบบปิด ที่อัตราส่วนแกลบต่อยางเครปที่ 50, 100, 200 และ 400 พีเอชอาร์ตามลำดับ โดยเริ่มจากใส่ยางเครปในเครื่องผสมระบบปิด แล้วบดผสมเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้น เติมแกลบและบดผสมเป็นเวลา 5 นาที นำคอมพาวด์ที่ได้มารีดด้วยเครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วนำมาทดสอบการบวมตัวในน้ำโดยจุ่มแช่ในน้ำ เป็นเวลา 3 วัน นอกจากนั้น วัสดุปกคลุมได้ถูกทดสอบการงอกของเมล็ดพืชผ่านวัสดุปกคลุม โดยนำไปปกคลุมเมล็ด รดน้ำทุกๆ 2 วันเป็นเวลา 14 วัน ทำการบันทึกผลการงอกของเมล็ดและการแทงทะลุของใบ ผ่านวัสดุปกคลุมที่ได้เตรียมขึ้นจากแกลบและยางเครป

3.3 การติดตั้งผลิตภัณฑ์โครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงจากผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

ผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบที่ได้พัฒนาถูกนำไปทดสอบการปูและการใช้งานบนสถานการณ์จริง โดยเริ่มจากการสำรวจพื้นที่ที่จะดำเนินการปู โดยในที่นี้ได้คัดเลือกสถานที่โดยใช้สถานที่ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศ

ไทย ในส่วนต่อไป คือการสร้างแนวปิดกั้นทางเดินน้ำเพื่อป้องกันปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสะสมบริเวณหน้างาน การสูบน้ำออกจากคลองระบาย การปรับปรุงแนวตลิ่งด้วยดินและหินคลุก การติดตั้งผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ และการเรียงผลิตภัณฑ์บล็อกประสานเพื่อสร้างเป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะและใช้หมุดยึดโยงเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับชุดโครงสร้าง

3.4 ราคาของผลิตภัณฑ์โครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงจากผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

ราคาผลิตภัณฑ์โครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงจากผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงบนพื้นที่สาธิตได้ถูกนำมาสรุปหลังจากการทดสอบติดตั้ง

4. ผลการศึกษาวิจัย

4.1 การเตรียมผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน

การปรับปรุงคุณภาพของเนื้อบล็อกให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มจาก 70 กก./ตร.ซม. เป็น 140 กก./ตร.ซม.เพื่อใช้ในงานคอนกรีตดาดตลิ่งของกรมชลประทาน และมีต้นทุนจากปูนซีเมนต์น้อยที่สุด จำเป็นต้องใช้แนวคิดของการผสมมวลคละสำหรับงานดินบดอัดงานถนน ที่ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของชั้นดิน ที่ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นการพัฒนาแนวคิดส่วนหนึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหามวลผสมคละให้ได้ไวที่สุดโดยไม่ต้องวาดกราฟหาจุดตัด แล้วทำการสุ่มหาค่า C_c ที่ระดับต่างๆ ของมวลผสม หินฝุ่นกับดินลูกรัง และทรายกับดินลูกรัง เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎี ที่ค่า C_c เมื่ออยู่ในช่วง 1-3 จะให้ความหนาแน่นสูง และความต้านทานแรงอัดที่สูงและเมื่อนำมาขึ้นรูปทดสอบจะได้ค่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_c ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัด

C_c	หินฝุ่น				ทราย			
	หินฝุ่น: ดินลูกรัง (ร้อยละ)	น้ำหนักก้อน (ก.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	ความต้านแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ทราย: ดินลูกรัง (ร้อยละ)	น้ำหนักก้อน (ก.)	ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	ความต้านแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
1	51:49	316	2.53	295	92:8	288	2.30	169
2	69:31	319	2.55	333	87:13	291	2.33	170
3	81:19	318	2.54	261	84:16	298	2.39	248
4	86:14	318	2.54	226	81:19	294	2.35	250
5	88:12	315	2.52	191				

เมื่อได้อัตราส่วนผสมของมวลรวมที่ให้ค่าความหนาแน่นและค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาอัตราส่วนปูนซีเมนต์เพื่อให้ความต้านทานแรงอัดผ่านมาตรฐาน โดยการแปรผันค่าปูนซีเมนต์แล้วเลือกสัดส่วนปูนซีเมนต์ให้ได้ความต้านทานแรงอัดที่ผ่านมาตรฐานจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมที่ 1: 6 ค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 176 กก./ตร.ซม. ผ่านมาตรฐานที่ 140 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานแรงอัดที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่างๆ

อัตราส่วนซีเมนต์ต่อมวลรวม	ความต้านทานแรงอัด (กก./ตร.ซม.)										ค่าเฉลี่ย
1: 4	225	302	213	240	239	276	254	231	218	241	244
1: 5	187	224	154	174	154	204	205	159	184	181	182
1: 6	187	178	168	157	180	174	173	131	207	205	176

จากตารางที่ 3 พบว่าการแช่น้ำยางพาราจะทำให้การดูดกลืนน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 13-20% โดยก่อนการแช่น้ำยางพารา ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 159 (กก./ลบ.ม.) ที่ความหนาแน่นแห้ง 2,353 (กก./ลบ.ม.) ค่าการดูดกลืนน้ำสูงสุดแต่ละก้อนต้องไม่เกิน 160 (กก./ลบ.ม.) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2533)ซึ่งมีบล็อกบางก้อนไม่ผ่านเกณฑ์นี้ เมื่อแช่น้ำยางพาราแล้วทำให้ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2,384 (กก./ลบ.ม.) และค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยลดลงเหลือ 133 (กก./ลบ.ม.) ซึ่งผ่านเกณฑ์การดูดกลืนน้ำทุกก้อน โดยมีอัตราส่วนการเจือจางที่ทำให้น้ำยางลดการดูดกลืนน้ำได้ดีที่สุดที่ 4% ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยลดลงเหลือ 130 (กก./ลบ.ม.) คิดเป็น 80% ของค่าการดูดกลืนน้ำก่อนการแช่น้ำยาง ในขณะที่การแช่น้ำยางที่ความเข้มข้นสูงขึ้น 5% กลับทำให้เกิดฟิล์มยางเคลือบรอบนอกก้อนบล็อก เพราะการกระจายตัวไม่ดีพอทำให้น้ำยางไม่ซึมเข้าไปในเนื้อบล็อก การดูดกลืนน้ำลดลงไม่มากเท่าสัดส่วนการเจือจางน้ำยางที่ต่ำกว่า และแผ่นฟิล์มยางนี้สามารถหลุดลอกได้ระหว่างขนย้าย/การใช้งาน

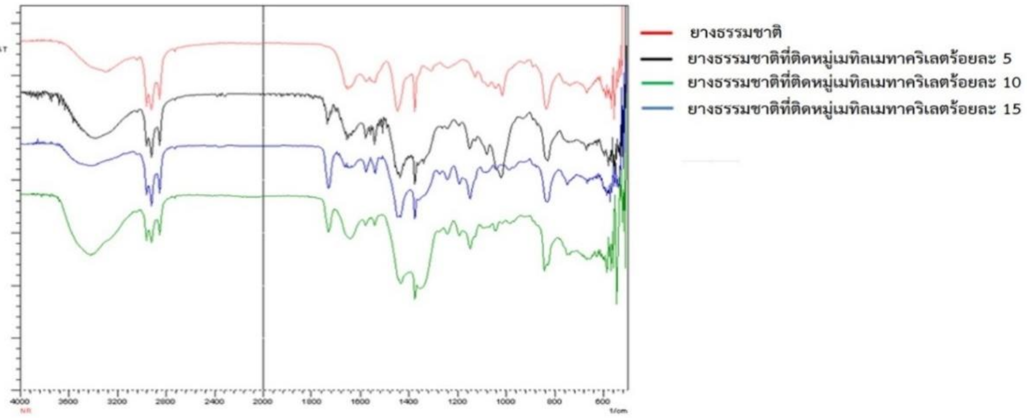
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนน้ำ

% เจือจางน้ำยาง	ก่อนจุ่มน้ำยาง		หลังจุ่มน้ำยาง		% การดูดกลืนน้ำที่ลดลง
	การดูดกลืนน้ำ (กก./ลบ.ม.)	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)	การดูดกลืนน้ำ (กก./ลบ.ม.)	ความหนาแน่นแห้ง (กก./ลบ.ม.)	
0	161	2352			
1	157	2353	133	2386	15
2	157	2347	132	2378	16
3	158	2354	133	2384	16
4	162	2354	130	2392	20
5	160	2357	139	2382	13
ค่าเฉลี่ย	159	2353	133	2384	

4.2 การเตรียมผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

4.2.1 การพัฒนาแผ่นแกนเสริมแรง (reinforcement) จากแผ่นเส้นใยธรรมชาติด้วยการเตรียมตัวเชื่อมประสานจากการสังเคราะห์น้ำยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีด้วยสารเมทิลเมทาคริเลต

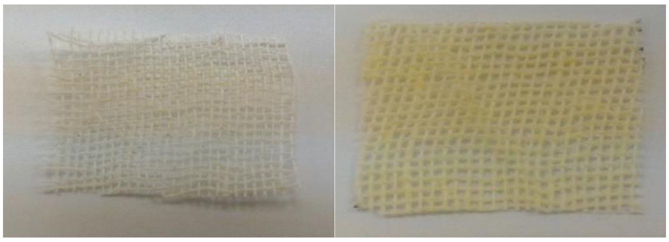
จากผลการสังเคราะห์จะพบว่าน้ำยางที่ถูกดัดแปลงโครงสร้างมีลักษณะขาวขุ่นเหมือนกับน้ำยางข้นที่นำมาใช้เตรียมการทดลองก่อนที่จะทำการดัดแปลงโครงสร้าง และไม่พบตะกอนเกิดขึ้นในระหว่างทำการสังเคราะห์ เมื่อนำยางที่ทำการสังเคราะห์มาจับตัวด้วยอะซีโตนและล้างสิ่งตกค้างที่ไม่เกิดปฏิกิริยาด้วยกระบวนการสกัดแบบซอกห์เลตจะพบว่ายางมีลักษณะสีขาวขุ่นและจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อแห้ง หลังจากนั้นนำยางสังเคราะห์ที่ผ่านการล้างทำความสะอาดมาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดกับปริมาณสารเมทิลเมทาคริเลตที่ทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 1ทำการทดสอบการดูดกลืนรังสีอินฟาเรด ด้วยเครื่องวิเคราะห์ FT-IR วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำยางธรรมชาติที่ติดด้วยสารเมทิลเมทาคริเลต ที่ปริมาณต่างๆ ลักษณะเฉพาะพีคของหน่วย isoprene สามารถสังเกตจากเลขคลื่นที่ 1663 และ 835 เซนติเมตร$^{-1}$ ที่แสดงถึงหมู่ C=C และ =C-H เกิดการเสียรูปจากการยืดตามลำดับ กราฟต์โคพอลิเมอร์แสดงให้เห็นถึงการดูดซับพีคที่เลขคลื่น 1732 และ 1140เซนติเมตร$^{-1}$ ที่แสดงถึงหมู่C=O และ C-O ตามลำดับ เลขคลื่นที่ 1732 เซนติเมตร$^{-1}$ แสดงถึงหมู่ C=O ของเมทิลเมทาคริเลต เมื่อปริมาณมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลตเพิ่มมากขึ้นพีคจะมีความยาวเพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดสอบการเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยธรรมชาติชนิดถักทอกับน้ำยางธรรมชาติทั้งที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีและไม่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้าง ด้วยตัวเชื่อมประสานชนิดต่างๆ คือ น้ำยางข้น น้ำยางคอมพาวด์ และน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารเมทิลเมทาคริเลต ที่ปริมาณสารที่แตกต่างกัน คือ ยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลต ร้อยละ 5 ที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางที่ ร้อยละ1, 5และ10 ของน้ำหนักยางโดยปริมาตร ยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลต ร้อยละ 10 ที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางที่ ร้อยละ 1, 5และ10ของน้ำหนักยางโดยปริมาตร และยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลต ร้อยละ 15 ที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางที่ ร้อยละ 1, 5 และ 10ของน้ำหนักยางโดยปริมาตร หลังทำการจุ่มเคลือบปล่อยให้แห้ง (รูปที่ 2ข)



(ก) (ข)

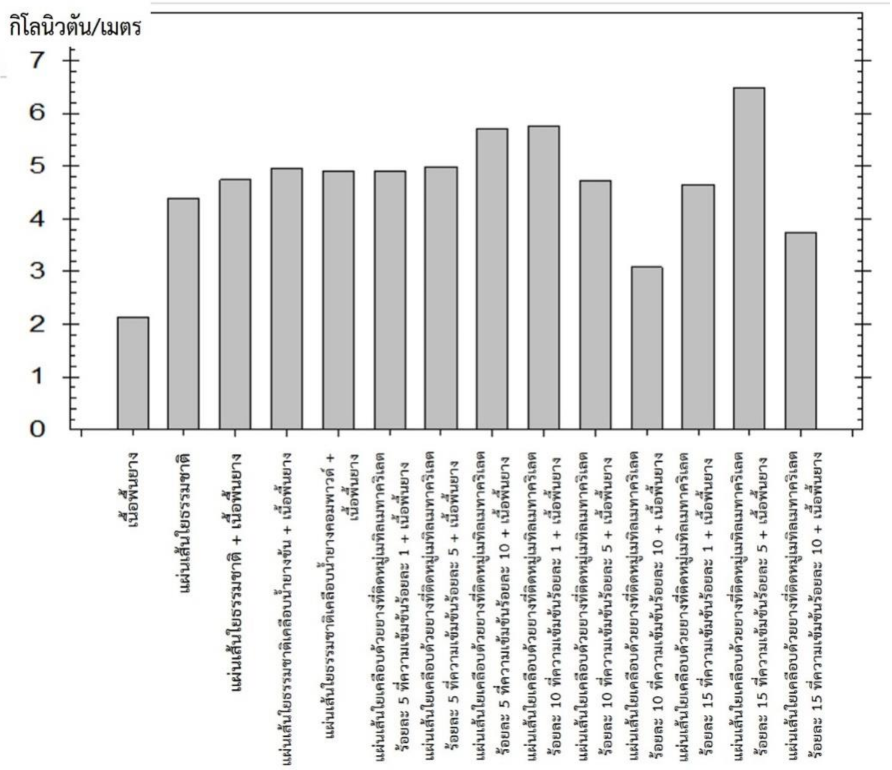
รูปที่ 2 แผ่นเส้นใยธรรมชาติ ก่อนการเคลือบตัวเชื่อมประสาน (ก)
หลังการเคลือบตัวเชื่อมประสาน และทำให้แห้ง (ข)

พบว่าเนื้อพื้นยางพรุนตัวที่เตรียมสำหรับใช้ในการทดลองให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 2.14 กิโลนิวตัน/เมตร ในขณะที่แผ่นเส้นใยธรรมชาติให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 4.39 กิโลนิวตัน/เมตร และเมื่อนำแผ่นเส้นใยธรรมชาติที่ทำหน้าที่เป็นแกนเสริมแรงมาเคลือบด้วยยางพรุนตัวที่ทำหน้าที่เป็นเนื้อพื้น จะพบว่า มีค่าความต้านทานแรงดึงที่ 4.74 กิโลนิวตัน/เมตรและมีค่าที่เพิ่มขึ้นโดยประมาณร้อยละ 8เมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยธรรมชาติ

เมื่อนำตัวเชื่อมประสานชนิดน้ำยางข้นและน้ำยางคอมพาวด์มาทำการเคลือบประสานก่อนการเคลือบเนื้อพื้น พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่า 4.95 และ 4.90กิโลนิวตัน/เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่เพิ่มขึ้นโดยประมาณร้อยละ 4 และ 3 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยธรรมชาติที่เคลือบด้วยเนื้อพื้นยางพรุนตัว

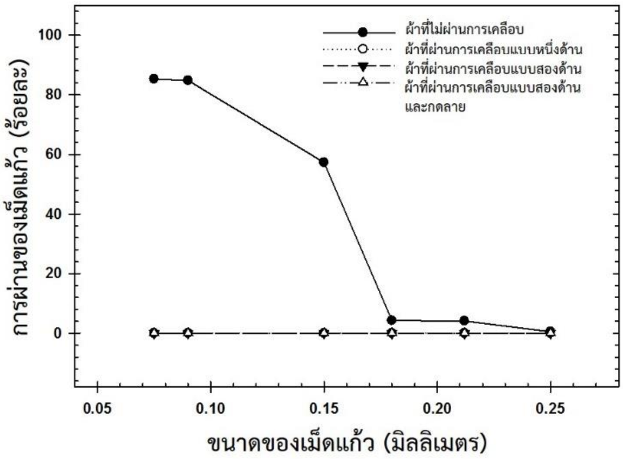
ตัวเชื่อมประสานชนิดยางธรรมชาติที่ผ่านการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารเมทิลเมทาคริเลต ที่ปริมาณสารและความเข้มข้นของน้ำยางที่แตกต่างกันพบว่า ตัวเชื่อมประสานยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลตร้อยละ 5 ให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำหนักยางโดยปริมาตรเพิ่มมากขึ้น คือ 4.91, 4.99 และ 5.72 กิโลนิวตัน/เมตร เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางที่ร้อยละ1, 5และ 10ตามลำดับ โดยมีค่าที่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ4, 5และ 21 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยธรรมชาติที่เคลือบด้วยเนื้อพื้นยางพรุนตัว โดยไม่มีตัวเชื่อมประสาน ในขณะที่ ตัวเชื่อมประสานยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลตร้อยละ10 ให้ค่าที่แปรผกผัน คือ 5.76, 4.73และ 3.08 กิโลนิวตัน/เมตร เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางที่ร้อยละ1, 5และ 10ตามลำดับ โดยมีค่าที่เปลี่ยนแปลงโดยประมาณที่ร้อยละ22, -0.2และ -35 ตามลำดับ ในกรณี ตัวเชื่อมประสานยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลตร้อยละ 15 พบว่าให้ค่าความต้านทานแรงดึงไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน คือ 4.65, 6.49 และ 3.75 กิโลนิวตัน/เมตร เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางที่ร้อยละ 1, 5, และ 10 ตามลำดับ โดยมีค่าที่เปลี่ยนแปลงโดยประมาณที่ร้อยละ-2, 29และ -21 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยธรรมชาติ (ดังรูปที่ 3)

จากผลทดสอบของการใช้ตัวเชื่อมประสานต่อคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นชิ้นงานสามารถสรุปได้ว่า ตัวเชื่อมประสานมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึง โดยพบว่า ตัวเชื่อมประสานยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลตร้อยละ15 ที่ความเข้มข้นของน้ำยางที่ร้อยละ5 ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด โดยมีค่าที่เพิ่มขึ้นร้อยละ29 เมื่อเทียบกับแผ่นเส้นใยธรรมชาติที่เคลือบด้วยเนื้อพื้นยางพรุนตัว โดยไม่มีตัวเชื่อมประสาน ลำดับถัดมา คือ ยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลตร้อยละ 10 ที่ความเข้มข้นของน้ำยางที่ร้อยละ 1 โดยมีค่าที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 22 และยางธรรมชาติที่ติดหมู่เมทิลเมทาคริเลตร้อยละ 5 ที่ความเข้มข้นของน้ำยางที่ร้อยละ 10 โดยมีค่าที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 21



รูปที่ 3 ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นเส้นใยธรรมชาติที่เคลือบด้วยตัวเชื่อมประสานชนิดต่างๆและเนื้อพื้นยาง

จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบที่เตรียมขึ้นได้ถูกทดสอบคุณสมบัติการกักเก็บตะกอนดินด้วยดินจำลองชนิดเม็ดแก้ว ซึ่งเป็นการหาขนาดรูพรุนของชิ้นงาน โดยแผ่นชิ้นงานถูกเตรียมและขึงบนตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช จนถึงขนาด 200 เมช แล้วนำเม็ดแก้วขนาดต่างๆ มาร่อนผ่านตะแกรงที่ขึงชิ้นงาน จดค่าร้อยละของเม็ดแก้วที่ผ่านการร่อนในตะแกรงแต่ละชั้น จากเม็ดแก้วขนาดเล็กจนถึงเม็ดแก้วขนาดใหญ่ จนได้ค่าร้อยละของเม็ดแก้วที่ผ่านชั้นนั้นน้อยกว่าร้อยละ 5 แล้วจึงทำการเทียบกับขนาดรูของตะแกรงร่อนเพื่อรายงานผลขนาดรูของชิ้นงานตัวอย่างในหน่วยมิลลิเมตรจากผลการทดลอง (รูปที่ 4) พบว่าชิ้นงานผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ (neat) มีการผ่านของเม็ดแก้ว ในช่วงขนาด 0.075 – 0.090 มิลลิเมตร มากกว่าร้อยละ 80 และเม็ดแก้ว ในช่วงขนาด 0.180 – 0.212 มิลลิเมตร น้อยกว่าร้อยละ 5ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบหนึ่งด้าน (one-side coated) ผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบสองด้าน (two-side coated) และผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบสองด้านพร้อมกดลาย (two-side coated/pressing) จะพบว่า การผ่านของเม็ดแก้ว ในช่วงขนาด 0.075 – 0.090 มิลลิเมตร น้อยกว่าร้อยละ 5 จึงสรุปได้ว่า ผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ (neat) มีขนาดรูที่น้อยกว่า 0.180 มิลลิเมตร และผ้าที่ผ่านการเคลือบมีขนาดรูที่น้อยกว่า 0.075 มิลลิเมตร



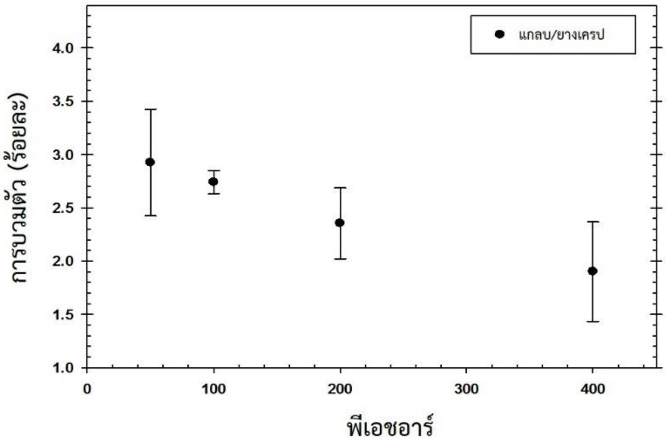
รูปที่ 4 ร้อยละการผ่านของเม็ดแก้วขนาดต่างๆ ที่ถูกร่อนผ่านผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ ผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบหนึ่งด้าน ผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบสองด้าน และผ้าที่ผ่านการเคลือบแบบสองด้านพร้อมกดลาย

4.2.2 การเตรียมวัสดุปกคลุมเมล็ดพืชจากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบสำหรับปูแนวป้องกันสาธิตได้ถูกทดสอบการเจริญเติบโตของพืชผ่านแผ่นชิ้นงาน โดยการจำลองสถานการณ์ในการใช้งานที่ปูทับบนตลิ่งที่เป็นดิน หลังจากนั้น โรยเมล็ดหญ้า แล้วปิดด้วยชั้นแกลบที่มีความสูง 2 เซนติเมตร ลงบนชิ้นงาน โดยเทียบกับผ้าที่ไม่ผ่านการเคลือบ รดน้ำทุก 2 วัน ทำการทดลองเป็นเวลา 14 วัน แล้วตรวจสอบการแทงทะลุผ่านของรากต้นหญ้าผ่านแผ่นชิ้นงานจากผลการทดสอบ (รูปที่ 5) พบว่าเมื่อครบเวลา 14 วัน ต้นพืชมีการเจริญเติบโตผ่านแผ่นชิ้นงานในทุกตัวอย่างที่ทดสอบ

รูปที่ 5 การเจริญเติบโตของเมล็ดพืชภายใต้วัสดุปกคลุมที่อัตราส่วนแกลบต่อยางเครปที่ปริมาณต่างๆ ที่เวลา 14 วัน

จากการทดลองในเบื้องต้นจะพบว่าการเจริญเติบโตของเมล็ดพืชบนแผ่นเนื้อพื้นยางพรุนตัวจำเป็นต้องมีวัสดุปกคลุมเพื่อรักษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเป็นการพัฒนาวัสดุปกคลุมจากยางธรรมชาติเชิงประกอบ เพื่อใช้ยึดติดเมล็ดบนแผ่นวัสดุ อีกทั้งเพื่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเมล็ดพืช โดยการผสมแกลบกับยางเครปด้วยอัตราส่วนต่างๆ จากรูปที่ 6 แสดงรูปตัวอย่างของแผ่นวัสดุปกคลุมที่เตรียมขึ้นจากการผสมยางเครปกับแกลบ ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยพบว่า เมื่อปริมาณแกลบที่ใช้ในการผสมกับยางเครปมีปริมาณเพิ่มขึ้น ร้อยละการบวมตัวของแผ่นวัสดุปกคลุมในน้ำจะมีค่าลดลงตามลำดับ



รูปที่ 6 การบวมตัวของแผ่นวัสดุปกคลุมที่เตรียมโดยการผสมแกลบและยางเครปที่อัตราส่วน 50, 100, 200และ 400 พีเอชอาร์

การเจริญเติบโตของเมล็ดพืชภายใต้วัสดุปกคลุมได้ถูกศึกษา โดยนำเมล็ดพืชวางบนแผ่นวัสดุแล้วปิดทับด้วยวัสดุปกคลุมที่เตรียมจากแกลบและยางเครปที่อัตราส่วนต่างๆ กระจายทั่วบริเวณ แล้วทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 14 วัน จากผลการทดลอง พบว่า ในวันที่ 7 ของการทดลอง เมล็ดพืชเกิดการงอกและเจริญเติบโตโดยแทงยอดอ่อนผ่านชั้นของวัสดุปกคลุมผิว ในขณะที่ วันที่ 10 ของการทดลอง ต้นอ่อนมีการแทงทะลุผ่านชั้นวัสดุปกคลุมและเริ่มเปิดเผยให้เห็นใบอ่อน และในวันที่ 14 ของ

การทดลองต้นพืชมีการขยายขนาดและเปิดเผยใบอ่อนอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 7) นอกจากนั้น ยังพบว่าที่อัตราส่วนแกลบต่อยางเครปที่แตกต่างกันในแต่ละวัสดุปกคลุม ไม่ส่งผลกระทบต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด

รูปที่ 7 การเจริญเติบโตของเมล็ดพืชภายใต้วัสดุปกคลุมที่อัตราส่วนแกลบต่อยางเครปที่ปริมาณต่างๆ ที่เวลา 14 วัน

4.3 การติดตั้งผลิตภัณฑ์โครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงจากผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

ผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบที่ได้พัฒนาถูกนำไปทดสอบการปูและการใช้งานบนสถานการณ์จริง โดยเริ่มจากการสำรวจพื้นที่ที่จะดำเนินการปู โดยในที่นี้ได้คัดเลือกสถานที่โดยใช้สถานที่ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยซึ่งมีอัตราส่วนระยะแนวตั้งต่อระยะแนวราบ อยู่ระหว่าง 1:2 ถึง 1:3 (แนวตลิ่งชนิดลาดเอียง) และมีภาพระหว่างการติดตั้งและหลังการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 8 และในระหว่างการติดตั้งได้ใช้หมุดยึดตอกลงในดิน เพื่อช่วยยึดชุดโครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งให้มีความมั่นคง

(ก) (ข)

รูปที่ 8 การติดตั้งแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ พร้อมทั้งผลิตภัณฑ์บล็อกประสานสำหรับทำแนวป้องกันสาธิตโดยเริ่มจากการสร้างแนวปิดกั้นทางเดินน้ำ ดำเนินการสูบน้ำออกจากคลองระบายน้ำการปรับปรุงแนวตลิ่งดำเนินการปูพร้อมทั้งติดตั้งผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบการเรียงผลิตภัณฑ์บล็อกประสานเพื่อสร้างเป็นชั้นป้องกันการกัดเซาะ (ก) และผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันการกัดเซาะตลิ่งบนพื้นที่แนวป้องกันสาธิตที่ดำเนินการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์ (ข)

หลังจากทำการติดตั้งผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง (ผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบและผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน) เสร็จสมบูรณ์แล้ว เมล็ดหญ้าได้ถูกโรยลงบน

ผลิตภัณฑ์เพื่อเสริมสร้างแนวป้องกันการกัดเซาะตลิ่งตามธรรมชาติ โดยพืชจะเจริญเติบโตเป็นแนวทางธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ระบบรากจะแทรกผ่านผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบลงไปยึดโยงริมตลิ่ง

เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ต้นพืชได้เจริญเติบโตผ่านช่องว่างของผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน และเมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน ต้นพืชมีขนาดสูงขึ้นและเกิดเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะตลิ่งตามธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 9 นอกจากนั้นแล้ว ในระหว่างการเก็บข้อมูลจะพบว่า บล็อกประสานที่เรียงตัวในน้ำจะเริ่มมีการสะสมของตะกอนดินบนผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและพบมีสิ่งมีชิวิตตามธรรมชาติ เช่น หอย เป็นต้น บนแนวป้องกันการกัดเซาะที่เป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 10

รูปที่ 9 การเจริญเติบโตของต้นพืชบนผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง (ผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบและผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน) เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน

(ก)

(ข)

รูปที่ 10 การสะสมตะกอนดินบนผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง (ก)และการพบสิ่งมีชิวิตตามธรรมชาติ เช่น หอย เป็นต้น (ข)บนแนวป้องกันการกัดเซาะที่เป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมบนผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน

4.4 ราคาของผลิตภัณฑ์โครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงจากผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ

ราคาชุดโครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงจากผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบได้ถูกนำมาสรุปดังตารางที่ 4 โดยเปรียบเทียบราคากับการก่อสร้างโดยใช้หินก่อ หินเรียง หินทิ้ง กล่อง Gabion และผลิตภัณฑ์ Natural matโดยจากข้อมูลจะพบว่า ราคาของผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันแนวตลิ่งที่ได้พัฒนาขึ้น มีราคาต่ำที่สุด คือ 300 บาท/ตร.ม.

ตารางที่ 4 ราคาของผลิตภัณฑ์สำหรับป้องกันแนวตลิ่ง

ชนิดแนวป้องกันตลิ่ง	ราคาต่อตร.ม. (บาท)
หินก่อ*	4,260
หินเรียง*	1,394
หินทิ้ง*	958
กล่อง Gabion*	817
ผลิตภัณฑ์ Natural mat*	380
ผลิตภัณฑ์โครงสร้างป้องกันแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงจากผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและแผ่นจีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ	300

หมายเหตุ *ที่มา บริษัท Natural Stream

5. สรุปผลการวิจัย

โครงสร้างปิดทับแนวตลิ่งชนิดลาดเอียงได้ถูกพัฒนา โดยประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์บล็อกประสานและผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซ์ไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ ผลิตภัณฑ์บล็อกประสานได้ถูกพัฒนาให้มีคุณสมบัติที่สามารถรับแรงกดอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่ารับแรงกดอัดมากกว่า 140 กก./ตร.ซม. ตามที่กรมชลประทานกำหนดโดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม 1: 6 ควบคู่กับการวิเคราะห์การคละขนาด และทดลองขึ้นรูปตามสูตรที่คำนวณได้ตามโปรแกรมมาผลิตเป็นก้อนบล็อกตัวอย่างนอกจากนั้น การจุ่มแช่บล็อกประสานในน้ำยางพาราที่ความเข้มข้น 4% จะให้ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยลดลงเหลือ 130 (กก./ลบ.ม.) คิดเป็น 80% ของค่าการดูดกลืนน้ำก่อนการแช่น้ำยาง ในส่วนผลิตภัณฑ์จีโอเท็กซีไทล์จากยางธรรมชาติเชิงประกอบ พบว่า ตัวเชื่อมประสานที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมาในงานวิจัยชิ้นนี้มีประสิทธิภาพในการเชื่อมประสานแผ่นแกนเสริมแรงจากเส้นใยธรรมชาติกับเนื้อพื้นยางพรุนตัวได้เป็นอย่างดี โดยสามารถเพิ่มคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงให้มีค่าที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 29 นอกจากนั้น การทดสอบคุณสมบัติการกักเก็บตะกอนดินด้วยดินจำลองชนิดเม็ดแก้ว ซึ่งเป็นการหาขนาดรูพรุนของชิ้นงานและการเจริญเติบโตของพืช พบว่า มากกว่าร้อยละ 90ของจำนวนรูทั้งหมดอยู่ในช่วง ขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอน จนถึง 0.25 มิลลิเมตร และรูพรุนสามารถส่งเสริมให้ต้นพืชเจริญเติบโตและรากเกิดการแทรกผ่านแผ่นวัสดุได้ นอกจากนั้น วัสดุปกคลุมเมล็ดพืชจากยางธรรมชาติเชิงประกอบได้ถูกพัฒนาและพบว่าเมื่อสัดส่วนปริมาณแกลบต่อยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น การบวมตัว (swelling) ในน้ำมีแนวโน้มที่ลดลง และเมื่อทดลองใช้งานพบว่าเมล็ดพืชสามารถงอกและแทงยอดออกมาจากวัสดุปกคลุมได้เป็นอย่างดี

6. บรรณานุกรม

คล่องแคล่ว, ถิระโคตร และ องอาจ วาณิชย์. 2549. การศึกษากำลังรับแรงอัดของบล็อกจีโอโพลิเมอร์โดยใช้ด่างโซดาไฟและซีเมนต์. ปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศีรีรัตน์, ชูศักดิ์. 2549. Sieve Analysis. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://www.kkw.rmutr.ac.th/dream8/pdf/lab_soil/Sieve%20Analysis.pdf, [เข้าถึงเมื่อ 16 กุมภาพันธ์ 2561]

เจริญเหรียญ, เสถียร. 2549. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเขื่อนป้องกันตลิ่งส่วนที่ 2. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://services.dpt.go.th/dpt_subkm01/index.php?option=comweblinks&catid=14&Itemid=29, [เข้าถึงเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2561].

บริษัท เฮงกิจ จำกัด. 2554. บล็อกปลูกหญ้า (B36) 40x60x10 ซม. สีปูน[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://hengkij.com/product/pro_detail.php?cid=576&cid_pr=576&pid=497&cname=%BA%C5%E7%CD%A1%BB%C5%D9%A1%CB%AD%E9%D2%20(B36), [เข้าถึงเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2561].

ฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ. ม.ป.ป. การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสาน. เทคโนโลยีบล็อกประสาน วว., สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย หน้า 52-53.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2533.วัตถุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบล็อกชั้นคุณภาพต่างๆ*มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก* สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม หน้า 11 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.fio.co.th/p/tisi_fio/fulltext/TIS57-2533.pdf, [เข้าถึงเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2561].

สำนักวิเคราะห์ วิจัย และพัฒนา. ม.ป.ป.มทช 2545-ท) 101.1).วิธีการทดสอบหาส่วนคละ (Sieve Analysis) ของวัสดุมวลรวม (Aggregate), [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://research.drr.go.th/sites/research.drr.go.th/files/mthch.th101.1-2545_1.pdf, [เข้าถึงเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2561].

Heibaum, M., 2014. Geosynthetics for waterways and flood protection structures - Controlling the interaction of water and soil. *Geotextextile Geomembrane*.**42**, pp. 374-393.

Karademir, T., and Frost, D.J.,2014. Micro-scale tensile properties of single geotextile polypropylenefilaments at elevated temperatures,*GeotextextileGeomembrane*.**42**, pp. 213-201.