

การศึกษาการเสริมกำลังรับแรงเฉือนของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์

A Study of Shear Strengthening of Reinforced Concrete Flat Slabs by Sisal Fiber

พงษ์ศักดิ์ วิวัฒน์โรจนกุล¹ และ เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: pongsak.w@rmutp.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร E-mail: ekkachai.yoo@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการเสริมกำลังรับแรงเฉือนของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานด้วยวัสดุ Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) จำนวน 1 ตัวอย่าง และเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) จำนวน 2 ตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าวัสดุ CFRP และ เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) สามารถเพิ่มกำลังได้ถึงร้อยละ 12 และ 30 ของตัวอย่างที่ไม่มีการเสริมกำลังตามลำดับ จากผลการศึกษายังอีกพบว่าการเสริมกำลังรูปแบบ Star จะได้ผลดีกว่าแบบ Cross เพิ่มขึ้นร้อยละ 17 ราคาโดยรวมการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) จะมีราคาลดลงเมื่อเทียบกับ การใช้ CFRP มากกว่าร้อยละ 40

คำสำคัญ: เส้นใยป่านศรนารายณ์, พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คาน, การเสริมกำลังรับแรงเฉือน

Abstract

This article studies the strengthening of reinforced concrete flat slabs by using CFRP (1 sample) and Sisal fiber (2 samples). The results show that CFRP and Sisal fiber can increase the load carrying capacity to 12% and 30%, respectively. Moreover, this study also found that the strengthening shape as Star is better than Cross. The results show that can increase 17%. The study shows the total cost of using CFRP is higher about 40% of Sisal.

Keywords: sisal fiber, flat slabs, shear strengthening

1. บทนำ

ปัจจุบัน โครงสร้างแผ่นพื้น ไร้คานเป็นที่นิยมก่อสร้างมากในประเทศไทยเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ การก่อสร้างทำได้ง่ายและรวดเร็ว การเก็บงานทางสถาปัตยกรรมทำได้ง่ายเนื่องจากเป็นพื้นที่มีห้องเรียบและยังลดความสูงของชั้นอาคารลงได้ แต่โครงสร้างพื้น ไร้คาน

นี้ มีจุดอ่อนอยู่ โดยเฉพาะที่บริเวณหัวเสาซึ่งอาจเกิดการวิบัติแรงเฉือนทะลุได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีพื้นบาง [1]

การฟื้นฟูสมรรถภาพและการเสริมกำลังรับแรงเฉือนของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) เป็นที่นิยมอย่างมากในต่างประเทศ [2, 3] และในประเทศไทยนิยมใช้ CFRP กันมากในงานการเสริมความแข็งแรงโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กคาน แผ่นดินไหวของเสาและคาน [4] อย่างไรก็ตามข้อเสียของวัสดุ CFRP คือ มีราคาสูง จึงมีงานวิจัยจำนวนมากพยายามศึกษาการใช้เส้นใยชนิดอื่นๆ ที่มีความสามารถในการเสริมกำลังใกล้เคียงกับวัสดุ CFRP และมีราคาถูกกว่า

เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) ได้จากส่วนของใบจากต้นป่านศรนารายณ์ และเป็นพืชที่นิยมปลูกมากเพื่อใช้ผลิตเป็นเส้นใยสำหรับเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ เชือก หมวก รองเท้า กระเป๋า ผ้าปูพรม รวมถึงใช้เป็นวัสดุขัดเงาโลหะ และปัจจุบันนิยมใช้กันมากในการทำเชือก เนื่องจากมีเส้นใยลักษณะแข็งและเหนียว

ดังนั้นในการศึกษานี้ ได้พยายามศึกษาศักยภาพของเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) ในการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คาน และเปรียบเทียบกับวัสดุ CFRP เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ของเส้นใยป่านศรนารายณ์

2. วิธีการทดสอบ

2.1 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กไร้คานจำนวน สี่ตัวอย่างถูกออกแบบให้เกิดการวิบัติแบบแรงเฉือนทะลุ โดยกำหนดให้ความสามารถในการรับแรงดัดของพื้นมีค่ามากกว่าความสามารถในการรับแรงเฉือนเท่ากับ 1.5 เท่า และขนาดของตัวอย่างทั้งสี่เท่ากับ 1.5 m X 1.5 m X 0.15 m (กว้าง X ยาว X สูง)

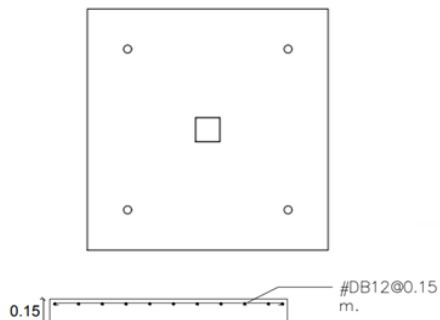
จำนวนตัวอย่างและรูปแบบการเสริมกำลังแสดงดังรูปที่ 1 โดยรูปที่ 1(ข) เป็นตัวอย่างที่ทำการเสริมกำลังด้วยเส้นใย CFRP ใน

บทความวิจัย

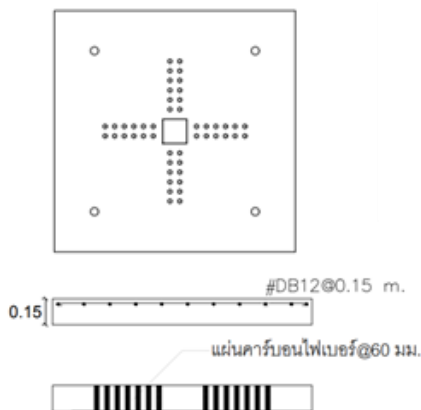
การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
 Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

รูปลักษณะเป็นกากบาท (Cross) และอีกสองตัวอย่างที่ถูกรังการเสริมกำลังด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ในรูปลักษณะเป็นกากบาทและรูปดาว (Cross and Star) ดังรูปที่ 1(ค) และ 1(ง)

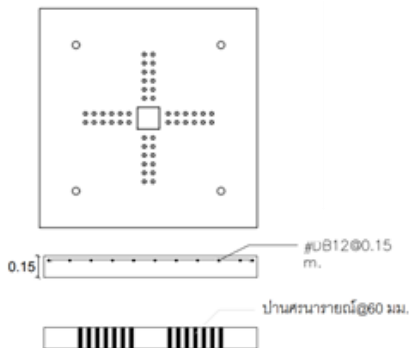
วิธีการเสริมกำลังทำโดยการเจาะรูให้ทะลุพื้น กำหนดให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 20 mm ตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นทำการใส่วัสดุเสริมกำลังลงไปและทำการเทวัสดุประสาน(ในการศึกษาเลือกใช้เรซินสำหรับงานเสริมกำลัง CFRP) จากนั้นทำการคลี่ปลายเชือกทั้งสองด้านที่อยู่เหนือและใต้รูปให้ติดกับผิวของคอนกรีต



(ก) ตัวอย่าง Control

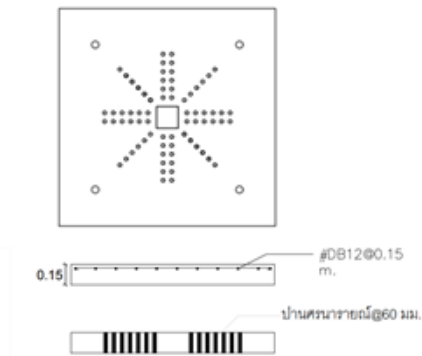


(ข) ตัวอย่าง Cross_CFRP



(ค) ตัวอย่าง Cross_Sisal

รูปที่ 1 รูปแบบตัวอย่างที่มีและไม่มีการเสริมกำลัง

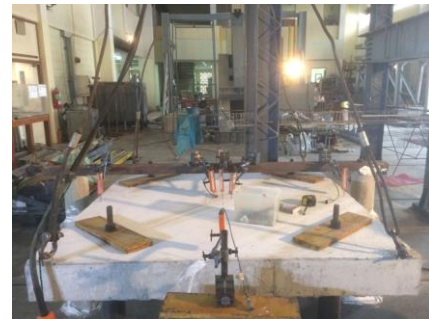


(ง) ตัวอย่าง Star_Sisal

รูปที่ 1 รูปแบบตัวอย่างที่มีและไม่มีการเสริมกำลัง(ต่อ)



รูปที่ 2 วัสดุเส้นใยที่ใช้ในการเสริมกำลังของแผ่นพื้นเส้นใยป่านศรนารายณ์ (ซาย) และแผ่น CFRP (ขาว)



รูปที่ 3 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแผ่นพื้น

2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

คอนกรีตที่จะถูกออกแบบให้มีกำลังอัดประลัยที่ประมาณ 30 MPa ที่อายุ 28 วัน โดยการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM C39 เหล็กเสริมที่ใช้เหล็กข้ออ้อยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร เกรด SD40 มีกำลังคราก (Yielding strength) ที่ 0.2% offset เท่ากับ 427 MPa และ กำลังประลัย (Tensile strength) เท่ากับ 647 MPa ตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM A370

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
 Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

รูปที่ 2 แสดงวัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลังเท่ากับ CFRP เป็นแบบแผ่นมีขนาดหน้ากว้าง 60 mm ยาว 450 mm และเส้นใยป่านสรนารายณ์ถูกอัดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ยาว 450 mm

2.3 ทดสอบและการตรวจวัด

รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดการติดตั้งตัวอย่างและอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่จำนวน 7 ตำแหน่งที่ตำแหน่งซ้ายมือและที่ตำแหน่งกึ่งกลางพื้นจำนวนอีก 3 เพื่อหาค่าการโก่งตัวเฉลี่ยของตัวอย่าง และที่บริเวณใต้ตัวอย่างมีกระบอกไฮโดรลิกที่ดันพื้นขึ้นและมีอุปกรณ์วัดแรงที่กระบอกไฮโดรลิกกระทำต่อตัวอย่าง อุปกรณ์ทั้งหมดต่อเข้ากับ Data Logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูล

3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 แสดงสรุปผลการทดสอบของตัวอย่างทั้งหมด Cross_CFRP เป็นตัวอย่างที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่น CFRP สามารถเพิ่มความสามารถรับแรงของแผ่นพื้นได้ร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง ตัวอย่าง Cross_Sisal เป็นตัวอย่างที่ได้ทำการเสริมกำลังลักษณะเหมือนกับ CFRP แต่ใช้วัสดุเป็นเส้นใยป่านสรนารายณ์สามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงได้ร้อยละ 17 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง ซึ่งมากกว่า CFRP ร้อยละ 5 ตัวอย่างสุดท้ายเป็น Star_Sisal สามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงได้ร้อยละ 31 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเสริม

ส่วนเรื่องการโก่งตัว Cross_CFRP และ Cross_Sisal ได้ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 23 mm ซึ่งมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง ส่วน Star_Sisal เป็นตัวที่สามารถรับแรงได้มากกว่าค่าการโก่งตัวมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง 25 mm

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบของตัวอย่าง

ตัวอย่าง	P_{Max} (Ton)	Δ (mm)	$(P_{Max} / P_{Max_{con}})$
Control	25.82	15.46	1.00
Cross_CFRP	29.12	23.65	1.12
Cross_Sisal	30.43	22.67	1.17
Star_Sisal	34.00	40.60	1.31

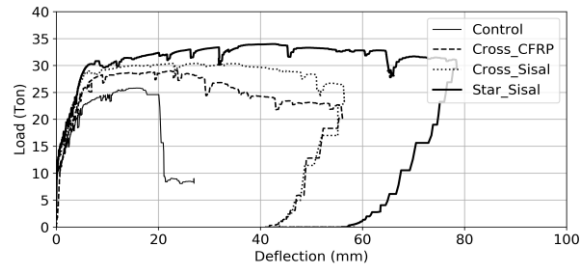
P_{Max} คือแรงสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่าง

$P_{Max_{con}}$ คือแรงสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่าง Control

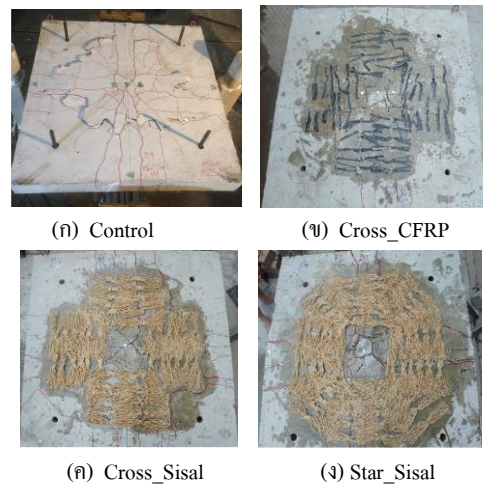
Δ คือระยะการโก่งตัวที่จุด P_{Max}

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบที่ได้จากการตรวจวัดแรงกระทำกับการโก่งตัวของแผ่นพื้นทั้งที่มีและไม่มีการเสริมกำลัง จากรูปจะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ไม่ได้มีการเสริมกำลัง (Control) เกิดการวิบัติทันที ณ จุดที่

มีค่ารับแรงสูงสุด ส่วนตัวอย่างที่ถูกเสริมกำลังจะยังไม่วิบัติทันที แต่จะมีการโก่งตัวออกไประยะหนึ่ง ถึงแม้กำลังของตัวอย่างจะลดลง จากรูปจะเห็นว่าตัวอย่างที่ได้ถูกเสริมกำลัง จะเสริมความแกร่ง (Stiffness) อีกด้วย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำและการโก่งตัว



รูปที่ 5 รูปแบบความวิบัติที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างที่มีและไม่มีการเสริมกำลัง

รูปที่ 5 แสดงรูปการวิบัติของตัวอย่างพื้นไร้คานทั้งที่มีและไม่มีการเสริมกำลัง ตัวอย่าง Control มีรอยแตกที่เกิดจากแรงคดและแรงเฉือนทะลุ ซึ่งรอยแตกที่กว้างที่เกิดจากแรงเฉือนทะลุจะมีลักษณะเป็นวงรอบออกจากจุดศูนย์กลาง ส่วนรอยแตกที่เกิดจากแรงคดจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดผ่านเส้นผ่านศูนย์กลาง จากการทดสอบแผ่นพื้น Control เกิดการวิบัติจากรอยแตกแบบแรงเฉือนทะลุดังรูปที่ 5(ก)

รูปที่ 5(ข) ถึง 5(ง) แสดงการวิบัติของพื้นไร้คานที่ได้มีการเสริมกำลังด้วยวัสดุต่างๆ Cross_CFRP Cross_Sisal และ Star_Sisal มีการวิบัติและรอยแตกที่เกิดขึ้นเหมือนกัน รอยแตกที่เกิดจากแรงคดเป็นหลัก ซึ่งรอยแตกที่กว้างที่เกิดจากแรงคดมีลักษณะเป็นแนวยาวและขวางตามตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างทั้งสามเกิดการวิบัติ จากการตรวจสอบไม่พบการแตกร้าลักษณะเป็นวงรอบออกจากจุดศูนย์กลางเหมือนกับตัวอย่าง Control นี่เป็นการบ่งชี้ว่าตัวอย่างทั้งสามที่ได้มีการเสริมกำลัง เกิดการ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

วิธีในรูปแบบอื่น จึงไม่สามารถบอกได้ชัดเจนว่าการเสริมกำลังของพื้น ไร้คานด้วย CFRP และเส้นใยป่านสามารถเพิ่มกำลังรับแรง เหนือได้สูงสุดเท่าไร

4 การเปรียบเทียบด้านราคา

ตารางที่ 2 แสดงราคาที่ใช้ในการเสริมกำลังของตัวอย่างทั้ง สาม อย่างไรก็ตามราคาที่ได้ทำการศึกษานี้เป็นราคาที่เกิดขึ้นจริงไม่ สามารถนำไปใช้ในการประกอบการคิดราคากับงานโครงสร้างจริง จาก ตารางจะเห็นได้ว่าการเสริมกำลังด้วย CFRP จะมีราคาสูงเมื่อเทียบกับ เส้นใยป่านประมาณร้อยละ 60

ตารางที่ 2 สรุปค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าวัสดุ (หน่วย : บาท)

รายการ	Cross_CFRP	Cross_Sisal	Star_Sisal
ค่าแรงเตรียมพื้นผิว และเจาะรู	500	500	700
ค่าวัสดุ	4,000	2,000	3,000
ค่าแรงในการติดตั้ง	600	1,000	1,500
รวม	6,100	3,500	5,200

5 สรุปผลการศึกษา

บทความนี้ศึกษาการเสริมกำลังของพื้น ไร้คานด้วยวัสดุ CFRP และเส้นใยป่านสามารถเพิ่มกำลังรับน้ำหนักและราคาที่ใช้ในการเสริมกำลังสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุ CFRP และเส้นใยป่านสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเสริมสำหรับพื้น ไร้คาน ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปแบบการวิบัติจากแรงเฉือน ทะลุเป็นการวิบัติจากแรงดัด
2. การใช้เส้นใยป่านสามารถเพิ่มกำลังการรับน้ำหนักได้มากกว่าการใช้ CFRP และราคาโดยรวมถูกกว่า
3. จากผลการทดสอบรูปแบบการเสริมกำลังแบบ Star จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบ Cross ร้อยละ 15

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ภายใต้โครงการทุนวิจัยและ วิชาการตามแผนและกลยุทธ์เพื่อการพัฒนา (ตามประกาศภาควิชา วิศวกรรมโยธาที่ 27/2561)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kinnunen, Sven, and Henrik Stefan Erik Nylander. *Punching of Concrete Slabs Without Shear Reinforcement*. Göteborg: Elanders Boktryckeri Aktiebolag, 1960
- [2] Muttoni A. Shear and punching strength of slabs without shear reinforcement. *Beton Stahlbetonbau*. 2003;98(2): pp. 74–84
- [3] Ramos A, Lúcio V, Faria D. The effect of the vertical component of prestress forces on the punching strength of flat slabs. *Eng Struct*. 2014;76: pp. 90–98.
- [4] fib. *fib Model Code for Concrete Structures 2010*, Ernst & Sohn, 2013, pp. 434.



พงษ์ศักดิ์ วิวัฒน์โรจนกุล สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปริญญาเอก สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจคือ ด้านคอนกรีตเทคโนโลยีและการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้าง ด้วยวิธีการแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing method)



เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี เกียรตินิยมอันดับ 1 มหาวิทยาลัยมหิดล ปริญญาโท และเอก สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี งานวิจัยที่สนใจคือ ศึกษาพฤติกรรมของ โครงสร้างผนังรับแรง คอนกรีตสำเร็จรูปในการต้านทานแผ่นดินไหว