คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยซีเมนต์จากหญ้าเนเปียร์
PHYSICAL PROPERTIES OF CEMENT FIBERS FROM NAPIER GRASS

พัทธนันท์ นาถพินิจ*, บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล, โชติกา คงสมบูรณ์ และ พงษ์ศักดิ์ หงษ์เจริญศรี
Patthanant Natpinit*, Borisut Chantrawongphaisal, Chotika Kongsomboon
and Phongsak Hongcharoensri

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการผลิตแผ่นเส้นใยซีเมนต์จากหญ้าเนเปียร์ที่มีค่าแรงต้านแรงดัดสูง ทดแทนแผ่นฝ้าเพดาน โดยนำหญ้าเนเปียร์สดมาบดให้ได้ขนาด 1 เซนติเมตร และทำการล้าง จากนั้นจึงนำมาผสมกับสูตรตามอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยซีเมนต์ เช่น ความชื้น สารเคมีและปริมาณที่ใช้ที่มีผลต่อการแข็งตัวของซีเมนต์ สัดส่วนเส้นใย น้ำหนักรวม และลักษณะเส้นใยแห้งหรือเปียก เป็นต้น ผลการวิจัย พบว่า ความชื้นในเส้นใยอย่างน้อยร้อยละ 50 มีผลให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์มีค่าต้านแรงดัดสูงขึ้น ชนิดของสารเคมีที่ใช้ทุกตัวส่งผลให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์มีค่าต้านแรงดัดสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แต่แคลเซียมคลอไรด์ส่งผลให้ค่าต้านแรงดัดสูงที่สุด ซึ่งปริมาณที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้ นอกจากนี้สัดส่วนเส้นใยที่ 0.5 เท่า ของซีเมนต์สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่มีค่าต้านแรงดัดสูงถึง 15.71 เมกกะปาสคาล ที่ความหนา 1 เซนติเมตร น้ำหนักรวมของแผ่นเส้นใยซีเมนต์อยู่ที่ 10.6 กิโลกรัม ขนาด 63 x 63 ตารางเมตร ซึ่งแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้ มีค่าความเป็นรูพรุน การพองตัว และการดูดซับน้ำต่ำ ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นปรากฏ และค่าต้านแรงดัดมีค่าสูง ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 7 เมกกะปาสคาล

คำสำคัญ: เส้นใยซีเมนต์, หญ้าเนเปียร์, ค่าต้านแรงดัด, แคลเซียมคลอไรด์

* ผู้ประสาน: พัทธนันท์ นาถพินิจ
อีเมล์: patthanant_n@tistr.or.th

ABSTRACT

The objective of this research was to develop the production of fiber cement boards with high flexural strength from Napier grass for ceiling board substitution. The fresh Napier grass was crushed to 1 cm and washed. Then the washed fiber was added in mixture formulas with different ratios in order to study factors affecting the fiber cement board formation, e.g., moisture, chemical compound and quantity used, fiber ratio, total weight and characteristics of fiber as wet or dry. It was found that the moisture content in fiber at least 50% increased the flexural strength of the fiber cement boards. All chemical compounds used also increased the flexural strength but without statistic significance. Besides, Calcium chloride which was 0.5% of the total fiber cement weight could increase the highest flexural strength. In addition, the 0.5 times ratio of fiber per cement can be used to produce the 1 cm thick fiber cement boards with the flexural strength of 15.71 MPa. The total weight of the fiber cement board is 10.6 kg with 63 x 63 m2 dimension. The produced fiber cement boards can be used due to the physical properties of the fiber cement boards that had low apparent porosity, swelling and water adsorption, whereas the bulk density, apparent density, and the flexural strength are high. Especially, the flexural strength is higher than the standard value of 7 MPa.

KEYWORDS: Fiber Cement, Napier Grass, Flexural Strength, Calcium Chrolide

บทนำ

จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้น ประกอบกับประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศร้อน ดังนั้น วัสดุที่ใช้เป็นกรอบอาคาร เช่น ผนัง หลังคาบ้าน รวมถึงแผ่นฝ้า จึงจำเป็นต่อการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในบ้านหรืออาคาร การใช้วัสดุป้องกันความร้อนดังกล่าวส่งผลดีต่อการรักษาระดับอุณหภูมิภายในบ้านหรืออาคารให้ต่ำอยู่เสมอ และนำไปสู่การลดความต้องการใช้ไฟฟ้าจากการใช้อุปกรณ์ทำความเย็นต่าง ๆ ภายในบ้านและอาคาร โดยที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีผลผลิตและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ที่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงาน เพื่อผลิตเป็นผนัง แผ่นหลังคา และแผ่นฝ้า วัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงานนี้นอกจากจะรักษาระดับอุณหภูมิภายในบ้าน และอาคารให้ต่ำอยู่เสมอและลดค่าใช้จ่ายจากการประหยัดพลังงานแล้วยังสามารถเพิ่มรายได้จากการสร้างงานให้กับเกษตรกรจากการปลูกหญ้าเนเปียร์ รวมถึงการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร และการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งเหล่านี้ จึงนับได้ว่าเป็นการบรรเทาปัญหาโลกร้อนทั้งในทางตรงและทางอ้อม

เส้นใยธรรมชาติ เหล่านี้เป็นโพลิเมอร์ที่มีอยู่ในพืช สัตว์ และจากสินแร่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น เส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ใยสับปะรด ใยมะพร้าว ฝ้าย นุ่น ศรนารายณ์ เป็นต้น เซลลูโลส เป็น โฮโมพอลิเมอร์ ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสจำนวนมาก มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา เส้นใยโปรตีนซึ่งมาจากสัตว์ เช่น ขนสัตว์ (Wool) ไหม (Silk) ผม (Hair) เล็บ เขา ใยไหม เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้ มีสมบัติ คือ เมื่อเปียกน้ำ จะมีความเหนียวและความแข็งแรงลดลง เส้นใยธรรมชาตินี้มีข้อดี คือ น้ำหนักเบา เป็นฉนวนความร้อนที่ดี ปลอดพิษจากสารเคมี และมีความสวยงามเฉพาะตัว แต่มีข้อเสีย คือ คุณภาพไม่คงที่ ไม่ทนความร้อน ดูดความชื้น ไม่ทนต่อสารเคมี ผลิตได้ครั้งละไม่มาก และมีปัญหาเรื่องเชื้อราและจุลินทรีย์ได้ แผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ผลิตได้ส่วนใหญ่มีความหนาแน่น 1,100 - 1,300 กก./ลบ.ม. มีค่าความต้านทานความร้อนที่ 0.096 ลูกบาศก์เมตร/วัตต์ (ธนัญชัย ปคุณวรกิจ, 2549)

นอกจากนี้ได้มีการศึกษานำไม้ยางพารามาผลิตเป็นแผ่นเส้นใยซีเมนต์ โดยนำไม้ยางพารามาสับ และบดเส้นใยให้มีความละเอียด แล้วนำไปผสมกับซีเมนต์ ร่วมกับสารเร่งแข็งและน้ำ ก่อนนำไปอัดเป็นแผ่น ซึ่งจากการศึกษาแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้มีความหนาเฉลี่ย 9.90 - 10.93 มิลลิเมตร ความหนาแน่นเฉลี่ย 1,207 - 1,244 กก./ลบ.ม. ที่ความชื้นร้อยละ

6.75 - 9.96 โดยแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้มีค่าต้านแรงดัดอยู่ในช่วง 2.35 - 12.28 เมกกะปาสคาล ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น อยู่ในช่วง 2.177 - 6.674 เมกกะปาสคาล ค่าการพองตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 0.016 - 0.904 และค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 14.58 - 30.70 (ทรงกลด จารุสมบัติ และคณะ, 2552) ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไม้ยางพารามาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเส้นใยซีเมนต์ เพื่อนำไปเป็นบันได ไม้ฝา ไม้เชิงชาย ไม้บัว เป็นต้น

การนำเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์มมาผลิตเป็นกระเบื้องหลังคาแผ่นเรียบ และแผ่นผนัง โดยใช้สัดส่วนเส้นใยที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.3 โดยมีการปรับสภาพเส้นใยโดยการต้มในน้ำเดือด 2 ชั่วโมง และอบให้แห้ง ก่อนนำไปผสมซีเมนต์ แล้วจึงนำไปขึ้นรูปแบบไม่ใช้แรงอัด ซึ่งแผ่นเส้นใยซีเมนต์จากมะพร้าว และปาล์มมีค่ากำลังรับแรงดัดที่ 18.34 และ 17.84 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าต้านแรงดัดของแผ่นเส้นใยซีเมนต์เป็น 4.71 และ 4.03 เมกกะปาสคาล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ASTM C1186 – 02 (ASTM, 2006); (ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และอัญชิสา สันติจิตโต, 2555)

นอกจากนี้มีการศึกษานำเส้นใยสับปะรดและเส้นใยเปลือกข้าวโพดมาทำเป็นแผ่นกระเบื้องหลังคา โดยใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซิน และไอโซไซยาเนตเรซิน มาเป็นสารยึดติด โดยขึ้นรูปแบบอัดร้อนที่ 150 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 15 นาที ผลที่ได้พบว่าวัสดุของเส้นใย รูปร่างลักษณะเส้นใยที่ยาวหรือสั้นให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่หนาและสั้น ความหนาแน่นของแผ่น และชนิดของกาวมีผลต่อความแข็งแรงและค่าความร้อนของแผ่นหลังคา โดยที่ค่าความหนาแน่นต่ำ จะมีช่องว่างมากกว่าทำให้ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นที่มีความหนาแน่นสูง โดยที่ค่าต้านแรงดัดอยู่ที่ 23.142 และ 27.499 เมกกะปาสคาล ค่าความแข็งแรงการกระแทกอยู่ที่ 1.57 และ 1.94 จูล ตามลำดับ (นิตยา พัดเกาะ, 2560)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ผลิตจากหญ้าเนเปียร์ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ทำให้มีค่าต้านแรงดัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาล เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นผนัง แผ่นหลังคา และแผ่นผ้า เป็นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยสำหรับการอัดแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ นำหญ้าเนเปียร์สดที่ได้นำไปผึ่งแดดให้แห้ง แล้วจึงนำไปบดให้มีขนาด 0.5 - 1 เซนติเมตร แล้วนำเส้นใยที่บดแล้วไปแช่น้ำทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วจึงล้างน้ำออก บีบเส้นใยให้น้ำบางส่วนออกไป โดยคงเหลือความชื้นไว้ประมาณร้อยละ 50 ดังรูปที่ 1

ก.หญ้าเนเปียร์บดหยาบ | ข.หญ้าเนเปียร์บดละเอียด | ค.หญ้าเนเปียร์แช่น้ำ | ง.หญ้าเนเปียร์ที่ล้างและตากแห้ง

รูปที่ 1 การเตรียมเส้นใยก่อนนำไปขึ้นแผ่นเส้นใยซีเมนต์

2. สัดส่วนเส้นใย ปูนซีเมนต์ สารเคมี และปริมาณน้ำที่ใช้ในการศึกษา ตามตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความชื้น, การผสมน้ำในปูน, สารเพิ่มความแข็งแรง, ปริมาณของสารเคมีที่ใช้, สัดส่วนเส้นใย, การทอนน้ำหนักรวม และลักษณะเส้นใย แสดงได้ดังตารางที่ 1

3. ขั้นตอนการขึ้นแผ่นเส้นใยซีเมนต์ ผสมเส้นใยกับซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ (ดังตารางที่ 1) นำส่วนผสมทั้งหมดลงในกะบะหรือเครื่องผสมซีเมนต์ ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน โดยทำการขยี้ให้เส้นใยผสมกับซีเมนต์อย่างทั่วถึง ไม่ให้ซีเมนต์เกาะติดกัน แล้วจึงนำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วอัดลงบนแม่แบบ ขนาด 35 x 35 เซนติเมตร หรือ ขนาด 63 x 63 เซนติเมตร ด้วยแรงกด 40 นิวตัน ทิ้งระยะเวลาการอัดไว้ 3 - 5 วัน แล้วจึงนำแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่แกะออกจากแบบแล้วนำไปผึ่งเป็นเวลา 21 - 30 วัน ดังรูปที่ 2

ก. ผสมเส้นใยกับซีเมนต์ในกะบะ | ข. ผสมเส้นใยกับซีเมนต์ในเครื่องผสมซีเมนต์ | ค. ขึ้นรูปแผ่นเส้นใยด้วยเครื่องอัด | ง. แผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้

รูปที่ 2 การขึ้นรูปแผ่นเส้นใยซีเมนต์

4. ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน ตัดชิ้นงานขนาด 20 x 15 เซนติเมตร เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความต้านแรงดัด (Flexural Strength) ความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นเชิงปรากฏ (Density) ความเป็นรูพรุน (Apparent Porosity) การดูดซับน้ำ (Water Adsorption) การพองตัว (Swelling) (อิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ, มอก.1427-2540) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540) โดยแต่ละตัวอย่างวัดซ้ำอย่างน้อย3 ตัวอย่าง และทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

5. พารามิเตอร์ที่ศึกษา เกณฑ์ของผลการวิเคราะห์จะยึดค่าต้านแรงดัดของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ผลิตได้ตามตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษา โดยตัวอย่างที่มีค่าต้านแรงดัดมากกว่า 7 เมกกะปาสคาล (มอก. 1427-2540) จะถือว่าแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้เป็นไปตามความต้องการสำหรับผลวิเคราะห์อื่น ๆ เช่น การพองตัว ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นปรากฏ ความเป็นรูพรุน และการดูดซับน้ำ จะวิเคราะห์ เพื่อแสดงถึงคุณสมบัติของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

ตารางที่ 1 ส่วนผสมในเส้นใยซีเมนต์

ปัจจัยที่ศึกษา	กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา	ขนาด ซม.xซม.	น้ำหนัก (กรัม)				
			เส้นใย	ซีเมนต์	น้ำ	$CaCl_2$	$Al_2(SO_4)_3$
1. ความชื้นในเส้นใย	1) เส้นใยแห้ง	35x35	678	1,356	515	26	26
	2) เส้นใยแห้ง+น้ำ 1,780 มล.	35x35	678	1,356	515	26	26
2. การผสมน้ำในปูน	1) ปูนไม่ผสมน้ำ	35x35	678	1,356	515	26	26
	2) ปูนผสมน้ำ	35x35	678	1,356	515	26	0
3. สารเพิ่มความแข็งแรง (ใช้เส้นใยเปียกมีความชื้นร้อยละ 50)	1) 1% $Al_2(SO_4)_3$ +$CaCl_2$	35x35	1,356	1,356	515	26	26
	2) 1% $CaCl_2$	35x35	1,356	1,356	515	26	0
	3) 1% $Al_2(SO_4)_3$	35x35	1,356	1,356	515	0	26
	4) 1% Al_2O_3+$CaCl_2$	35x35	1,356	1,356	515	26	26

ตารางที่ 1 ส่วนผสมในเส้นใยซีเมนต์ (ต่อ)

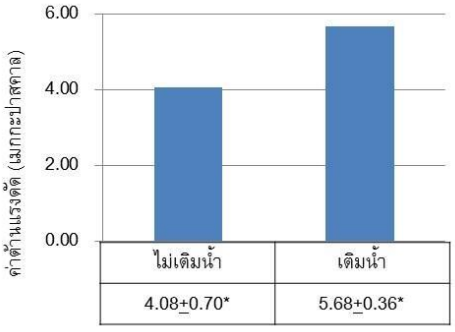
ปัจจัยที่ศึกษา	กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา	ขนาด ซม.xซม.	น้ำหนัก (กรัม)				
			เส้นใย	ซีเมนต์	น้ำ	$CaCl_2$	$Al_2(SO_4)_3$
4. ปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรง	1) 0.25% $Al_2(SO_4)_3$	35x35	1,356	1,356	515	0	6.5
	2) 0.5% $Al_2(SO_4)_3$	35x35	1,356	1,356	515	0	13
	3) 0.25% $CaCl_2$	35x35	1,356	1,356	515	6.5	0
	4) 0.5% $CaCl_2$	35x35	1,356	1,356	515	13	0
	5) 0.25% $CaCl_2$+ 0.75% $Al_2(SO_4)_3$	35x35	1,356	1,356	515	6.5	19.5
	6) 0.5% $CaCl_2$+ 0.5% $Al_2(SO_4)_3$	35x35	1,356	1,356	515	13	13
	7) 0.75% $CaCl_2$+ 0.25%$Al_2(SO_4)_3$	35x35	1,356	1,356	515	19.5	6.5
5. สัดส่วนเส้นใย	1) 0.4 fiber	63x63	3,500	4,400	2,700	42	0
	2) 0.5 fiber	63x63	4,400	4,400	3,000	42	0
6. การทอนน้ำหนักรวม	1) น้ำหนักรวม 11.8 กก.	63x63	4,400	4,400	3,000	42	0
	2) น้ำหนักรวม 10.6 กก.	63x63	4,000	4,000	2,650	38	0
7. ลักษณะเส้นใย	1) เส้นใยเปียก	63x63	4,000	4,000	2,650	38	0
	2) เส้นใยแห้ง	63x63	2,000	4,000	2,650 +2,000*	38	0

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

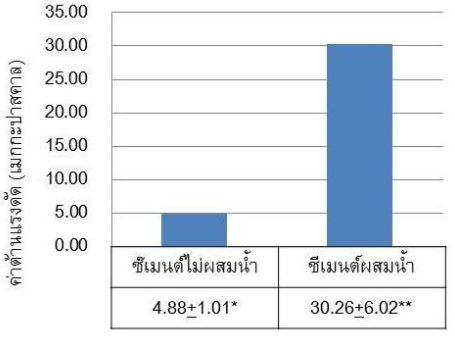
1. ผลการศึกษาค่าต้านแรงดัด

1.1 ความชื้นเส้นใย จากรูปที่ 3 พบว่าค่าต้านแรงดัดของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ไม่มีการเติมน้ำ และมีการเติมน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยกลุ่มที่ไม่มีการเติมน้ำ และกลุ่มที่มีการเติมน้ำมีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัด เป็น 4.08 และ 5.68 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาล แต่พบว่าการที่ความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าต้านแรงดัดสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปไม่เพียงพอต่อการเพิ่มความชื้นเส้นใย และวิธีการแช่น้ำ อาจจะทำให้

เส้นใยบางส่วนไม่ได้ดูดซึมน้ำเข้าไปในเซล เนื่องจากเส้นใยมีการลอยตัวเหนือน้ำ จะสังเกตได้ว่าน้ำที่เติมเข้าไปจะหายเข้าไปในเส้นใยเกือบทั้งหมด แสดงว่าวิธีการเติมน้ำสามารถเพิ่มความชื้นได้ดีกว่า แต่ปริมาณน้ำที่เติมนั้นอาจจะยังไม่เพียงพอที่จะเพิ่มความชื้นให้กับเส้นใยเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับซีเมนต์อย่างสมบูรณ์ในการคงตัว และแข็งตัวมากขึ้น เนื่องจากการแข็งตัวของซีเมนต์ ขึ้นกับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในซีเมนต์ ซึ่งควรมีปริมาณอย่างน้อยร้อยละ 25 ของซีเมนต์ และน้ำที่ใช้ผสมซีเมนต์มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ด้วย



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยต้านแรงดันของการทดสอบความชื้น



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยต้านแรงดัดของการทดสอบการผสมน้ำในซีเมนต์

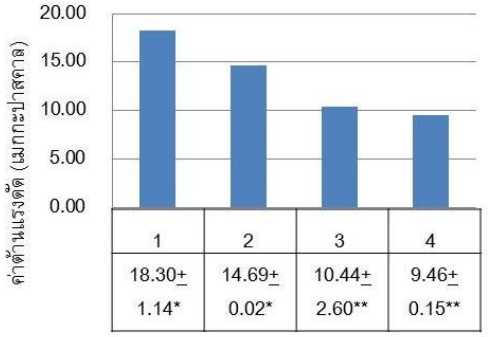
1.2 การผสมน้ำในซีเมนต์ จากรูปที่ 4 พบว่า ค่าต้านแรงดัดในแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมน้ำมีความแตกต่างกับกลุ่มที่ซีเมนต์ผสมน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยกลุ่มที่ซีเมนต์ไม่ผสมน้ำมีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดต่ำกว่ากลุ่มที่ซีเมนต์ผสมน้ำอย่างเห็นได้ชัด เป็น 4.88 และ 30.26 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ซีเมนต์ที่ใช้จำเป็นต้องอาศัยน้ำเพื่อให้เกิดการละลาย และเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนอย่างทั่วถึง ไม่มีเนื้อซีเมนต์แห้ง ซีเมนต์จึงสามารถแข็งตัวและคงตัวได้ดี และน้ำที่ใช้สามารถทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้เต็มที่ ไม่ต้องสูญเสียไปกับเส้นใยด้วย เนื่องจากเส้นใยเปียกมีความชื้นอิ่มตัวประมาณร้อยละ 50 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าสารเคมีที่ใช้เติมเพียงแคลเซียมคลอไรด์สามารถเพิ่มค่าต้านแรงดัดได้สูงมาก และค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดที่ได้มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาลด้วย ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าการผสมซีเมนต์กับน้ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งระยะเวลาการก่อตัว และการแข็งตัวของซีเมนต์จะขึ้นกับปริมาณน้ำที่มีผสมอยู่ และการทำ

ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์และน้ำจะหยุด เมื่อน้ำหนีออกจากเพลตทั้งหมด ซึ่งหากอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ต่ำกว่า 0.55 ในการขึ้นรูปเส้นใยซีเมนต์ จำเป็นต้องมีการบ่มน้ำ โดยการแช่หลังขึ้นรูปเสร็จแล้ว เพื่อให้ซีเมนต์เกิดการแข็งตัวได้มากขึ้น (ประยุทธ์ ทองคุปต์ และ ภาคภูมิ เลิศอารมณ์, 2537)

1.3 สารเพิ่มความแข็งแรง จากรูปที่ 5 พบว่า ค่าต้านแรงดัดของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ใช้สารเคมีต่างกัน 4 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยสามารถแบ่งกลุ่มที่มีความแตกต่างกันได้ 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ใช้สูตรสารส้ม และสูตรอะลูมินาร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งมีค่าต้านแรงดัดเป็น 9.46 และ 10.44 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ใช้สูตร สารส้มร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าต้านแรงดัดเป็น 18.30 และ 14.69 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า สูตรที่ใช้สารส้มร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์มีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดมากที่สุด รองลงมาคือสูตรแคลเซียมคลอไรด์ แสดงว่าแคลเซียมคลอไรด์สามารถละลายน้ำ และช่วยเพิ่มความแข็งแรง และความคงตัวของซีเมนต์ได้ดี ทั้ง 4 สูตรนี้มีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาล แสดงให้เห็นว่าสารเคมีที่ใช้สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้ ทำให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์มีค่าต้านแรงดัดมากขึ้น ซึ่งพบว่าอลูมิเนียมซัลเฟต สามารถเพิ่มความแข็งแรงการยึดเกาะซีเมนต์กับเส้นใยได้ถึง 2 เท่า แคลเซียมคลอไรด์สามารถทำให้ซีเมนต์แข็งตัวได้เร็วขึ้น แต่ถ้าใช้ปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลให้เส้นใยเกาะตัวกับซีเมนต์ได้น้อย เนื่องจากซีเมนต์แข็งตัวไปก่อน นอกจากนี้ยังพบว่าอลูมิเนียมซัลเฟต และ แคลเซียมคลอไรด์ ให้ความแข็งแรงไม่ต่างกัน (ประยุทธ์ ทองคุปต์ และ ภาคภูมิ เลิศอารมณ์, 2537)

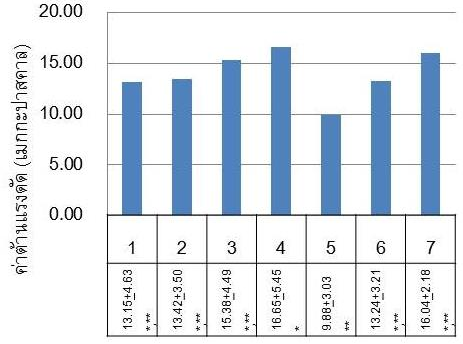
ในทางปฏิบัติสารเคมีที่ใช้ แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเคมีที่ละลายน้ำได้ดี และเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนเมื่อละลายน้ำ เมื่อนำไปผสมกับซีเมนต์ ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดการคายความร้อนเกิดขึ้น แคลเซียมคลอไรด์จึงช่วยดูดความร้อนไว้ ทำให้ซีเมนต์คงตัวและแข็งตัวเร็วขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดมีค่าสูงขึ้น (ธวัช จิรายุส, 2530) ส่วนสารส้มละลายน้ำได้เช่นเดียวกับแคลเซียมคลอไรด์ จึงทำให้ค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดที่ได้มีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่น้อยกว่าสูตรที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อใช้สารส้มร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์นั้น ค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวเป็นแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และคลอไรด์ไอออน (Cl^{-}) ซึ่งแคลเซียม

ไอออนสามารถไปเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่แตกตัวมาจากสารส้มได้ เกิดปฏิกิริยารวมกันเป็นแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) หรือยิปซั่ม ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงกับแผ่นเส้นใยซีเมนต์ได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าต้านแรงดัดของสูตรที่ใช้สารส้มกับแคลเซียมคลอไรด์มีค่ามากที่สุด แต่ข้อเสียของการใช้สารส้มคือ จะเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิดในส่วนประกอบของซีเมนต์ แล้วทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียขึ้น ซึ่งมีกลิ่นเหม็นฉุน ทำให้ไม่เหมาะต่อการใช้งาน สำหรับอลูมินาเป็นสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำ แต่มีความแข็งแรง จึงส่งผลให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้มีความแข็งแรงขึ้น และมีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีทั้ง 4 สูตร พบว่า สูตรที่ใช้อะลูมินามีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดต่ำที่สุด



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยต้านแรงดันของสารเคมีที่ใช้

หมายเหตุ: 1 = 1% $Al_2(SO_4)_3$ +$CaCl_2$, 2 = 1% $CaCl_2$, 3 = 1% $Al_2(SO_4)_3$, 4 = 1% Al_2O_3+$CaCl_2$



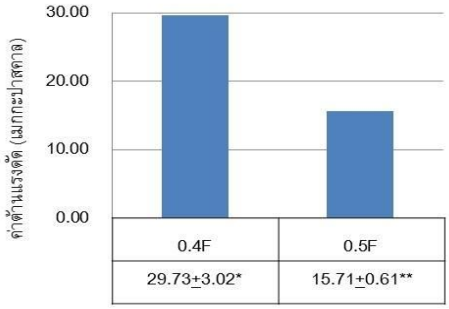
รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยต้านแรงดัดของปริมาณสารเคมีที่ใช้

หมายเหตุ: 1 = 0.25% $Al_2(SO_4)_3$, 2 = 0.5% $Al_2(SO_4)_3$, 3 = 0.25% $CaCl_2$,
4 = 0.5% $CaCl_2$, 5. 0.25% $CaCl_2$+ 0.75% $Al_2(SO_4)_3$,
6 = 0.5% $CaCl_2$+ 0.5% $Al_2(SO_4)_3$, 7= 0.75% $CaCl_2$+ 0.25%$Al_2(SO_4)_3$

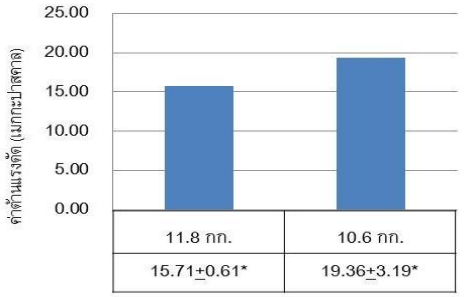
1.4 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ จากรูปที่ 6 พบว่า ค่าต้านแรงดัดของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ใช้สารเคมีปริมาณต่างกัน 7 สูตรนั้น ทุกสูตรจะมีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาล และมีค่าใกล้เคียงกันจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% จะมีเพียงสูตร 0.5% $CaCl_2$ และสูตร 0.25% $CaCl_2$+ 0.75% $Al_2(SO_4)_3$ ที่มีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยสูตรที่ใช้ 0.5% $CaCl_2$ มีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดมากที่สุด รองลงมาคือ สูตร 0.75% $CaCl_2$+0.25% $Al_2(SO_4)_3$, 0.25% $CaCl_2$, 0 . 5 % $Al_2(SO_4)_3$, 0 . 5 % $CaCl_2$+0.5% $Al_2(SO_4)_3$, 0.25% $Al_2(SO_4)_3$ และ 0.25% $CaCl_2$+0.75% $Al_2(SO_4)_3$ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดเป็น 16.65, 16.04, 15.38, 13.42, 13.24, 13.15, และ 9.89 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ แสดงว่า สารเคมีที่ใช้มีผลช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นเส้นใยซีเมนต์ได้ โดยเฉพาะแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งสามารถใช้ได้ต่ำสุดถึงร้อยละ 0.25 ซึ่งพบว่าการใช้สารเคมีโดยเฉพาะอลูมิเนียมซัลเฟต หรือแคลเซียมคลอไรด์ สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการยึดจับระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์ให้สูงขึ้นได้ (ธวัช จิรายุส, 2530) ซึ่งจำเป็นต้องละลายสารเคมีกับน้ำเสียก่อน ที่จะนำไปผสมกับซีเมนต์ เพื่อให้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำโดยดูดความร้อนก่อน และสามารถดูดความร้อนจากการที่ซีเมนต์คายความร้อนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำด้วย ส่งผลให้ซีเมนต์เกิดการก่อตัว และแข็งตัวได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้ามีการใช้สารเคมีที่มีปูนขาว และซิลิกามาก ซีเมนต์จะเกิดการแข็งตัวช้า แต่ถ้าใช้สารเคมีที่มีอลูมินามากขึ้น ซีเมนต์จะแข็งตัวเร็วขึ้น และมีความแข็งแรง (ประยุทธ์ ทองคุปต์ และ ภาคภูมิ เลิศอารมณ์, 2537)

1.5 สัดส่วนเส้นใย จากรูปที่ 7 พบว่า ค่าต้านแรงดัดของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ใช้สัดส่วนเส้นใยต่างกัน 2 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยกลุ่มที่ใช้สัดส่วนเส้นใยที่ 0.4 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์มีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดมากกว่ากลุ่มที่ใช้สัดส่วนเส้นใย 0.5 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแรงดัดเป็น 29.73 และ 15.71 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มที่ใช้สัดส่วนเส้นใย 0.4 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์ จะมีปริมาณซีเมนต์มากกว่า จึงทำให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์มีความแข็งแรงกว่า

แต่สัดส่วนเส้นใยทั้ง 2 สูตรมีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาล ดังนั้นเพื่อเพิ่มมูลค่าหญ้าเนเปียร์จึงเลือกใช้สัดส่วนเส้นใยที่ 0.5 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์เป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของเส้นใยจะทำให้ความเป็นรูพรุนของแผ่นเส้นใยซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่าต้านแรงดัด และค่าการนำความร้อนลดลง (Khedari et al., 2001) โดยที่ค่าการนำความร้อน จะแปรผันตรงกับความหนาแน่นของเส้นใยซีเมนต์ (Asasutjarit et al., 2009) ซึ่งเป็นข้อดีของการผลิตแผ่นเส้นใยซีเมนต์ แต่ทั้งนี้ต้องศึกษาหาปริมาณของเส้นใยที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้ค่าต้านแรงดัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยทั่วไปเส้นใยแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เส้นใยที่มีความหนาแน่นมาก หรือปริมาณเส้นใยที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความหนาของแผ่นเส้นใยซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นด้วย ความเป็นรูพรุนของแผ่นเส้นใยซีเมนต์จะสูงขึ้น แต่ความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยซีเมนต์และค่าต้านแรงดัดจะลดลง (Cook et al., 1978)



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยต้านแรงดันของสัดส่วนเส้นใย



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยต้านแรงดัดของการทอนน้ำหนักรวม

1.6 การทอนน้ำหนักรวม จากรูปที่ 8 พบว่า ค่าต้านแรงดัดของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ใช้น้ำหนักรวมทั้งหมดต่างกัน 2 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยกลุ่มที่ใช้น้ำหนักรวมทั้งหมดที่ 10.6 กิโลกรัมมีค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดมากกว่ากลุ่มที่ใช้น้ำหนักรวมทั้งหมดที่ 11.8 กิโลกรัม เนื่องจากความหนาของน้ำหนักรวมทั้งหมดที่ 10.6 กิโลกรัม มีค่าน้อยกว่า ทำให้ค่าต้านแรงดัดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีค่าเป็น 15.71 และ 19.36 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยแรงดัดที่ได้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่

7 เมกกะปาสคาล ทั้งนี้เนื่องจากหญ้าเนเปียร์มีความหนาแน่นที่ 39.46 กก./ลบ.ม. (ก่อ ทวีเงิน และคณะ, 2558) ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง เมื่อน้ำหนักรวมของแผ่นเส้นใยซีเมนต์มากขึ้น แสดงว่าปริมาณเส้นใยที่ใช้มีมากกว่า แต่สัดส่วนเส้นใยที่ใช้ต่อซีเมนต์มีค่าเท่ากัน จึงส่งผลให้ความหนาของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีค่าสูงขึ้นด้วย จึงทำให้ค่าต้านแรงดัดลดลง ดังนั้น น้ำหนักของแผ่นเส้นใยซีเมนต์จะมีผลต่อความหนาของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ต้องการขึ้นรูป

1.7 ลักษณะเส้นใย จากรูปที่ 9 พบว่า ค่าต้านแรงดัดในแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ใช้ลักษณะเส้นใยต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดที่ใช้เส้นใยเปียกมีค่าสูงกว่าเส้นใยแห้ง ซึ่งมีค่าเป็น 33.18 และ 16.22 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยเปียกมีความชื้นอย่างน้อยร้อยละ 50 ทั่วทั้งหมด แต่การที่นำเส้นใยแห้งมาคลุกกับน้ำในสัดส่วนที่มากกว่าหรือเท่ากัน เส้นใยจะไม่สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปได้อย่างทั่วถึง เช่นเดียวกับการแช่น้ำ ถึงแม้ว่าซีเมนต์จะทำการผสมน้ำก่อน แล้วจึงนำไปคลุกกับเส้นใยก็ตาม การที่ใช้เส้นใยเปียก บ่งชี้ได้ว่าปริมาณน้ำมีมากเกินพอที่จะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ และส่งผลให้ซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดมีค่ามากกว่าการใช้เส้นใยแห้ง แต่ค่าเฉลี่ยค่าต้านแรงดัดของทั้งสองเส้นใยทั้งเปียกและแห้งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาล

รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยต้านแรงดันของลักษณะเส้นใย

2. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเส้นใยซีเมนต์

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยซีเมนต์ที่ผ่านเกณฑ์ค่าต้านแรงดัด

ปัจจัยที่ศึกษา	ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยต้านแรงดัด (เมกกะปาสคาล)	การพองตัว (ร้อยละ)	ความหนาแน่นรวม (กก./ลบ.ม.)	ความหนาแน่นปรากฏ (กก./ลบ.ม.)	รูพรุนปรากฏ (ร้อยละ)	การดูดซับน้ำ (ร้อยละ)
การผสมน้ำในปูน	เส้นใยที่ซีเมนต์ผสมน้ำ	30.26	3.24	1,110	1,070	47.19	44.09
สารเพิ่มความแข็งแรง	1. 1% $Al_2(SO4)_3$ +$CaCl_2$	18.30	3.24	1,110	1,070	47.19	44.09
	2. 1% $CaCl_2$	14.69	8.81	1,210	1,100	44.08	40.14
	3. 1% $Al_2(SO_4)_3$	10.44	8.86	1,060	920	50.84	55.52
	4. 1% Al_2O_3+$CaCl_2$	9.46	6.75	1,050	900	49.63	54.87
ปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรง	1. 0.25% $Al_2(SO_4)_3$	13.15	7.81	1,060	910	50.23	55.20
	2. 0.5% $Al_2(SO_4)_3$	13.42	7.28	1,060	910	49.93	55.03
	3. 0.25% $CaCl_2$	15.38	7.54	1,060	910	50.08	55.11
	4. 0.5% $CaCl_2$	16.65	7.41	1,060	910	50.01	55.07
	5. 0.25% $CaCl_2$+ 0.75% $Al_2(SO_4)_3$	9.88	3.49	1,070	970	50.08	51.63
	6. 0.5% $CaCl_2$+ 0.5% $Al_2(SO_4)_3$	13.24	3.47	1,090	960	47.42	49.30
	7. 0.75% $CaCl_2$+ 0.25%$Al_2(SO_4)_3$	16.04	3.05	1,050	1,010	46.72	46.09
สัดส่วนเส้นใย	1. 0.4 fiber	29.79	1.47	1,210	1,110	45.50	40.86
	2. 0.5 fiber	15.71	6.39	1,060	980	53.48	54.76
ทอนน้ำหนัก	1. น้ำหนักรวม 11.8 กก.	15.71	6.39	1,060	980	53.48	54.76
	2. น้ำหนักรวม 10.6 กก.	19.36	0.78	1,080	1,110	49.80	44.90
ลักษณะเส้นใย	1. เส้นใยเปียก	33.18	1.57	1,190	1,190	45.46	38.20
	2. เส้นใยแห้ง	16.22	7.90	960	900	53.92	59.68

จากตารางที่ 2 พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ทุกตัวแปรการทดลองที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะค่าต้านแรงดัด ความหนาแน่นเชิงปรากฏ ความหนาแน่นรวม มีค่าอยู่ในช่วง 9.46 - 30.26 เมกกะปาสคาล 900 - 1,110 กก./ลบ.ม. และ 960 - 1,210 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ เมื่อนำเส้นใยซีเมนต์ที่สำเร็จรูปแล้วไปแช่น้ำ เส้นใยบางส่วนจะสามารถดูดซึมน้ำเข้าไป และเกิดการพองตัวได้เล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.78 - 8.86 ทั้งนี้แผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับน้ำเป็นร้อยละ 38.2 - 44.09 แสดงว่าภายในแผ่นเส้นใยซีเมนต์มีบางส่วนที่เป็นรูพรุนอยู่ทำให้สามารถดูดซับน้ำได้ในระดับหนึ่ง โดยมีความเป็นรูพรุนประมาณร้อยละ 45.46 - 53.92 ซึ่งการที่แผ่นเส้นใยซีเมนต์มีความเป็นรูพรุนมาก ส่งผลให้ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นปรากฏลดลง เส้นใยจะสามารถดูดซับน้ำ และพองตัวได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าต้านแรงดัดลดลง (ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ อัญชิสา สันติจิตโต, 2555); (Cook et al., 1978)

นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณสารเคมีมาก สัดส่วนเส้นใยมาก น้ำหนักต่อแผ่นสูง และใช้เส้นใยแห้งจะมีการพองตัวที่มากขึ้น เนื่องจากปริมาณของเส้นใยที่มากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ลดลง ความมีรูพรุนจึงมากขึ้น ทำให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์ดูดซับน้ำได้มากขึ้น ค่าต้านแรงดัดจะมีค่าน้อยลง (Cook et al., 1978) แต่ยังคงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า เส้นใยที่เปียกน้ำแล้ว จะส่งผลให้การดูดซับน้ำ และการพองตัวของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับเส้นใยแห้ง เนื่องจากเส้นใยแห้งเมื่อนำไปผสมกับซีเมนต์แล้วนำไปขึ้นรูปจะส่งให้ความเป็นรูพรุนในแผ่นเส้นใยซีเมนต์สูงขึ้น เส้นใยและซีเมนต์มีการแข่งขันกันเพื่อดูดซับน้ำจากส่วนผสม ทำให้เส้นใยและซีเมนต์ไม่ยึดเกาะติดกันแน่น ความเป็นรูพรุนจึงมีค่าสูง ส่งผลให้ความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นปรากฏลดลง จึงทำให้ค่าต้านแรงดัดลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนเส้นใยเปียกหรือเส้นใยที่มีความชื้นที่มากเกินพอ จะส่งให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้ มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากซีเมนต์ไม่ดูดซับน้ำจากเส้นใย จึงไม่เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์ จึงทำให้เส้นใยและซีเมนต์ยึดเกาะกันได้มากขึ้น ส่งผลให้ความเป็นรูพรุนลดลง ค่าต้านแรงดัดจึงสูงขึ้น แต่เมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้น จะทำให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์มีความเป็นรูพรุนมากขึ้นด้วย ค่าการพองตัวจึงสูงขึ้น ความหนาแน่นลดลง จึงทำให้ค่าต้านแรงดัดมีค่าลดลงด้วย และการที่น้ำหนักรวมของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ลดลง ส่งผลให้ความเป็นรูพรุนลดลง ความหนาแน่นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น (Khedari et al., 2001)

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า หญ้าเนเปียร์สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นเส้นใยซีเมนต์ได้ โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าต้านแรงดัน สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ 7 เมกกะปาสคาล และแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้มีค่าความเป็นรูพรุน การพองตัว และการดูดซับน้ำต่ำ แต่ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นปรากฏ และค่าต้านแรงดัดมีค่าสูง ซึ่งแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ วิธีการผลิตแผ่นเส้นใยซีเมนต์สามารถทำได้โดยใช้เส้นใยที่มีความชื้นอย่างน้อยร้อยละ 50 และใช้เส้นใยที่สัดส่วน 0.5 เท่าของซีเมนต์ และใช้ซีเมนต์ที่มีการผสมน้ำกับแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักแผ่นเส้นใยซีเมนต์ แล้วนำไปขึ้นรูปแผ่นเส้นใยซีเมนต์ ซึ่งน้ำหนักของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้จะขึ้นกับความหนาของแผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ต้องการ นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลทำให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์มีค่าต้านแรงดัดมาก ขึ้นกับการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เพื่อให้ซีเมนต์สามารถทำปฏิกิริยาคายความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ และซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาได้อย่างต่อเนื่อง ไม่แห้ง หรือแข็งตัวเร็วเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นเส้นใยซีเมนต์ที่ได้มีความเป็นรูพรุนต่ำ การพองตัว และการดูดซับน้ำต่ำ และการที่ใช้เส้นใยที่มีความชื้นร้อยละ 50 จะทำให้ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นปรากฏของแผ่นเส้นใยซีเมนต์สูง เพราะเส้นใยจะยึดเกาะติดกับซีเมนต์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าต้านแรงดัดมีค่าสูงขึ้นด้วย เมื่อซีเมนต์แห้งและแข็งตัว

เอกสารอ้างอิง

ก่อ ทวีเงิน, ชัยยันต์ จันทร์ศิริ และ กิตติพงษ์ ลาลุน. (2558). *คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของหญ้าเนเปียร์ก่อนสับและหลังสับเพื่อผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ด.* น. 34-43. ใน: รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติครั้งที่ 2, 11-12 กันยายน 2558. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ทรงกลด จารุสมบัติ, อำไพ เปี่ยมอรุณ, ธีระ วีณิน, วรกิจ สุนทรบุระ, วัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์ และ ปิยะวดี บัวจงกลง. (2552). แผ่นใยซีเมนต์จากไม้ยางพารา. *ข่าวสารเกษตรศาสตร์, 54*(2), 65-73.

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ (2549*). ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร*. โครงการทุนการวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

ธวัช จิรายุส. (2530). กำลังจับยึดซีเมนต์ของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส. *วารสารวนศาสตร์*, *6*, 291-294.

นิตยา พัดเกาะ. (2560). การศึกษาการทำแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยธรรมชาติ กรณีศึกษา: เส้นใยใบสัปปะรด และเส้นใยเปลือกข้าวโพด. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, *12*(1) 11-19.

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ อัญชิสา สันติจิตโต. (2555). คุณสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติจากเส้นใยมะพร้าว และเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตวัสดุก่อสร้าง. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, *9*(1), 113-124.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2540). กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ = Fibre-cement flat sheets. กรุงเทพฯ: สำนักงาน.

การทดสอบหาความข้นเหลวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิค. (2555). สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2561 จากhttps://engfanatic.tumcivil.com/tumcivil_1/media/ Lab_Soil_KKU/ LAB_Soil_KKU_ALL.pdf

ประยุทธ์ ทองคุปต์ และ ภาคภูมิ เลิศอารมณ์ (2537). การศึกษาคุณสมบัติการซึมน้ำผ่านซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ใช้ในการคาดคลองชลประทานโดยใช้สารผสมพิเศษ. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. สืบค้นจาก lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Irrigation_Engineering/2537/Bs/PrayutTo/

American Society of Testing and Material (ASTM). (2006). *ASTM C1186-02 Standard specification for flat non-asbestos fiber-cement sheet*. Philadelphia.

Asasutjarit, C., Charoenvai, S., Hirunlabh, J. & Khedari, J. (2009). Materials and mechanical properties of pretreated coir-based green composites. *Composites: Part B*, *40*: 633-637.

Cook, D. J., Pama, R. P., and Weerasingle, H. L. D. (1978). Coir fibre reinforced cement as alow cost roofing material. *Building and Environment*, *13*, 193-198.

Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N. & Hirunlabh, J. (2001). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*. *23*(1), 65-70.