

## ผลของเส้นใยใบสับประรดต่อประสิทธิภาพการรับแรงดัดและการแพร่คลอไรด์ในคอนกรีต

### Effect of Pineapple Leaf Fiber on Flexural Performance and Chloride Diffusion in Concrete

ธาวิณ สังขวิภาพพิบูล<sup>1</sup> มาโนช สรรพกิจพิพากร<sup>1\*</sup> ศุภฤกษ์ จันทร์ศุภเสน<sup>2</sup> สิทธิศักดิ์ แจ่มนาม<sup>1</sup> และ ปิติ สุคนธ์สุขกุล<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ศูนย์วิจัยวัสดุอาคารและงานก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมืองัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\*Corresponding author; E-mail address: manote.s@eng.kmutnb.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ และคุณสมบัติในการรับกำลังของคอนกรีตเสริมเส้นใยใบสับประรด โดยใช้ปริมาณเส้นใยใบสับประรดที่ร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1 โดยปริมาตร กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 30 เมกะปาสกาล ทดสอบการซึมผ่านของคลอไรด์และคุณสมบัติเชิงกล หลังจากการบ่มด้วยน้ำที่ 28, 56 และ 90 วัน จากผลการทดสอบ พบว่าการเติมเส้นใยใบสับประรดในคอนกรีต จะสามารถรับแรงหลังจากเกิดรอยแตกกว้างในคอนกรีตได้ โดยมีพฤติกรรมแบบอ่อนตัวตามระยะการโก่ง (Deflection Softening) และมีค่าความเหนียว (Toughness) เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมเส้นใย ทำให้คอนกรีตไม่เกิดการวิบัติในทันที อย่างไรก็ตาม เส้นใยใบสับประรดยังส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคลอไรด์เพิ่มขึ้นสูงสุดความสามารถในการทำงาน ความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดลดลง

คำสำคัญ: คอนกรีตเสริมเส้นใยใบสับประรด, ประสิทธิภาพการรับแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใย, สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์

#### Abstract

This research aims to examine how Pineapple Leaf Fiber (PALF) affects the chloride diffusion and mechanical properties of pineapple leaf fiber reinforced concrete (PLFRC). The PALF content was 0, 0.25, 0.5, and 1 percent by volume. The PLFRC mixes were compared to a normal concrete (NC) with the compressive strength of 30 MPa at 28 days of age. They were moist cured for 28, 56, and 90 days. Then the rapid chloride migration, compression, and flexure test were followed respectively to determine chloride diffusion, compressive strength, and flexural performance. From the flexure test results, it was found that the addition of PALF results in crack bridging and deflection softening behavior after concrete starts cracking. Nonetheless, the PALF also causes the increase of chloride diffusion coefficient and the decrease of workability, density,

and compressive strength in pineapple leaf fiber reinforced concrete.

Keywords: Pineapple leaf fiber reinforced concrete, Flexural performance of fiber reinforced concrete, Coefficient of chloride diffusion

#### 1. คำนำ

โดยทั่วไปคอนกรีตจะมีความสามารถในการรับกำลังอัดที่ดี แต่จะมีคุณสมบัติในการรับแรงดึงที่ต่ำ ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเส้นใยมาใช้ผสมลงในคอนกรีต เพื่อช่วยพัฒนาคุณสมบัติในการรับแรงดึง เนื่องจากเส้นใยมีความสามารถในการรับแรงดึง เมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว เส้นใยจะช่วยยับยั้งการขยายตัวของรอยแตกร้าว นอกจากนั้นจะช่วยทำให้คอนกรีตมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

ในปัจจุบันมีการใช้เส้นใยเป็นวัสดุเสริมแรงแทนเหล็กในคอนกรีต โดยเส้นใยจากธรรมชาติเป็นอีกหนึ่งทางเลือก ที่พบได้ทั่วไปและมีจำหน่ายทั่วโลก เช่น เส้นใยใบสับประรด (Pineapple Leaf Fiber, PALF) พบว่าในปี พ.ศ.2565 มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวของไร่สับประรดประมาณ 450,000 ไร่ ผลผลิต 1.7 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2563 ร้อยละ 2.68 [1] โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีซึ่งผลผลิตจะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แต่จะมีบางส่วนจะเหลือทิ้ง เช่น ใบสับประรดจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ประมาณ 5,000 กก./ไร่ [2] โดยทางภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอได้นำใบสับประรดมาใช้สกัดเป็นเส้นใยเพื่อผลิตเสื้อผ้า กระเป๋า รองเท้า และผลิตเป็นกระดาษ แล้วก็ตาม แต่ก็ยังเหลือเป็นจำนวนมาก จากการศึกษาพบว่าเส้นใยจากใบสับประรดมีกำลังรับแรงดึงอยู่ที่ 413 – 1,627 เมกะปาสกาล และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นอยู่ที่ 34.5 – 82.5 จิกกะปาสกาล [3] ซึ่งเส้นใยใบสับประรดมีคุณสมบัติรับแรงดึงได้ดี โดยนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงดึงของคอนกรีต

งานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการนำเส้นใยใบสับประรดมาใช้เสริมแรงในคอนกรีต โดยทำการแปรผันปริมาณเส้นใยใบสับประรดที่ร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1 โดยปริมาตรในสัดส่วนผสม เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความสามารถในการทำงาน ความหนาแน่น คุณสมบัติในการรับแรงอัด คุณสมบัติในการรับแรงดัด และความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ เป็นต้น

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

#### 2.1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C1157

#### 2.1.2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ทรายแม่น้ำที่ร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 16 ค้างเบอร์ 50 มีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

#### ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมวลรวมละเอียด

Properties	
Absolute Specific Gravity	2.50
Bulk Specific Gravity (SSD Basis)	2.53
Apparent Specific Gravity	2.56
Fineness Modulus	2.53
Percent Absorption	1.01

#### 2.1.3 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

มวลรวมหยาบ ขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงเบอร์ ๓/๔ นิ้ว มีคุณสมบัติดังตารางที่ 2

#### ตารางที่ 2 คุณสมบัติของมวลรวมหยาบ

Properties	
Absolute Specific Gravity	2.72
Bulk Specific Gravity (SSD Basis)	2.74
Apparent Specific Gravity	2.77
Percent Absorption	0.56

#### 2.1.4 เส้นใยโพลีเอสเตอร์ (PALF)

เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ชนิดพันเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3 โดยความยาวที่ใช้ เท่ากับ 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 เส้นใยโพลีเอสเตอร์ (ชนิดพันเกลียว)

#### ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเส้นใยโพลีเอสเตอร์

Properties	
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.17
Tensile strength (MPa)	162.21
Young's modulus (GPa)	5.59
Diameter (mm)	0.51 – 0.78
Percent Absorption (%)	272 – 289

#### 2.1.5 สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixtures)

ใช้สารลดน้ำปริมาณสูง (Superplasticizer) Type F

### 2.2 สัดส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษา

สัดส่วนผสมคอนกรีตในงานวิจัย ได้ทำการออกแบบกำลังรับแรงอัด คือ 30 เมกกะปาสคาล โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.38 และมีส่วนผสมของเส้นใยที่ร้อยละ 0, 0.25, 0.50 และ 1 โดยปริมาตร โดยมีสัดส่วนดังตารางที่ 4 และ P หมายถึงปริมาณร้อยละเส้นใยโพลีเอสเตอร์

### 2.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

นำเส้นใยโพลีเอสเตอร์มาทำการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ตามรายงานวิจัยของ Natinee และคณะ [4] โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ เริ่มจากชั่งส่วนผสมตามตารางที่ 4 ผสมแห้งปูนและทรายให้เข้ากัน เติมน้ำและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมหินและเส้นใยตามสัดส่วนผสม โดยทำการใส่เส้นใยให้กระจายทั่วคอนกรีต หลังจากนั้นเติมน้ำตามปริมาณที่กำหนด ผสมให้เข้ากัน และนำไปใส่แบบหล่อตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 200 มิลลิเมตร และแบบหล่อคานขนาด 100x100x350 มิลลิเมตร ทำการห่อด้วยฟิล์มพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลานำไปบ่มในน้ำต่อตามระยะเวลา 28, 56, และ 90 วัน

### 2.4 วิธีการทดสอบ

#### 2.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตดำเนินการเตรียมตัวอย่างและทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39 [5] โดยใช้เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

#### 2.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C1609 [6] เป็นการทดสอบแบบ Third-Point Loading ทำการติดตั้ง Linear Variable Differential Transformer (LVDT) เพื่อวัดค่าการแอ่นตัวของคอนกรีต โดยใช้ความเร็วในการทดสอบเท่ากับ 0.075 มิลลิเมตรต่อวินาที และหลังจากการแตกกร้าวใช้ความเร็ว 0.10 มิลลิเมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4 สัดส่วนผสมคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์

Concrete Type	Mix Proportions (kg/m <sup>3</sup> )					
	Cement	Water	Fine aggregate	Coarse aggregate	Fiber	Superplasticizer
control	592	225	770	800	-	3.55
P0.25					2.93	5.03
P0.5					5.85	6.51
P1					11.7	9.47

#### 2.4.3 การทดสอบความต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์

การทดสอบ Rapid Chloride Migration Test (RCMT) ตามมาตรฐาน NT BUILD 492 [7] การเตรียมตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร หนา 50 มิลลิเมตร ตัวอย่างมีลักษณะอิมมิตด้วยน้ำวิธีการทดสอบการเคลื่อนย้าย (Migration) ผึ่งแคโทดจะใส่สารละลาย NaCl 10% โดยมวล และฝั่งแอโนดจะใส่สารละลาย NaOH 0.3 N (NaOH ประมาณ 12 กรัม ในน้ำ 1 ลิตร) โดยใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 30 V เพื่อกำหนดระยะเวลาการทดสอบ

ศักย์ไฟฟ้าภายนอกถูกนำไปใช้ตามแนวแกนทั่วทั้งชิ้นงานและบังคับให้คลอไรด์ไอออนภายนอกเคลื่อนย้ายเข้าไปในชิ้นงาน หลังจากระยะเวลาการทดสอบที่กำหนด ชิ้นงานจะถูกตัด และใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตพ่นไปยังส่วนที่ตัด จากนั้นสามารถวัดความลึกของการซึมผ่านของคลอไรด์ได้จากการตกตะกอนของซิลเวอร์คลอไรด์สีขาวที่มองเห็นได้ จากนั้นสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายของคลอไรด์ได้จากความลึกการซึมผ่าน ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$D = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \left( x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)L X_d}{U-2}} \right) \quad (1)$$

เมื่อ  $D$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้าย, ( $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )

$T$  คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเมื่อเริ่มและสิ้นสุดการทดสอบของสารละลายด้านแอโนด (องศาเซลเซียส)

$U$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จริง (โวลต์)

$L$  คือ ความหนาของตัวอย่าง (มิลลิเมตร)

$X_d$  คือ ค่าความลึกเฉลี่ยจากการแทรกซึมของคลอไรด์ (มิลลิเมตร)

$t$  คือ ระยะเวลาทดสอบ (ชั่วโมง)

### 3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

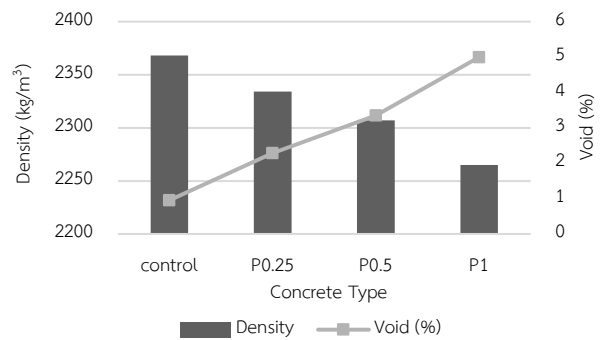
#### 3.1 ความสามารถในการทำงาน

กำหนดค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่  $10 \pm 1$  เซนติเมตร ทำการเติมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่ร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1 โดยปริมาตร เมื่อทำการเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ใช้สารลดน้ำที่ร้อยละ 0.6, 0.85, 1.1 และ 1.6 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ตามลำดับ

#### 3.2 ความหนาแน่น

จากรูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ พบว่าเมื่อปริมาณการเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผล

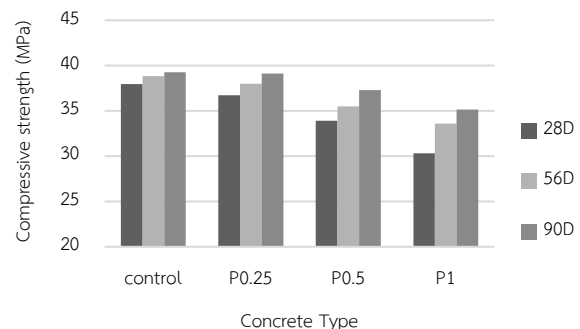
ให้คอนกรีตมีความหนาแน่นลดลง เนื่องจากเส้นใยมีความพรุนหรือช่องว่างภายใน โดยคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ร้อยละ 1 มีปริมาณช่องว่างมากถึงร้อยละ 5



รูปที่ 2 ความหนาแน่น

#### 3.3 กำลังรับแรงอัด

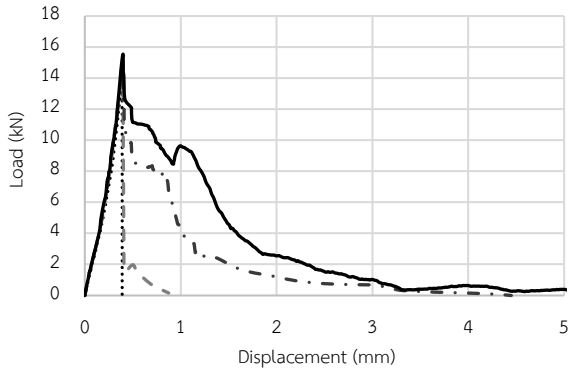
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเส้นใยโพลีเอสเตอร์เสริมในคอนกรีตต่อกำลังรับแรงอัด พบว่าอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต และที่ปริมาณเส้นใยโพลีเอสเตอร์ร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1 โดยปริมาตร กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง ตามปริมาณการเสริมเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 37.96, 36.72, 33.92 และ 30.32 เมกะปาสคาล ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยโพลีเอสเตอร์เสริมในคอนกรีตเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณช่องว่างภายในคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดลดลงแปรผกผันกับปริมาณของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เพิ่มขึ้น ดังรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมาของ R. Abirami และคณะ [8]



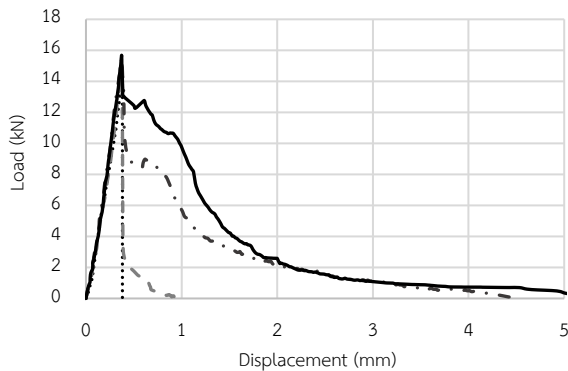
รูปที่ 3 กำลังรับแรงอัด

### 3.4 พฤติกรรมการรับแรงดัด

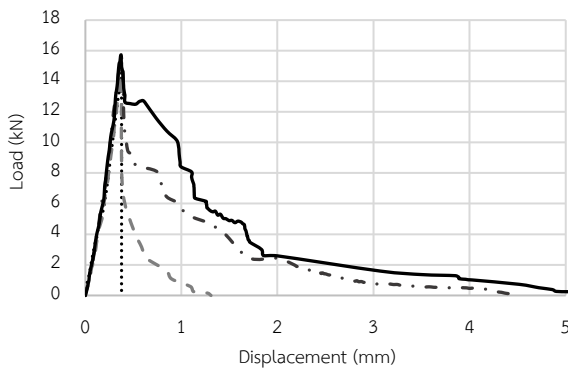
จากการทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM C1609 ของตัวอย่างที่อายุ 28, 56, และ 90 วัน พบว่าแรงดัดมีความสัมพันธ์กับระยะแอนตัว ดังแสดงในรูปที่ 4



4a)



4b)



4c)

รูปที่ 4 กำลังรับแรงดัด 4a) 28 วัน 4b) 56 วัน และ 4c) 90 วัน

ในช่วงแรกคอนกรีตทุกสัดส่วนผสมมีการรับแรงในลักษณะขึ้นเป็นเส้นตรงอย่างเป็นสัดส่วน โดยเป็นผลจากการรับแรงของคอนกรีตเป็นหลัก จนกระทั่งแรงกระทำเพิ่มขึ้นจนคอนกรีตเกิดรอยแตกกว้าง ซึ่งแสดงสภาวะคอนกรีตที่รับน้ำหนักบรรทุกจนถึงค่าโมดูลัสการแตกกว้าง และเมื่อคอนกรีตเกิดการแตกกว้าง สัดส่วนผสมที่ไม่มีเส้นใยความสามารถในการรับแรงจึงลดลงโดยทันที ส่วนคอนกรีตที่มีการเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ จะสามารถรับแรงหลังจากเกิดรอยแตกกว้างได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เส้นใยโพลีเอสเตอร์ มีความสามารถในการรับแรงดึง ทำหน้าที่ยึดรั้งหลังจากที่คอนกรีตเกิดการแตกกว้าง ความสามารถในการรับแรงของเส้นใยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเส้นใยที่ใช้ สำหรับเส้นใยโพลีเอสเตอร์นี้ พบว่าเส้นใยสามารถรับแรงได้น้อยลงเมื่อรอยแตกกว้างกว้างมากขึ้น ตามการแอนตัวของคานตัวอย่าง (deflection softening) โดยที่ไม่ทำให้คอนกรีตเกิดการวิบัติทันที

จากตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบแรงดัดสูงสุดของคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ พบว่าแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณการเสริมเส้นใยเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 0 ถึง 1 โดยปริมาตร จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า การเสริมเส้นใยสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงได้ อาจเนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใยตั้งฉากกับแรง ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวที่ดี ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มเส้นใย ดังรายงานผลการวิจัยที่ผ่านมามาของ Kayibanda Patrick และคณะ [9]

กำลังดัดคงค้ำของคอนกรีตควบคุม ที่ระยะแอนตัว L/600 และ L/150 มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจาก เมื่อเกิดการแตกกว้างคอนกรีตที่ไม่มีเสริมเส้นใย จะเกิดการวิบัติทันทีที่ทำให้กำลังดัดคงค้ำเป็นศูนย์ และเมื่อทำการเสริมเส้นใยที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยปริมาตรมีกำลังดัดคงค้ำสูงสุด เท่ากับ 0.77 เมกะปาสคาล เป็นผลมาจากความสามารถในการรับกำลังของเส้นใยหลังจากเกิดการแตกกว้าง และช่วยชะลอการวิบัติของคอนกรีต

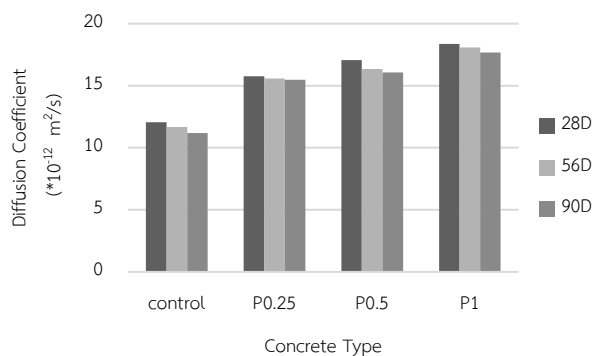
ผลของความเหนียวของคอนกรีตเสริมเส้นใย ที่ระยะแอนตัว L/600 และ L/150 ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM C1609 พบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยโพลีเอสเตอร์สามารถพัฒนาความเหนียวของคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งค่าความเหนียวคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการรับแรงดัดและการแอนตัว โดยในการศึกษานี้ การเติมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ให้ค่าความเหนียวสูงสุด เท่ากับ 14.94 กิโลนิวตัน-มิลลิเมตร ที่อายุตัวอย่าง 90 วัน โดยอายุการบ่มน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้คอนกรีต สามารถพัฒนาการรับแรงดัดได้ดีขึ้น โดยเส้นใยโพลีเอสเตอร์มีผลต่อพฤติกรรมการรับแรงดัดของคอนกรีต

ตารางที่ 5 ตารางแสดงกำลังรับแรงดัดสูงสุด, กำลังดัดคงค้าง และ Toughness

Concrete Type	กำลังรับแรงดัดสูงสุด (MPa)	กำลังดัดคงค้าง (MPa)		Toughness (kN-mm)	
		L/600	L/150	L/600	L/150
Age of 28 Day					
28D-control	4.087	0	0	2.24	2.24
28D-P0.25	4.414	0.593	0	2.78	3.11
28D-P0.5	4.563	2.587	0.363	3.59	9.50
28D-P1	4.659	3.349	0.769	3.87	14.20
Age of 56 Day					
56D-control	4.286	0	0	2.47	2.47
56D-P0.25	4.512	0.665	0	2.71	3.17
56D-P0.5	4.665	2.612	0.682	3.99	11.34
56D-P1	4.704	3.735	0.775	4.23	14.77
Age of 90 Day					
90D-control	4.358	0	0	2.48	2.48
90D-P0.25	4.545	1.301	0	3.18	4.34
90D-P0.5	4.669	2.699	0.730	3.99	11.45
90D-P1	4.721	3.752	0.777	4.28	14.94

### 3.5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์

จากผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ ภายใต้สภาวะ NON-STEADY-STATE MIGRATION ของตัวอย่างที่อายุ 28, 56 และ 90 วัน ตามมาตรฐาน NT BUILD 492 ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์เพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณการเติมเส้นใย การเติมเส้นใยที่มากขึ้นส่งผลให้มีช่องว่างหรือรูพรุนภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นช่องทางให้คลอไรด์สามารถซึมผ่านไปได้ และจะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มตัวอย่างมากขึ้น [10] ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์มีความสัมพันธ์กับความลึกที่คลอไรด์ซึมผ่านก่อนตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 6



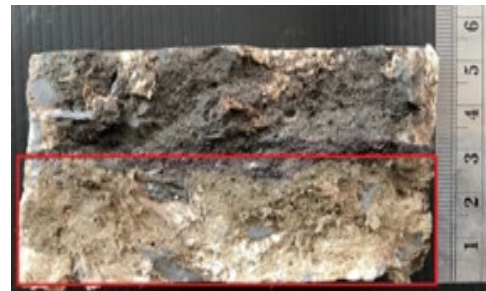
รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์



6a)



6b)



6c)



6d)

รูปที่ 6 การตกตะกอนของซิลเวอร์คลอไรด์สีขาว 6a) 0% 6b) 0.25% 6c) 0.5% และ 6d) 1%

### 4. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โดยในการศึกษานี้ ใช้เส้นใยในปริมาณร้อยละ 0, 0.25, 0.5 และ 1 โดยปริมาตร สามารถสรุปผลกระทบของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ที่มีต่อสมบัติของคอนกรีต ได้ดังนี้

1. การเติมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ลงในคอนกรีต จะทำให้ความสามารถในการทำงาน ความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดลดลง โดยการลดลงเป็นสัดส่วนแปรผันตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น
2. คอนกรีตที่มีการเสริมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ จะสามารถรับแรงหลังจากเกิดการแตกร้าวได้ ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการรับแรงดึงของเส้น

โย ทำหน้าที่ยึดรั้งหลังจากที่คอนกรีตเกิดการแตกร้าว โดยที่กำลังดัดคงค้างของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเส้นใยที่ระยะการโก่งตัว L/600 และ L/150 มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่เติม อย่างไรก็ตามกำลังดัดคงค้างที่ได้ยังน้อยกว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าว และค่าความเหนียวที่ระยะการโก่งตัว L/600 และ L/150 เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมเส้นใย ทำให้คอนกรีตไม่เกิดการวิบัติทันที

3. การเพิ่มเส้นใยลงในคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์สูงขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ชิก้า (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนสารลดน้ำปริมาณสูง (Superplasticizer) Type F และ หจก.รักษำบ้านเรา สงขลา ที่สนับสนุนเส้นใยโพลีเอสเตอร์

### เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2565). ประชุมคณะกรรมการนโยบายและพัฒนาสับปะรดแห่งชาติ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://shorturl.asia/xuNnR>. (26 พฤษภาคม 2565).
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 10 จังหวัดราชบุรี (2563). เพิ่มมูลค่าโพลีเอสเตอร์ สร้างรายได้เกษตรกร จ.ราชบุรี. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://shorturl.asia/5dVle>. (7 มกราคม 2563).
- [3] Asim, M., Khalina Abdan, Jawaid, M., Nasir, M., Zahra Dashtizadeh, Ishak, M. R. and Enamul Hoque, M. (2015). A review on pineapple leaves fibre and its composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015.
- [4] Lopattananon, N., Panawarangkul, K., Sahakaro, K. and Ellis, B. (2006). Performance of pineapple leaf fiber-natural rubber composites: The effect of fiber surface treatments. *J. Appl. Polym. Sci*, 102, pp. 1974–1984.
- [5] ASTM C39. (2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *Annual book of ASTM Standards*.
- [6] ASTM C1609. (2010). Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading). *Annual book of ASTM Standards*.
- [7] NT BUILD 492. (1999). CONCRETE, MORTAR AND CEMENT-BASED REPAIR MATERIALS: CHLORIDE MIGRATION COEFFICIENT FROM NON-STEADY-STATE MIGRATION EXPERIMENTS.
- [8] Abirami, R., Joseph John, S., Albert, A., Koshy Alex, A. and Vijayan, D.S. (2020). Experimental Study on Concrete Properties Using Pineapple Leaf Fiber. *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.*, 11, pp. 913-920.

- [9] Patrick, K., Onchiri, R. O. and Mang'uriu, G. N. (2019). Developing Suitable Proportions for the Production of Pineapple Leaf Fibers Reinforced Normal Strength Concrete. *Open J. Civ. Eng*, 9, pp. 185–194.
- [10] Liu, J., Wang, X., Qiu, Q., Ou, G. and Xing, F. (2017). Understanding the effect of curing age on the chloride resistance of fly ash blended concrete by rapid chloride migration test. *Mater. Chem. Phys.*, 196, pp. 315–323.