

การเสริมกำลังรับแรงดัดโครงสร้างคอนกรีตกำลังต่ำโดยวิธีเสริมแผ่นเหล็ก

Flexural Strengthening of Low Strength Concrete Structure by Bonded Steel Plate

ผศ. ศิริชัย ชำสุวรรณ

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

บทคัดย่อ

การเสริมกำลังรับแรงดัดโครงสร้างคอนกรีตกำลังต่ำโดยวิธีเสริมแผ่นเหล็ก เป็นการศึกษารูปแบบการซ่อมแซมและเสริมกำลังของคานโครงสร้างที่มีปัญหาด้านการรับกำลังดัด โดยที่พิจารณาเงื่อนไขการเสริมแผ่นเหล็กและใช้วัสดุยึดติดประสานในลักษณะต่างๆ ซึ่งจากการทดสอบแล้วพบว่า การเสริมกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตกำลังต่ำด้วยวิธีเสริมแผ่นเหล็ก จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการยึดติดประสาน ลักษณะการติดตั้งเสริมแผ่นเหล็ก และจำนวนพื้นที่ของแผ่นเหล็กที่เสริมเพิ่มเติมแล้ว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านการรับกำลังรับแรงดัดได้ดียิ่งขึ้น

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านการรับกำลังรับแรงดัดของโครงสร้างคอนกรีตที่ถูกกระทำให้เกิดความสูญเสียประสิทธิภาพด้านกำลังที่ลดลงนั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งกับผู้ใช้งานโครงสร้างนั้นๆ และการซ่อมแซมในปัจจุบันที่มีทางเลือกหลายรูปแบบที่สามารถกระทำได้ตามความเหมาะสมกับปัจจัยต่างๆ การเสริมกำลังรับแรงดัดของโครงสร้างโดยการเสริมแผ่นเหล็กเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถซ่อมแซมและเสริมกำลังให้เพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปแล้วกำลังของคอนกรีตจะมีความสามารถรับแรงได้ต่ำกว่าแผ่นเหล็ก การศึกษาการเสริมกำลังรับแรงดัดโครงสร้างคอนกรีตกำลังต่ำโดยวิธีเสริมแผ่นเหล็ก เพื่อเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ในการยึดติดของแผ่นเหล็กและลักษณะของการยึดติดของแผ่นเหล็กในชิ้นส่วนของคานโครงสร้างที่ค่ากำลังอัดต่ำ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเรียนรู้พฤติกรรมของคานที่มีค่ากำลังอัดต่ำเมื่อถูกเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กในลักษณะต่างๆและวัสดุที่ใช้ยึดติดระหว่างการใส่สลักเกลียวยึดติด กับการใช้

Epoxy ยึดติด เปรียบเทียบทางด้านกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้วิศวกร หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้แผ่นเหล็กเสริมในคาน ได้สามารถทราบรายละเอียดที่เปรียบเทียบ และจะทำให้เกิดความมั่นใจในการเลือกใช้วัสดุได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม

2. รายละเอียดการศึกษา

สำหรับคุณลักษณะของคอนกรีตกำลังต่ำที่จะพิจารณาค่าการรับกำลังอัดระบุได้โดยประมาณ 180 ksc. และคอนกรีตที่นิยมผสมสัดส่วนโดยทั่วไปในภาคสนามคืออัตราส่วน 1 : 2 : 4 และรูปแบบการเสริมกำลังเพิ่มจากแผ่นเหล็กจะเลือกกรณีการติดตั้งที่สามารถปฏิบัติในภาคสนามได้โดยสะดวก คือ การใช้ตัวยึดสลักเกลียวขนาด (M10)* ๑10 x 100 มม. ติดประกับ และการใช้ Epoxy* ติดประสาน แล้วเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดของวัสดุแต่ละชนิดนำมาคำนวณหา ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture)

การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตโดยวิธี Flexural Strength ตามมาตรฐานที่ใช้ ASTM C 78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete;

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

โดยที่

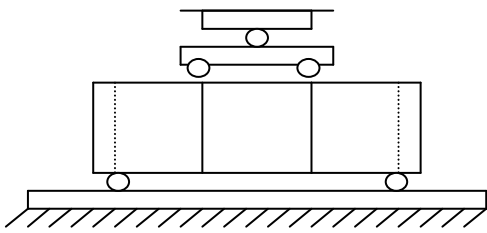
R = โมดูลัสการแตกร้าว (ksc.)

P = น้ำหนักกดสูงสุด (kg.)

a = ระยะทางเฉลี่ยจากจุดที่แตกหักไปยังจุดรองรับที่ใกล้กว่าโดยวัดด้าน รับแรงดึง (cm.)

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน (cm.)

d = ความลึกเฉลี่ยของคาน (cm.)



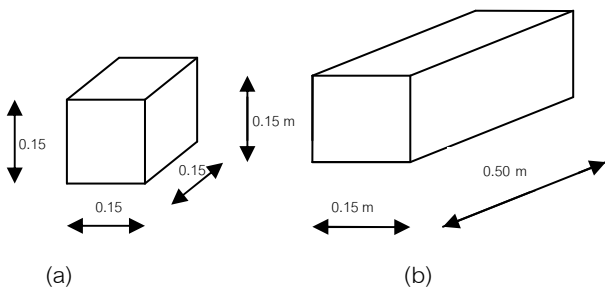
รูปที่ 1. การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตด้วยวิธี Flexural Strength

การทดสอบการรับแรงดัดของคานคอนกรีตได้ติดแผ่น Plate ในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ (ดูรูปที่ 3 ประกอบ)

- A. ติดในลักษณะเสริมกำลังแบบประกบข้างกับคาน
- B. ติดในลักษณะเสริมกำลังแบบฉากกับคาน
- C. ติดในลักษณะเสริมกำลังด้านท้องคาน
- D. ติดในลักษณะเสริมกำลังแบบประทั้ง 2 ข้างและท้องคาน

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนของคอนกรีต ที่ใช้ในการทดสอบแต่ละตัวอย่างมีอัตราส่วนผสมดังนี้

ค่ากำลัง	1 : 2 : 4		180 ksc.	
อัตราส่วนผสม	ตัวอย่างแรงอัด	ตัวอย่างแรงดัด	ตัวอย่างแรงอัด	ตัวอย่างแรงดัด
ปูนซีเมนต์ (kg.)	1.040	3.450	0.918	3.051
ทราย (kg.)	2.160	7.180	2.965	9.854
หิน(kg.)	4.340	14.41	3.482	11.527
น้ำ (kg)	0.630	2.100	0.680	2.260



รูปที่ 2 (a) ตัวอย่างทดสอบแรงอัด (b)ตัวอย่างทดสอบแรงดัด

ทำการหล่อคอนกรีตทั้ง 2 ชนิด กลุ่มละ 5 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างคอนกรีตขนาด 0.15 x 0.15 x 0.15 ม. และขนาด ϕ 0.15 x 0.30 ม. เพื่อทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน และคานรูปทรงขนาด 0.15 x 0.15 x 0.50 ม. สำหรับทดสอบการรับกำลังดัด เพื่อทดสอบเปรียบเทียบลักษณะการยึดติดในแต่ละรูปแบบ

3. ผลการทดสอบ

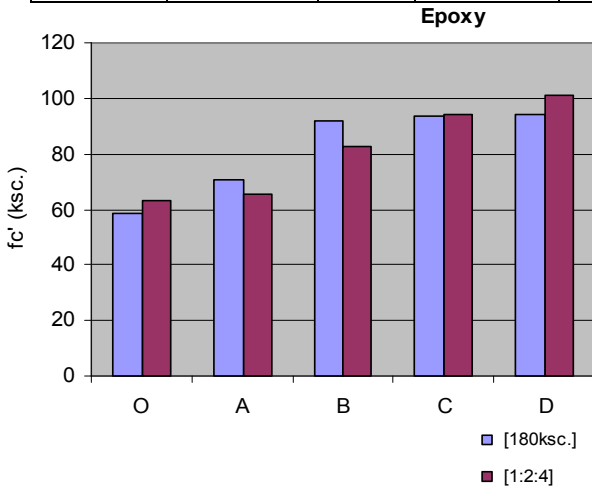
ตารางที่ 2 : ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน สำหรับตัวอย่างทรงปริมาตรของ ขนาดรูปทรงลูกบาศก์ 15 x15 x15 ซม³

ตัวอย่างก่อนที่	ที่อัตราส่วน 1:2:4		ที่กำลังอัด 180 ksc.	
	P (แรง) KN.	กำลังอัด (ksc.)	P (แรง) KN.	กำลังอัด (ksc.)
1	570	256	368	166
2	490	220	415	187
3	535	241	393	177
4	400	180	413	186
5	450	202	420	189
ค่าเฉลี่ย		220		180

ในการทดสอบโดยใช้ Epoxy เป็นตัวประสานแผ่นเหล็กสำหรับเสริมค่ากำลังของคานคอนกรีตทั้ง 2 ประเภท ตัวอย่างทดสอบ(อัตราส่วน 1 : 2 : 4 และ $f_c' = 180$ ksc) คานตัวอย่างในลักษณะการยึดแบบ A พบว่าโมดูลัสการแตกร้าจะมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบแบบที่ไม่ใช้แผ่นเหล็กยึดติด คือสามารถเพิ่มค่ากำลังได้ประมาณ 5-20% และเมื่อยึดติดลักษณะ B ได้โมดูลัสการแตกร้ามากขึ้นประมาณ 30-50% เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้แผ่นเหล็กยึดติด ในส่วนการยึดติดลักษณะ C ค่าโมดูลัสการแตกร้าจะสูงขึ้น 50-60% และการยึดติดลักษณะ D มีค่าโมดูลัสการแตกร้าจะมีค่าที่สูงที่สุดประมาณ 61% ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่ากำลังของคานตัวอย่างที่ยึดติดแผ่นเหล็กเสริมกำลังด้วย Epoxy

	fc' [180ksc.]	%	fc' (ksc.) [1:2:4]	%
O	58.648	0.0	62.905	0.0
A	70.677	20.5	65.566	4.2
B	91.967	56.8	82.805	31.6
C	93.636	59.7	93.889	49.3
D	94.408	61.0	101.328	61.1



หมายเหตุ : (O) คือการทดสอบแรงดัดของคานคอนกรีตโดยไม่มีแผ่นเหล็กยึดติด

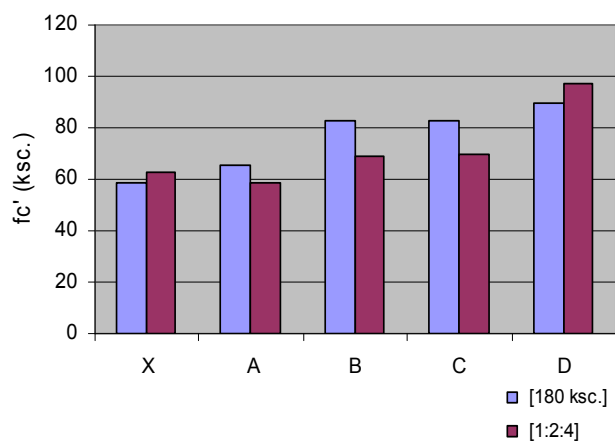
กราฟที่ 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสการแตกร้าวกับลักษณะการยึดโดยใช้Epoxy เป็นตัวประสานสำหรับการเสริมกำลังคอนกรีต

ในทดสอบโดยใช้ สลักเกลียวขนาด (M10) * ϕ 10 \times 100 มม. ยึดติดด้วยแผ่นเหล็กสำหรับการเสริมค่ากำลังของคานคอนกรีตทั้ง 2 ประเภทตัวอย่างการทดสอบ (อัตราส่วน 1: 2 :4 และ fc' = 180 ksc) พบว่าการยึดติดในลักษณะ A ให้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวเพิ่มขึ้นประมาณ 10% หรืออาจจะต่ำกว่าการทดสอบแบบที่ไม่ใช้แผ่นเหล็กยึดติด (X)อาจเป็นเพราะว่ามีการสูญเสียกำลังของคอนกรีตจากการเจาะส่วานเพื่อฝังสลักเกลียว จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้คานคอนกรีตสูญเสียกำลังลงไป และการยึดในลักษณะ B ให้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวเพิ่มขึ้นประมาณ 10-40% เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่ใช้แผ่นเหล็กยึดติด(x) ส่วนการยึดในลักษณะ C ให้ค่ากำลังดัดของคานคอนกรีตใกล้เคียงกันมากกับลักษณะการยึดในแบบB และมีค่าโมดูลัสการแตกร้าวเพิ่มขึ้นประมาณ 10-40% เช่นกัน ค่า

กำลังที่ได้ อาจเกิดจากยึดติดแผ่นเหล็กที่มีลักษณะใกล้เคียงกันและมีจำนวนแผ่นเหล็กที่เท่ากัน สำหรับลักษณะการยึดแบบ D ในการยึดแบบนี้ให้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรยึดติดลักษณะอื่นในอัตราส่วนผสมเดียวกันมีค่าโมดูลัสการแตกร้าวเพิ่มขึ้นประมาณ 53-55% ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่ากำลังของคานตัวอย่างที่ยึดติดแผ่นเหล็กเสริมกำลังด้วยสลักเกลียว

	fc' [180ksc.]	%	fc' (ksc.) [1:2:4]	%
X	58.684	0.0	62.905	0.0
A	65.36	11.4	58.278	-7.4
B	82.693	40.9	68.69	9.2
C	82.835	41.2	69.912	11.1
D	89.84	53.1	97.584	55.1



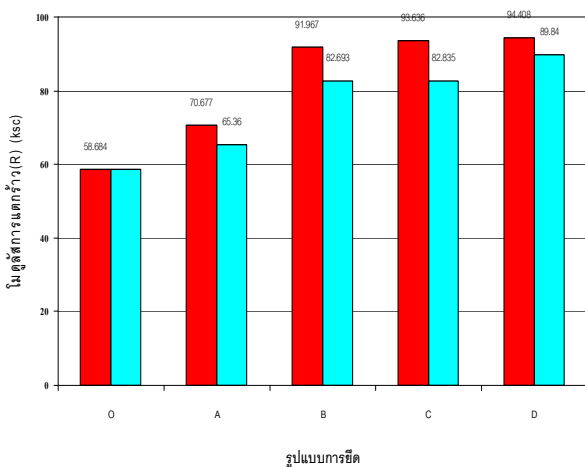
หมายเหตุ : (X) คือการทดสอบแรงดัดของคานคอนกรีตโดยไม่มีแผ่นเหล็กยึดติด (1:2:4)

กราฟที่ 2. แสดงความสัมพันธ์โมดูลัสการแตกร้าวกับลักษณะการยึดโดยใช้ สลักเกลียว* เป็นตัวยึดติดของคอนกรีต

4. การวิเคราะห์ผล

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบโมดูลัสการแตกร้าว ระหว่าง Epoxy กับ สลักเกลียว ของคอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. ทำให้เราทราบถึงพฤติกรรมในการรับกำลังของคานคอนกรีตที่ใช้อุปกรณ์เสริมกำลังต่างชนิดกันถึงแม้ว่าโครงสร้างของคอนกรีตจะเหมือนกันแต่อุปกรณ์ที่

ใช้ยึดต่างกันกำลังของคอนกรีตที่ต่างกันไปด้วย จากกราฟเปรียบเทียบพบว่า ลักษณะการยึดแบบ A, B, C และจุด D กำลังของคานคอนกรีตที่ใช้ Epoxy เป็นตัวยึดระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีตให้ค่ากำลังมากกว่าคานคอนกรีตที่ใช้ สลักเกลียวเป็นตัวยึดอาจเป็นเพราะว่า Epoxy ที่ทาไว้กับเพื่อยึดติดคอนกรีตกับแผ่นเหล็กช่วยกระจายแรงที่มากกระทำกับคานคอนกรีตมายังแผ่นเหล็กทำให้แผ่นเหล็กรับกำลังร่วมกับคานคอนกรีตค่าที่ออกมาจึงให้ค่ามากกว่าการยึดติดด้วย สลักเกลียว

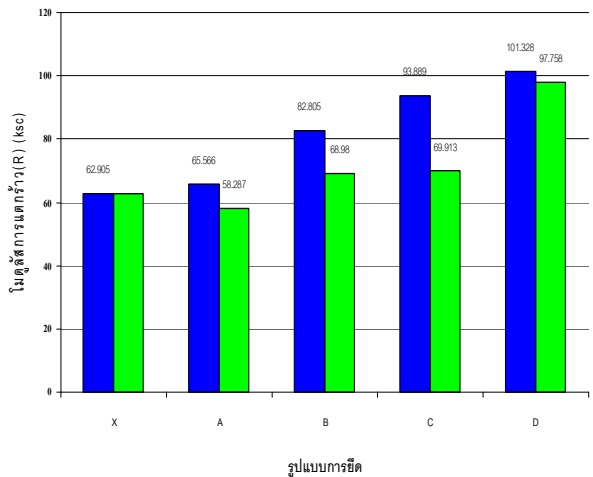


หมายเหตุ: (o) คือการทดสอบแรงดัดของคานคอนกรีตโดยไม่เสริมแผ่นเหล็กยึดติด
สีแดง ■ คือ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคานที่ยึดด้วย Epoxy*
สีฟ้า ■ คือ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคานที่ยึดด้วย สลักเกลียว*

กราฟที่ 3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสการแตกร้าวกับลักษณะการยึดโดยใช้ Epoxy เปรียบเทียบกับ สลักเกลียว ที่เป็นตัวประสานสำหรับการเสริมกำลังคอนกรีต 180 ksc.

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบโมดูลัสการแตกร้าว ระหว่าง Epoxy* กับ สลักเกลียว* ของคานคอนกรีตอัตราส่วน 1 : 2 : 4 ดังข้างต้นพบว่าคานคอนกรีตอัตราส่วน 1 : 2 : 4 เมื่อถูกยึดด้วยอุปกรณ์ต่างชนิดกันค่ากำลังที่ได้ก็ต่างกันด้วย จากกราฟการเปรียบเทียบพบว่า การยึดติดในลักษณะ A, B, C และ D ค่ากำลังดัดของคาน

คอนกรีตที่ยึดติดด้วย Epoxy* ให้ค่ากำลังสูงกว่าคานคอนกรีตที่ถูกยึดด้วย สลักเกลียว* อาจเป็นเพราะว่า Epoxy* ช่วยกระจายแรงดัดที่ได้กล่าวมาแล้วในกรณีของคอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. และค่ากำลังที่ได้ค่อนข้างต่างกันพอสมควรเพราะว่าการยึดติดโดยใช้ สลักเกลียว* ต้องมีการเจาะรูทำให้คอนกรีตได้รับการกระทบกระเทือนทำให้เสียกำลัง



หมายเหตุ: (X) คือการทดสอบแรงดัดของคานคอนกรีตโดยไม่เสริมแผ่นเหล็กยึดติด

สีน้ำเงิน ■ คือ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคานที่ยึดด้วย Epoxy*
สีเขียว ■ คือ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคานที่ยึดด้วย สลักเกลียว*

กราฟที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสการแตกร้าวกับลักษณะการยึดโดยใช้ Epoxy เปรียบเทียบกับ สลักเกลียว ที่เป็นตัวประสานสำหรับการเสริมกำลังคอนกรีต 1:2:4

สำหรับการยึดติดโดยใช้ สลักเกลียวขนาด (M10)* ϕ 10 x 100 มม. เป็นตัวประสาน จากผลทดสอบคานคอนกรีตทั้ง 2 ชนิดนี้ให้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน แม้ว่าบางค่าจะใกล้เคียงกันมากก็ตามลักษณะการยึดแบบ A การยึดติดในลักษณะนี้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. สูงกว่าคอนกรีตอัตราส่วน 1:2:4 อาจเป็นมาจากสาเหตุที่

คอนกรีตมีการเจาะรูตรงกึ่งกลางเพื่อฝังสลักเกลียวเลยทำให้สูญเสียกำลังเพราะตรงกึ่งกลางเป็นจุดที่รับ Tension พอดี และการยึดติดลักษณะ B ในการยึดลักษณะนี้ก็แตกต่างกับการยึดลักษณะ A คือคอนกรีตอัตราส่วน 1:2:4 ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงกว่าคอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. อาจเนื่องจากการติดตั้งตำแหน่งของสลักเกลียวในคานตัวอย่าง แล้วส่งผลให้กำลังในเนื้อคอนกรีตลดลง จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าผลการทดสอบของการยึดติดสลักเกลียวในคานขึ้นอยู่กับการกระจายแรงจากเนื้อคอนกรีตสู่ชิ้นส่วนสลักเกลียวไปยังแผ่นเหล็ก นั่นถ้าการติดตั้งของตำแหน่งของสลักเกลียวทำให้สูญเสียพื้นที่ในคอนกรีตมากจะทำให้ค่ากำลังที่ได้สูญเสียไป และสำหรับผลการทดสอบการยึดโดยใช้ Epoxy* พบว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตอัตราส่วน 1:2:4 และคานคอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. โดยใช้ Epoxy* เป็นตัวประสานระหว่างแผ่นเหล็กกับคอนกรีตในลักษณะการยึดแบบ A ให้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวใกล้เคียงกันมาก อาจเป็นเพราะว่าลักษณะการยึดติดเป็นแบบเดียวกันตรงที่อัตราส่วนผสมของคอนกรีตเท่านั้น ดังนั้นพฤติกรรมของคอนกรีตทั้ง 2 ชนิดนี้มีลักษณะการรับแรงดัดเหมือนกัน ลักษณะการยึดแบบ B ในลักษณะนี้ก็เช่นเดียวกับกรณีแรกแต่ค่าโมดูลัสที่ได้มีค่ามากกว่าแบบแรกอาจเป็นเพราะจำนวนแผ่นเหล็กที่ใช้ในการทดสอบมาช่วยในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้นตรงท้องคาน เมื่อมีแรงมากระทำกับคอนกรีตนั้นแผ่นเหล็กก็จะช่วยในการรับแรงร่วมกับคอนกรีต ทำให้เกิดการแตกร้าวที่ช้าและทำให้ได้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงขึ้น ลักษณะการยึดแบบ C จากกราฟการทดสอบเห็นได้ชัดว่าคานคอนกรีตแบบกำลังอัด 180 ksc. ให้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวสูงกว่าคานคอนกรีตแบบอัตราส่วนผสม 1:2:4 แต่ค่าที่ได้นั้นก็ไม่น่าเท่าไรนักอาจเป็นเพราะว่า Epoxy* ที่ใช้ในการยึดของคอนกรีตอัตราส่วน 1:2:4 มีจำนวนน้อยหรือแผ่นเหล็กที่ใช้ อาจจะไม่เรียบสนิทกับคอนกรีตเพียงพอซึ่งทำให้ค่าที่ออกมาต่างกันหรืออาจเป็นเพราะว่าการยึดติดในลักษณะนี้คอนกรีตทั้ง 2 ชนิดมีพฤติกรรมใน

การรับแรงอัดต่างกัน การยึดติดในลักษณะ D ในลักษณะนี้ก็เช่นเช่นเดียวกันกับการยึดในลักษณะ C คือมีค่าโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตอัตราส่วนผสม 1:2:4 สูงกว่าคอนกรีตกำลังอัด 180 ksc. อาจเกิดจากโครงสร้างคอนกรีตต่างกัน พฤติกรรมต่างกัน

สรุป

จากการศึกษาผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้างต้น การเสริมกำลังรับแรงดัดของโครงสร้างคอนกรีตกำลังต่ำโดยวิธีเสริมแผ่นเหล็ก จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพการรับกำลังดัดเพิ่มขึ้น แปรผันตามปริมาณเหล็กที่เสริมเพิ่มและขึ้นอยู่กับลักษณะของการติดตั้งด้วยยึดประสาน และบริเวณที่ยึดติดแผ่นเหล็ก เช่นกันด้วยข้อเปรียบเทียบระหว่าง Epoxy กับ สลักเกลียว

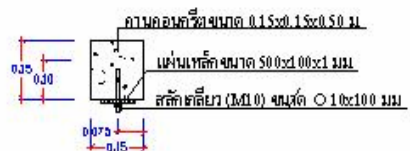
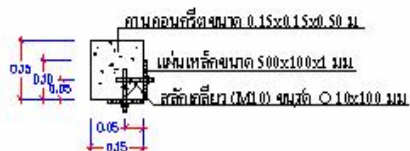
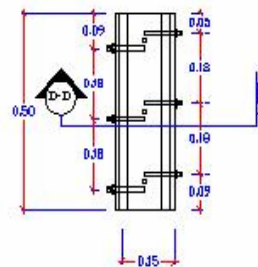
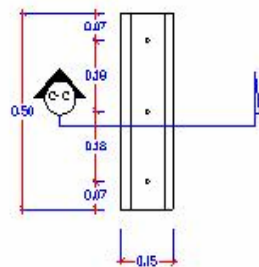
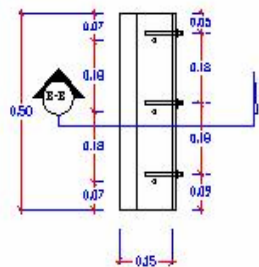
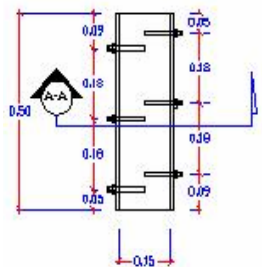
	Epoxy*	สลักเกลียว*
การติดตั้ง	สามารถทำกับแผ่นเหล็กได้เลยเลย ยก ขึ้น ติด ตั้ง กับ โครงสร้าง	ต้องเจาะรูใส่ Epoxy* ก่อนใส่ สลักเกลียวรอให้ Epoxy* แข็งตัวก่อนร้อยแผ่นเหล็กกับโครงสร้างแล้วขันน็อตให้แน่น
การรับกำลัง	ช่วยกระจายแรงที่กระทำกับโครงสร้างให้ทั่วแผ่นเหล็กช่วยรับแรงเฉือนและแรงดัดของโครงสร้าง	ทำให้โครงสร้างสูญเสียกำลังเมื่อเจาะรู และโครงสร้างจะรับกำลังเมื่อหลังจากติดแผ่นเหล็กแล้ว
การซ่อมแซม	สกัดเศษ Epoxy* เก่า ออก แล้ว สามารถฉีด Epoxy* ใหม่เข้าไปได้เลย ตรงที่แผ่นเหล็กหลุดร่อนออกมาแล้วปิดเข้าไปใหม่	ตัดหัวสลักเกลียวทิ้งและต้องเจาะใหม่ทำเหมือนกับขั้นตอนการติดตั้งทุกอย่าง
การรื้อถอน	สกัด สามารถรื้อแผ่นเหล็กออกได้เลย	ถอดน็อตก่อนค่อยถอดแผ่นเหล็กออก หรือ ไม่ก็ตัดหัวน็อตทิ้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ฮิลติ (ประเทศไทย) จำกัด ในการให้ความสนับสนุนอุปกรณ์มาใช้ในการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริศักดิ์ ปโยธศิริ กำลังวัสดุ พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์ เม็ดทราย พรินต์ติ้ง 2539
- [2] อรุณ ชัยเสรี การวิบัติของอาคาร สาเหตุ และการแก้ไข พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร 2538
- [3] CPAC คู่มือการทดสอบหินทราย พิมพ์ครั้งที่ 5 2538

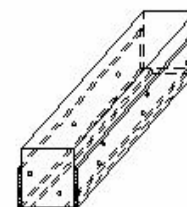
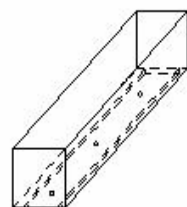
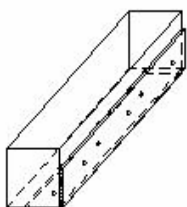
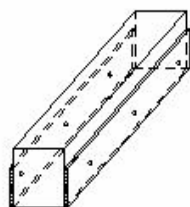


รูปตัด A-A

รูปตัด B-B

รูปตัด C-C

รูปตัด D-D



รูป การซีดแบบ A

รูป การซีดแบบ B

รูป การซีดแบบ C

รูป การซีดแบบ D

รูปที่ 3 แสดงลักษณะการยึดติดอุปกรณ์การทดสอบแบบต่างๆ