

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

จังหวัดเชียงใหม่ถือว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวเนื่องจากมีรอยเลื่อนที่มีพลังพาดผ่าน เช่น รอยเลื่อนแม่จัน, รอยเลื่อนแม่ทา และรอยเลื่อนแม่กวง ซึ่งรอยเลื่อนนี้อาจทำให้เกิดแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงขนาดกลางได้ และเนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่ถือว่าเป็นเมืองที่มีความเจริญเป็นอันดับสองของประเทศ ทำให้มีการก่อสร้างอาคารอย่างหนาแน่น โดยเฉพาะในเขตอำเภอเมือง โดยอาคารส่วนใหญ่ได้รับอนุญาตก่อสร้างก่อนที่จะมีการกำหนดพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 49 เมื่อ พ.ศ. 2540 โดยมาตรฐานดังกล่าวนี้ได้เพิ่มข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหวซึ่งเป็นแรงกระทำแนวราบ ทำให้ลักษณะการวิบัติของอาคารต่างจากการรับน้ำหนักบรรทุกเฉพาะในแนวดิ่ง

จากการศึกษาเรื่องการประเมินกำลังต้านทานแรงแผ่นดินไหวและการวิเคราะห์พฤติกรรมอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กประเภทอาคารเรียนในจังหวัดเชียงใหม่ (ชยานนท์, 2553) ได้พบว่าอาคารเรียนในอำเภอเมืองเชียงใหม่มีพฤติกรรมการวิบัติแบบคานแข็ง-เสาอ่อน (Strong Beam – Weak Column) และมีความสามารถในการต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ต่ำ โดยเกิดความเสียหายบริเวณจุดต่อระหว่างคานกับเสา ก่อนโครงสร้างอื่น ทำให้มีความจำเป็นที่ต้องเสริมกำลังของจุดต่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวที่อาจเกิดขึ้นได้

วิธีเพิ่มกำลังให้จุดต่ออาคารมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้เสริมกำลังอาคารที่ก่อสร้างไปแล้วแต่ไม่ได้รับการออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว คือวิธีการเสริมกำลังด้วยแผ่นไฟเบอร์ เนื่องจากติดตั้งสะดวกและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานแรงจากแผ่นดินไหวได้เป็นอย่างดี

จากข้อบ่งชี้ด้านความอ่อนแอของอาคารเรียนในอำเภอเมืองเชียงใหม่และความจำเป็นในการเสริมกำลังจุดต่ออาคารให้ถูกต้องตามมาตรฐานการออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมจุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีพฤติกรรมแบบคานแข็ง-เสาอ่อน (Strong Beam – Weak Column) เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ภายใต้แรงวัฏจักรโดยวิธีไฟในต้อลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและเสริมกำลังให้กับจุดต่อของอาคารในอำเภอเมืองเชียงใหม่ต่อไป

1.2 สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 การศึกษาเกี่ยวกับความอ่อนแอต่อแรงแผ่นดินไหวของอาคารในจังหวัดเชียงใหม่

ชยานนท์ (2553) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความอ่อนแอต่อแรงแผ่นดินไหวของอาคารเรียนในเขตเทศบาลเมืองเชียงใหม่ โดยได้ทำการสืบค้นข้อมูลจากงานวิจัยในอดีต และการออกสำรวจภาคสนาม ซึ่งข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ประกอบด้วย ข้อมูลอาคาร โรงเรียน, ข้อมูลการใช้อาคาร, ข้อมูลสภาพดิน และข้อมูลแผ่นดินไหวเป็นต้น โดยกำหนดให้ในพื้นที่ศึกษามีความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหวในระดับต่ำ ถึงปานกลาง จากนั้นจึงทำการสุ่มสำรวจอาคารเรียนในเขตเทศบาลเชียงใหม่จำนวน 101 อาคาร ประเมินผลและรวบรวมคะแนนตามแบบวิธีการสำรวจเบื้องต้น ด้วยวิธี Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazards ตามมาตรฐาน FEMA 154

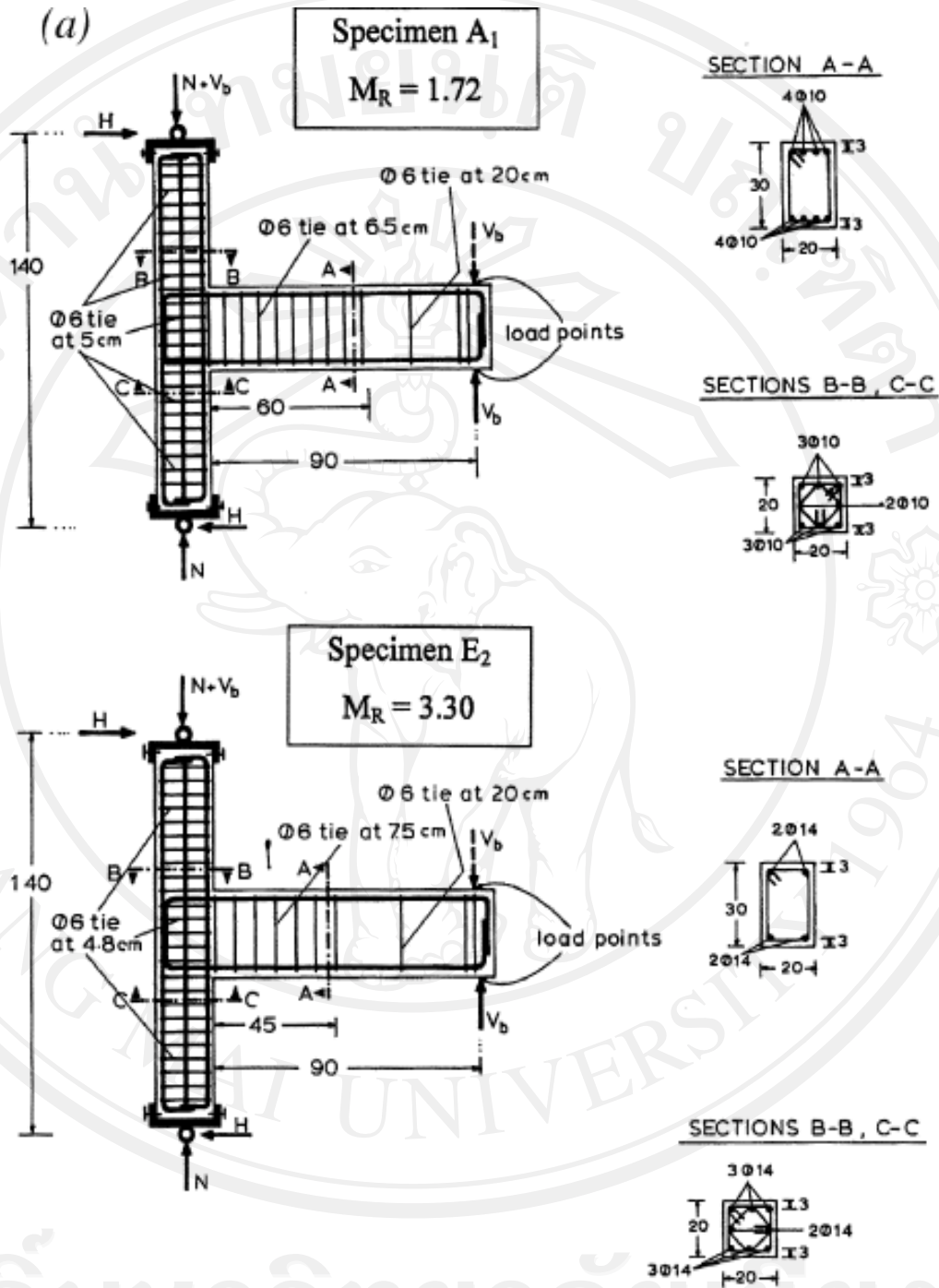
จากการศึกษาการประเมินความรุนแรงแผ่นดินไหวในระดับต่ำของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่ามีอาคารผ่านเกณฑ์มาตรฐานการประเมินจำนวน 70 อาคาร จากทั้งหมด 97 อาคาร ส่วนการประเมินความรุนแรงต่อแรงแผ่นดินไหวในระดับปานกลางพบว่ามีอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพียง 8 อาคารเท่านั้น

และเมื่อทำการวิเคราะห์ตัวแทนอาคารอย่างละเอียดด้วยวิธี Pushover Analysis พบว่าอาคารไม่สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่อาจจะเกิดขึ้นในพื้นที่ได้ โดยเกิดการวิบัติที่เสาที่ทำให้อาคารวิบัติอย่างฉับพลัน

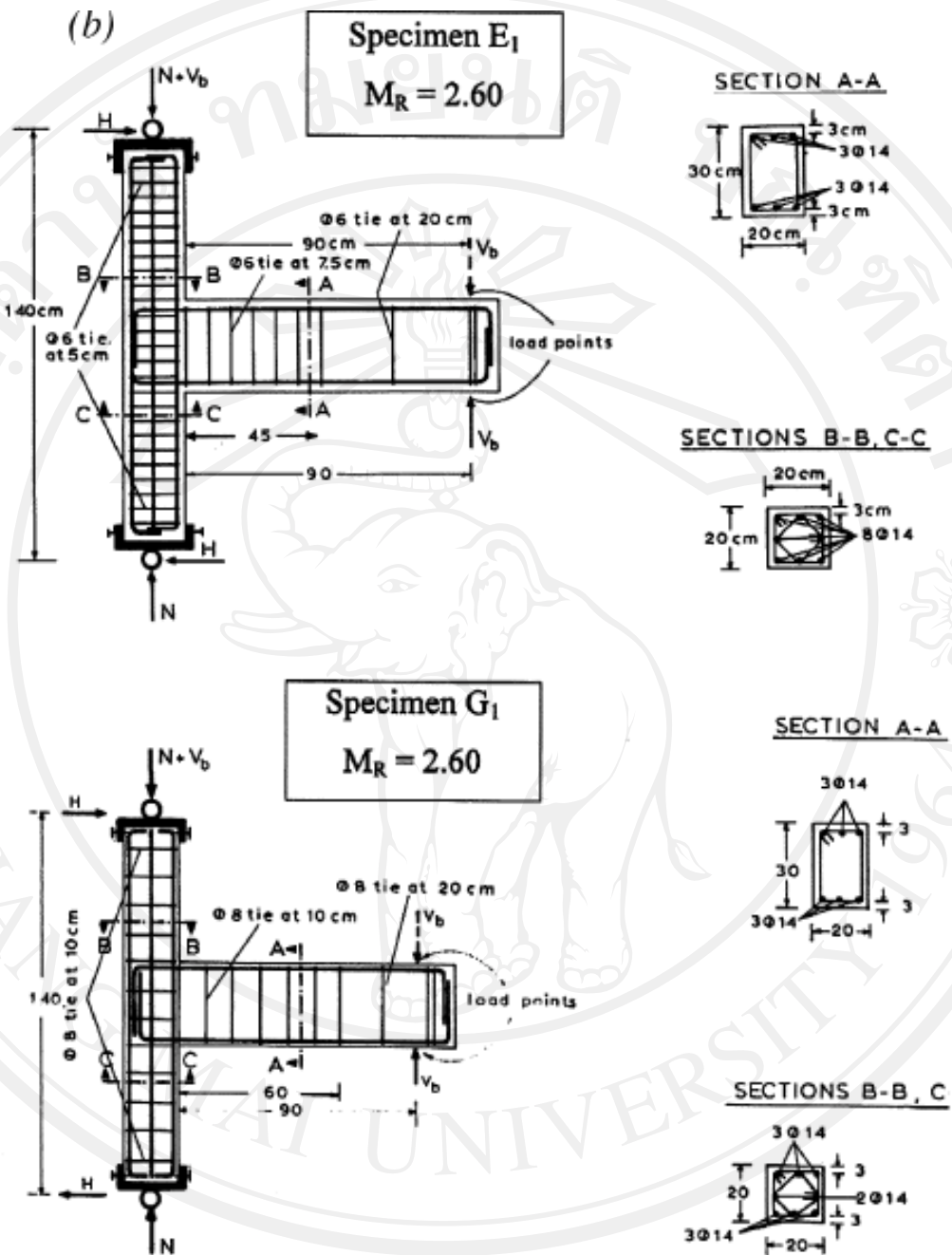
1.2.2 การศึกษาเกี่ยวกับจุดต่อคาน-เสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงแผ่นดินไหว

Tsonos (2007) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมจุดต่อคาน-เสาภายใต้แรงวัฏจักร โดยทำการทดสอบตัวอย่างจุดต่อที่ได้รับการออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนดที่แตกต่างกันจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยตัวอย่าง A1 ได้รับการออกแบบตามข้อกำหนด ACI318-05 ร่วมกับ ACI352R-02 ส่วนตัวอย่าง E1, E2 ได้รับการออกแบบตามข้อกำหนดของ Eurocode 2 และ Eurocode 8 ซึ่งมีรายละเอียดการเสริมเหล็กแตกต่างกัน ส่วนในตัวอย่าง G1 ได้รับการออกแบบตามข้อกำหนดของ New Greek Code for the Design of Reinforced Concrete Structure ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และ รูปที่ 1.2 ตามลำดับ

(a)



รูปที่ 1.1 รายละเอียดตัวอย่าง A1 และ E2 (Tsonos, 2007)

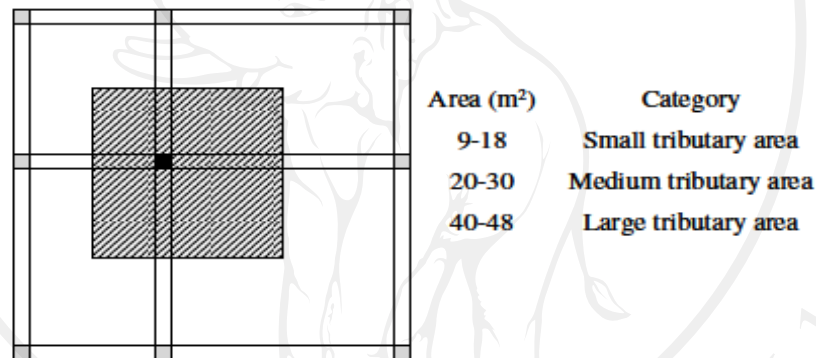


รูปที่ 1.2 รายละเอียดตัวอย่าง E1 และ G1 (Tsonos, 2007)

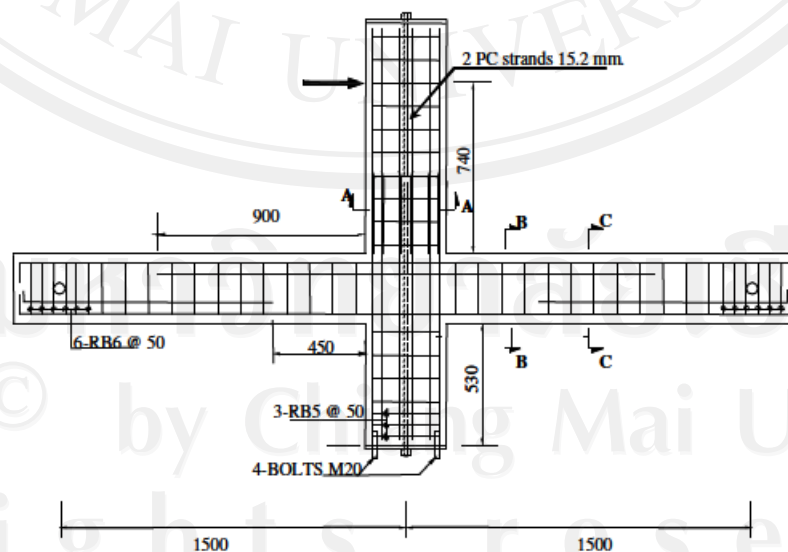
จากการศึกษาพบว่าตัวอย่าง A1 และ E2 มีความเหมาะสมในการรับแรงแผ่นดินไหว เนื่องจากจุดต่อแสดงพฤติกรรมแบบเหนียว และเกิดการวิบัติที่คานตามข้อกำหนดที่ต้องการให้เกิดพฤติกรรมแบบคานอ่อน-เสาแข็ง ส่วนในตัวอย่าง E1 และ G1 ซึ่งได้รับการออกแบบตามข้อกำหนดต้านทานแรงแผ่นดินไหวเช่นกัน แต่ยังไม่เหมาะสมในการรับแรงแผ่นดินไหว เนื่องจากจุดต่อแสดง

พฤติกรรมแบบเปราะ และเกิดการวิบัติที่จุดต่อเนื่องจากแรงเฉือน ทำให้ระหว่างรับแรงวัฏจักรอยู่นั้นมีการสูญเสียกำลังซึ่งเป็นผลให้กำลังประลัยมีค่าลดลง

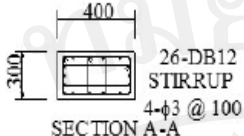
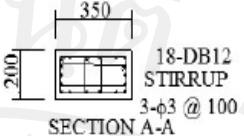
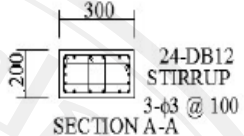
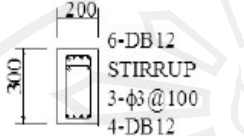
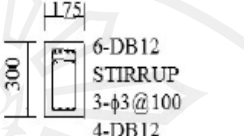


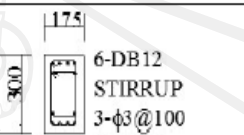

Pimanmas and Supaviriyakit (2008) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการรับแรงวัฏจักรของจุดต่อในอาคารที่มีความสูงปานกลาง (5 ถึง 15 ชั้น) ในกรุงเทพฯ จำนวน 10 อาคาร ที่สร้างก่อนข้อกำหนดควบคุมอาคารเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวนำมาจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งจากพื้นที่ถ่ายแรงลงสู่เสา (tributary area) ดังรูปที่ 1.3 ส่วนรูปแบบ, ขนาดหน้าตัด และรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างทดสอบที่ได้จากการสำรวจอาคารดังกล่าว แสดงไว้ดังรูปที่ 1.4 และรูปที่ 1.5 ตามลำดับ



รูปที่ 1.3 การแบ่งกลุ่มตัวอย่างจุดต่อตามพื้นที่ถ่ายแรงลงสู่เสา
(Pimanmas and Supaviriyakit, 2008)



รูปที่ 1.4 รูปแบบของตัวอย่างทดสอบ (Pimanmas and Supaviriyakit, 2008)

Member detail	JL-specimen	JM-specimen	JS-specimen
Column detail	 SECTION A-A	 SECTION A-A	 SECTION A-A
Beam detail	 SECTION B-B	 SECTION B-B	 SECTION B-B
	 SECTION C-C	 SECTION C-C	 SECTION C-C

รูปที่ 1.5 หน้าตัดและรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างทดสอบ

(Pimanmas and Supaviriyakit, 2008)

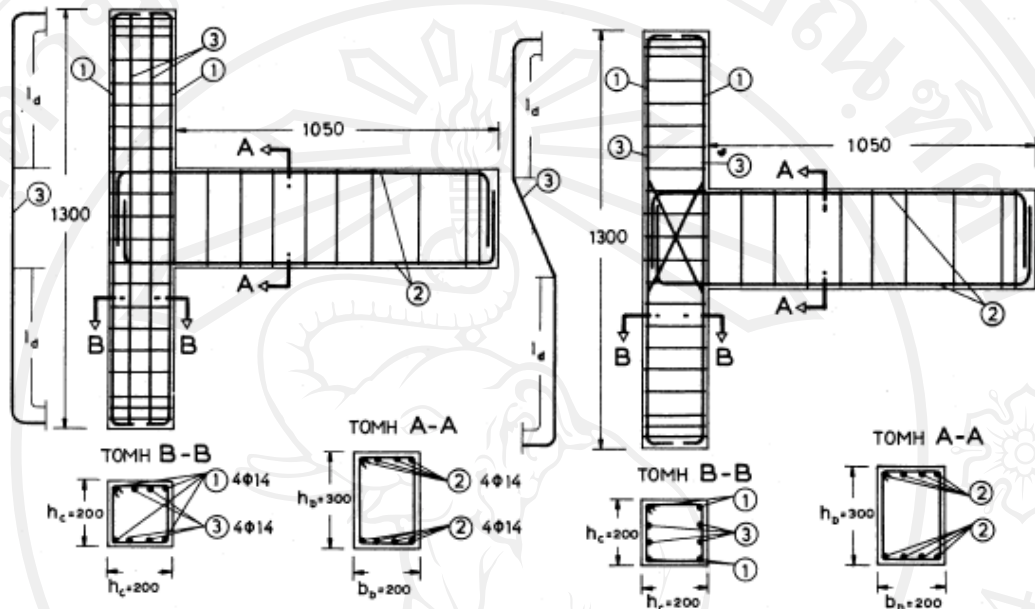
จากการศึกษาพบว่าอาคารในกรุงเทพฯ ที่มีพื้นที่ถ่ายแรงลงสู่เสา (tributary area) เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ต้องการขนาดหน้าตัดเสาเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการทดสอบตัวอย่างจุดต่อดังกล่าวภายใต้แรงวัฏจักร พบว่าจุดต่อที่มีพื้นที่ถ่ายแรงลงสู่เสาน้อยถึงปานกลาง (ตัวอย่าง JS และ ตัวอย่าง JM) เกิดการวิบัติที่จุดต่อ ส่วนในตัวอย่างที่มีพื้นที่ถ่ายแรงลงสู่เสามาก (ตัวอย่าง JL) เกิดการวิบัติที่คาน บริเวณหน้าเสาและมีพฤติกรรมแบบเหนียวมากกว่าตัวอย่างอื่น

Tsonos et. al. (1992) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของจุดต่อริมอาคารที่มีการตัดเหล็กเสริมแนวตั้งเป็นแนวทแยง (inclined bar) ในจุดต่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงแผ่นดินไหว โดยทำการทดสอบตัวอย่างจำนวน 20 ตัวอย่าง และจำแนกออกเป็น 8 กลุ่ม แปรผันตามปริมาณเหล็กเสริมในจุดต่อ อัตราส่วนกำลังรับแรงดัดระหว่างเสากับคาน และกำลังรับแรงเฉือนของจุดต่อ ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ (Tsonos et. at., 1992)

Series	Specimen	Column reinforcement	Beam reinforcement	Joint transverse reinforcement	Vertical joint shear reinforcement	Inclined reinforcing bars	Concrete compressive strength (psi)	l_{dh}^* (mm)	h_b /column bar diameter	M_R	v^{**}	$p_t\%$
I	S ₁	3 ϕ 14	2 ϕ 14	3 ϕ 8	4 ϕ 14	\emptyset	5360	340(225)	21.43(20)	2.79(1.40)	7.36(12)	0.75(0.47)
	X ₁	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	4 ϕ 14	3770	340(268)	21.43(20)	2.79(1.40)	8.77(12)	0.75(0.47)
II	S ₂	2 ϕ 10	2 ϕ 12 + 1 ϕ 10	3 ϕ 8	4 ϕ 14	\emptyset	3770	340(230)	30.00(20)	1.38(1.40)	9.16(12)	0.75(0.47)
	X ₂	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	4 ϕ 14	3480	340(239)	30.00(20)	1.42(1.40)	9.54(12)	0.75(0.47)
III	S ₃	2 ϕ 10	2 ϕ 12 + 2 ϕ 10	3 ϕ 8	4 ϕ 14	\emptyset	2750	340(269)	30.00(20)	1.04(1.40)	13.22(12)	0.75(0.47)
	X ₃	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	4 ϕ 14	3910	340(226)	30.00(20)	1.10(1.40)	11.09(12)	0.75(0.47)
IV	S ₄	3 ϕ 10	2 ϕ 14 + 2 ϕ 12	3 ϕ 8	4 ϕ 14	\emptyset	3040	340(299)	30.00(20)	0.97(1.40)	17.58(12)	0.75(0.47)
	X ₄	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	4 ϕ 14	2460	340(332)	30.00(20)	0.94(1.40)	19.54(12)	0.75(0.47)
V	S ₅	2 ϕ 14 + 1 ϕ 10	4 ϕ 14	3 ϕ 8	4 ϕ 14	\emptyset	3620	340(274)	21.43(20)	1.20(1.40)	17.90(12)	0.75(0.47)
	X ₅	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	4 ϕ 14	3190	340(292)	21.43(20)	1.17(1.40)	19.08(12)	0.75(0.47)
VI	S ₆	2 ϕ 14	4 ϕ 14	3 ϕ 8	4 ϕ 14	\emptyset	4780	340(238)	21.43(20)	1.04(1.40)	15.58(12)	0.75(0.47)
	X ₆	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	4 ϕ 14	3910	340(263)	21.43(20)	1.06(1.40)	17.22(12)	0.75(0.47)
	S ₆	4 ϕ 14	"	3 ϕ 8	\emptyset	\emptyset	4200	340(254)	21.43(20)	1.79(1.40)	16.62(12)	0.75(0.47)
VII	X ₇	2 ϕ 14	"	3 ϕ 8	\emptyset	6 ϕ 10	2610	340(322)	21.43(20)	1.06(1.40)	21.09(12)	0.75(0.47)
	X ₈	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	4 ϕ 10	2750	340(314)	21.43(20)	1.03(1.40)	20.53(12)	0.75(0.47)
VIII	P ₁	"	"	\emptyset	\emptyset	\emptyset	2320	340(342)	21.43(20)	1.03(1.40)	22.38(12)	\emptyset (0.47)
	Y ₁	"	"	\emptyset	\emptyset	\emptyset	3330	340(285)	21.43(20)	1.02(1.40)	18.66(12)	\emptyset (0.47)
	F ₁	"	"	\emptyset	\emptyset	\emptyset	2460	340(332)	21.43(20)	1.04(1.40)	21.71(12)	\emptyset (0.47)
	O ₁	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	\emptyset	2900	340(306)	21.43(20)	1.04(1.40)	20.00(12)	0.75(0.47)
	F ₂	"	"	3 ϕ 8	\emptyset	\emptyset	3480	340(279)	21.43(20)	1.00(1.40)	18.27(12)	0.75(0.47)

ซึ่งในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยตัวอย่างจุดต่อที่มีเหล็กแนวตั้งเป็นเส้นตรง กับตัวอย่างจุดต่อที่มีการตัดเหล็กแนวตั้งเป็นแนวทแยงเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงแผ่นดินไหว ดังรูปที่ 1.6



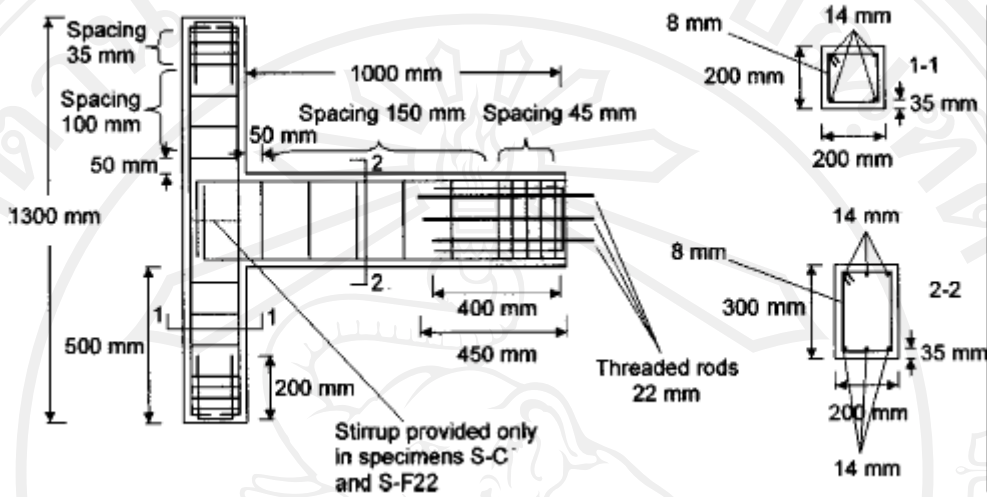
รูปที่ 1.6 รายละเอียดการเสริมเหล็กภายในจุดต่อในกลุ่มเดียวกัน (Tsonos et. al., 1992)

จากการศึกษาพบว่าจุดต่อริมอาคารที่มีการตัดเหล็กแนวตั้งเป็นแนวทแยงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงแผ่นดินไหวได้เป็นอย่างดี เนื่องจากจุดต่อชนิดนี้มีกำลังประลัย, ความเหนียว และความสามารถในการสลายพลังงานมากกว่าจุดต่อที่เสริมเหล็กแบบธรรมดา อีกทั้งวิธีนี้ยังสามารถย้ายรูปแบบการวิบัติที่จุดต่อไปวิบัติที่คานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อเทียบกับวิธีเพิ่มอัตราส่วนกำลังรับแรงดัดระหว่างเสากับคาน

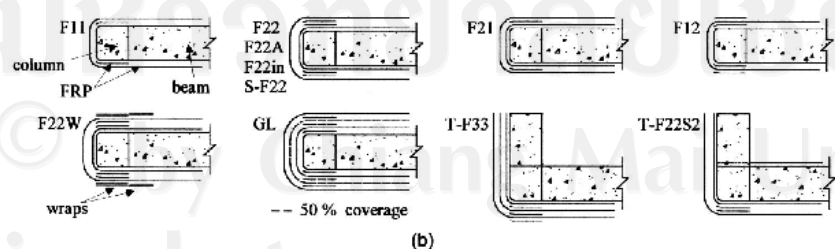
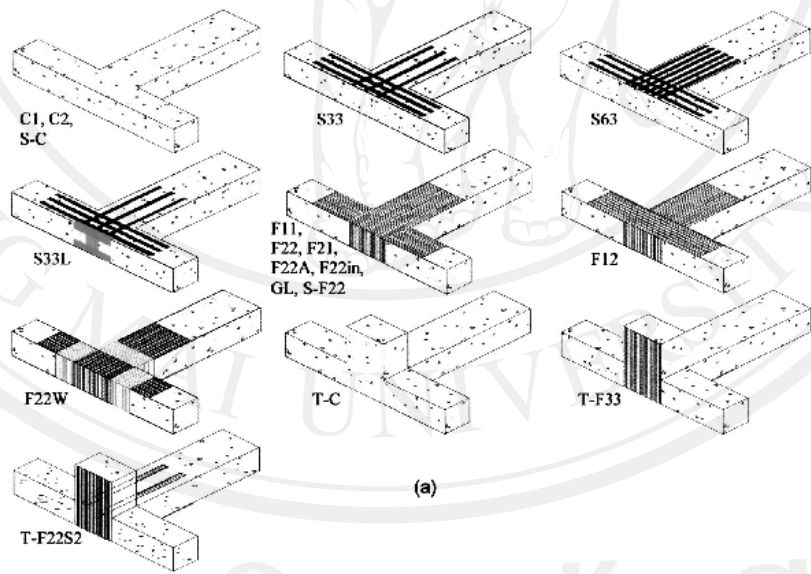
1.2.3 การศึกษาเกี่ยวกับการจุดต่อคาน-เสาคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังด้วยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์

Antonopoulos and Triantafillou (2003) ทำการศึกษาพฤติกรรมการวิบัติจากแรงเฉือนของจุดต่ออาคารภายใต้แรงวัฏจักรเมื่อเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ โดยทำการทดสอบตัวอย่างจุดต่อจำนวน 18 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวถูกออกแบบมาให้เกิดการวิบัติที่จุดต่อทั้งหมด แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบพฤติกรรมเมื่อเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ในรูปแบบต่างๆ โดยผลกระทบต่อพฤติกรรมของจุดต่อที่สนใจหลังจากการเสริมกำลัง ก็รูปแบบการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์, ปริมาณของแผ่นไฟเบอร์, จำนวนชั้นของแผ่นไฟเบอร์, ผลกระทบของแรงในแนวแกนของเสา, รูปแบบการเสียหาย, ประสิทธิภาพด้านกำลังของจุดต่อ ตลอดจนผลกระทบของการเชื่อมต่อ

ก้านตามขวาง (Transverse Beam) โดยรายละเอียดตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา พฤติกรรมต่างๆ ในครั้งนี้แสดงดังรูปที่ 1.7 และ รูปที่ 1.8 ตามลำดับ



รูปที่ 1.7 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ (Antonopoulos and Triantafillou, 2003)



รูปที่ 1.8 รูปแบบตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรม

(Antonopoulos and Triantafillou, 2003)

จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การป้องกันการหลุดร่อนของแผ่นไฟเบอร์ในระหว่างการทดสอบมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากมีผลด้านกำลัง และประสิทธิภาพในการถ่ายแรงระหว่างแผ่นไฟเบอร์กับตัวอย่างทดสอบ

2. การติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ขนาดใหญ่เพียงแผ่นเดียวให้ประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ขนาดเล็กหลายแผ่นในปริมาณไฟเบอร์เท่ากัน

3. การเพิ่มจำนวนชั้นในการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ให้ประสิทธิภาพเพิ่มไม่มากเท่าที่ควรจะเป็น อาจเป็นเพราะเกิดการเลื่อนไถลระหว่างชั้นของแผ่นไฟเบอร์เองทำให้การถ่ายแรงระหว่างชั้นไม่สมบูรณ์

4. การติดตั้งแผ่นไฟเบอร์เฉพาะบริเวณคานให้ประสิทธิภาพไม่ต่างจากการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์บริเวณเสาและคาน

5. กรณีต้องการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์มากกว่าหนึ่งชั้น ควรเรียงแนวเส้นใยหลักของไฟเบอร์ระหว่างชั้นให้ตั้งฉากกันเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างชั้น

6. แรงในแนวแกนของเสาทำให้ประสิทธิภาพในการรับแรงเฉือนของจุดต่อเพิ่มมากขึ้น

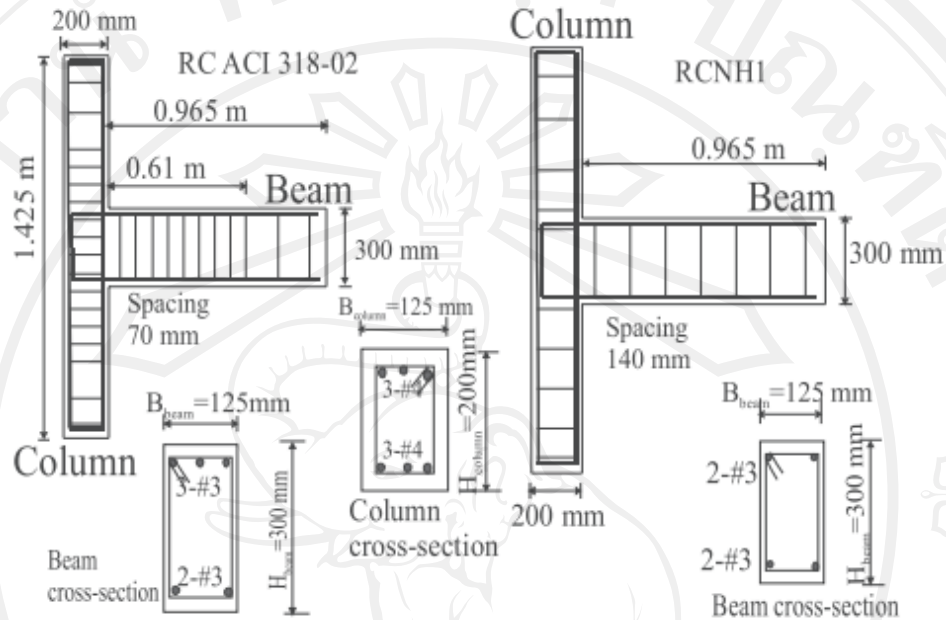
7. เมื่อนำจุดต่อที่ไม่ได้รับการซ่อมแซมหลังจากเกิดความเสียหายมาทำการเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ ผลจากการเสริมกำลังทำให้มีประสิทธิภาพด้านกำลังมากขึ้น แต่ไม่มีประสิทธิภาพด้านความเหนียว

8. เมื่อมีการเสริมกำลังด้วยแผ่นไฟเบอร์ ทำให้ความต้องการของเหล็กปลอกในจุดต่อลดลงในการรับแรงกระทำเท่ากัน

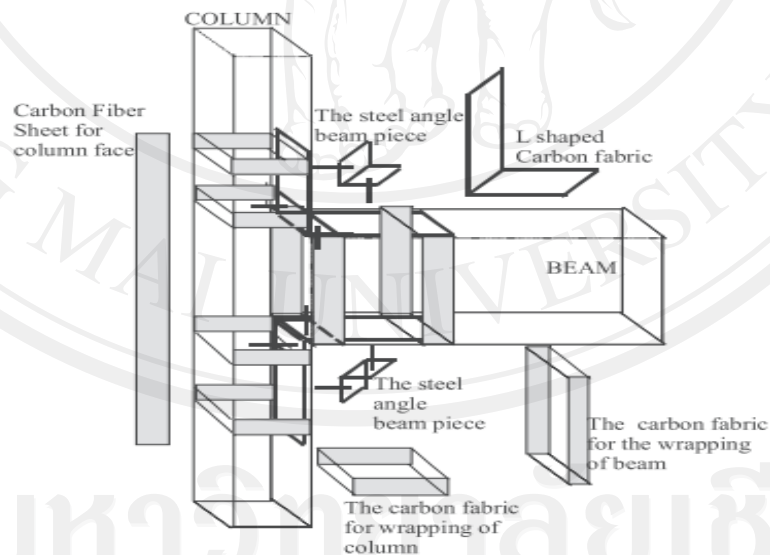
9. ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังด้วยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์จะลดลงเมื่อจุดต่อนั้นมีคานตามขวาง (transverse beam) เข้ามาเกี่ยวข้อง

Gencoglu and Mobasher (2006) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมกำลังจุดต่อริมอาคารที่ไม่ได้รับการออกแบบเพื่อรองรับแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ โดยทำการทดสอบตัวอย่างจุดต่อริมอาคารภายใต้แรงสลับทิศจำนวน 4 ตัวอย่าง ประกอบด้วยตัวอย่างที่ออกแบบตามข้อกำหนดของ ACI318-02 ส่วนอีก 3 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างจุดต่อที่สร้างก่อนข้อกำหนดปี 1970 และนำ 2 ตัวอย่างมาทำการเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ โดยตัวอย่าง RCCFRP1 คือตัวอย่างที่มีการเสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์รูปตัว L บริเวณหลังคานและท้องคาน ส่วนตัวอย่าง RCCFRP2 ได้ทำการเสริมกำลังจุดต่อโดยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ 2 ชั้น ในลักษณะเดียวกัน โดยรายละเอียด

ตัวอย่างทดสอบและรูปแบบการติดตั้งแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์แสดงดังรูปที่ 1.9 และรูปที่ 1.10 ตามลำดับ



รูปที่ 1.9 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบก่อนเสริมกำลัง (Gencoglu and Mobasher, 2006)

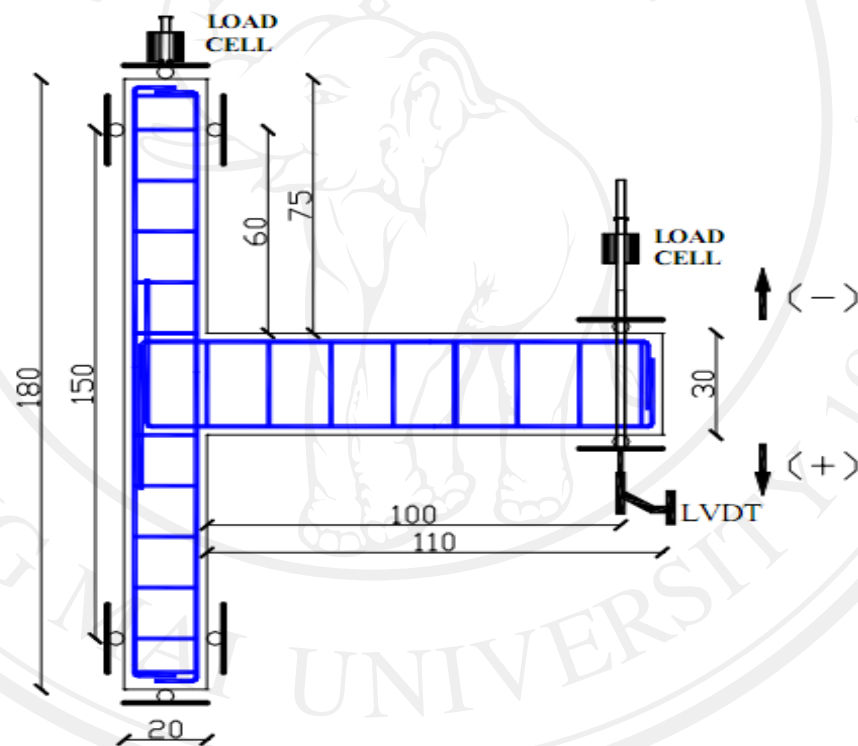


รูปที่ 1.10 รูปแบบการติดตั้งแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Gencoglu and Mobasher, 2006)

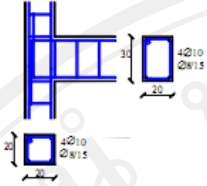
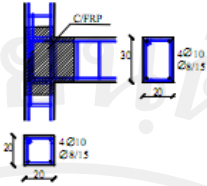
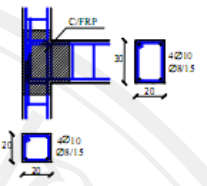
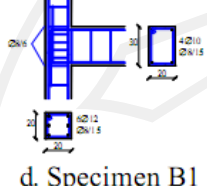
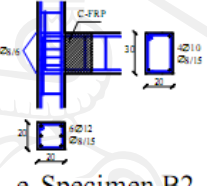
ผลการศึกษาพบว่าจุดต่อที่ได้รับการออกแบบตามข้อกำหนดของ ACI318-02 มีกำลัง ประสิทธิภาพ, ความเหนียว และความสามารถในการสลายพลังงานมากกว่าตัวอย่างจุดต่อที่สร้างก่อน ข้อกำหนดปี 1970 และเมื่อทำการเสริมกำลังตัวอย่างจุดต่อที่สร้างก่อนปี 1970 ด้วยแผ่นไฟเบอร์

ตามที่กล่าวข้างต้น พบว่าตัวอย่างจุดต่อที่มีการติดตั้งแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามปริมาณแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่เสริม อีกทั้งยังสามารถย้ายตำแหน่งการวัดจากจุดต่อไปวัดที่คานในส่วนที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ได้อีกด้วย

Karayannis and Sirkelis (2002) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมกำลังจุดต่อริมอาคารด้วยแผ่นไฟเบอร์ภายใต้แรงวัฏจักร โดยทำการทดสอบตัวอย่างจุดต่อจำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งรายละเอียดของตัวอย่างทดสอบแสดงดังรูปที่ 1.11 จากนั้นทำการแบ่งเป็นกลุ่มการทดสอบออกเป็นกลุ่มที่มีเหล็กรับแรงเฉือนในจุดต่อ กับกลุ่มที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในจุดต่อ ดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.11 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ (Karayannis and Sirkelis, 2002)

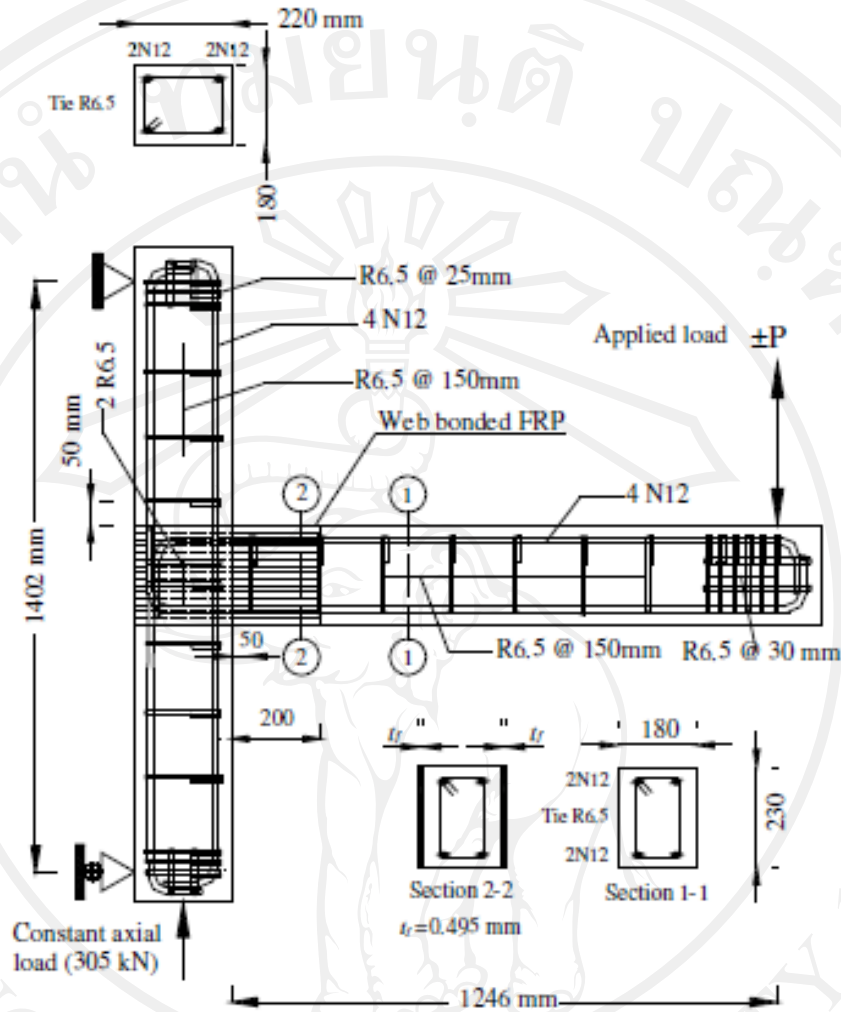
 <p>a. Specimen A1</p>	 <p>b. Specimen A2</p>	 <p>c. Specimen A3</p>
Control Specimen	Same characteristic as A1 and strengthened using CFRPs jacket	Joint A1 repaired using resin injections and CFRP jacket after the initial cyclic loading
 <p>d. Specimen B1</p>	 <p>e. Specimen B2</p>	
Control Specimen	Same characteristic as B1 and strengthened using CFRPs jacket	

รูปที่ 1.12 รายละเอียดการเสริมเหล็กในจุดต่อ และรูปแบบการเสริมกำลัง โดยแผ่นไฟเบอร์

(Karayannis and Sirkelis, 2002)

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีเหล็กรับแรงเฉือนในจุดต่อ กับกลุ่มที่ไม่มีเหล็กเสริมในจุดต่อพบว่ากำลังประลัยของทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน แต่กันที่ความเหนียวโดยกลุ่มที่มีเหล็กรับแรงเฉือนในจุดต่อมีความเหนียวมากกว่า และเมื่อทำการเสริมกำลังจุดต่อโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ทำให้จุดต่อมีความเหนียว และความสามารถในการสลายพลังงานเพิ่มขึ้นทุกตัวอย่าง รวมถึงจุดต่อที่เกิดความเสียหายแต่ได้รับการซ่อมแซมอย่างถูกต้องก่อนนำมาเสริมกำลังด้วยแผ่นไฟเบอร์ก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ไม่ต่างจากตัวอย่างที่ไม่มีการเสียหายก่อนเสริมกำลัง

Mahini and Dalalbashi (2008) ได้ทำการวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้นของจุดต่อริมอาคารเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ภายใต้แรงวัฏจักร โดยใช้โปรแกรม ANSYS และนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จำนวน 2 ตัวอย่าง ซึ่งทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างทดสอบออกเป็นตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วยแผ่นไฟเบอร์ กับตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยแผ่นไฟเบอร์ตามรายละเอียด ดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 รายละเอียดและรูปแบบการเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Mahini and Dalalbashi, 2008)

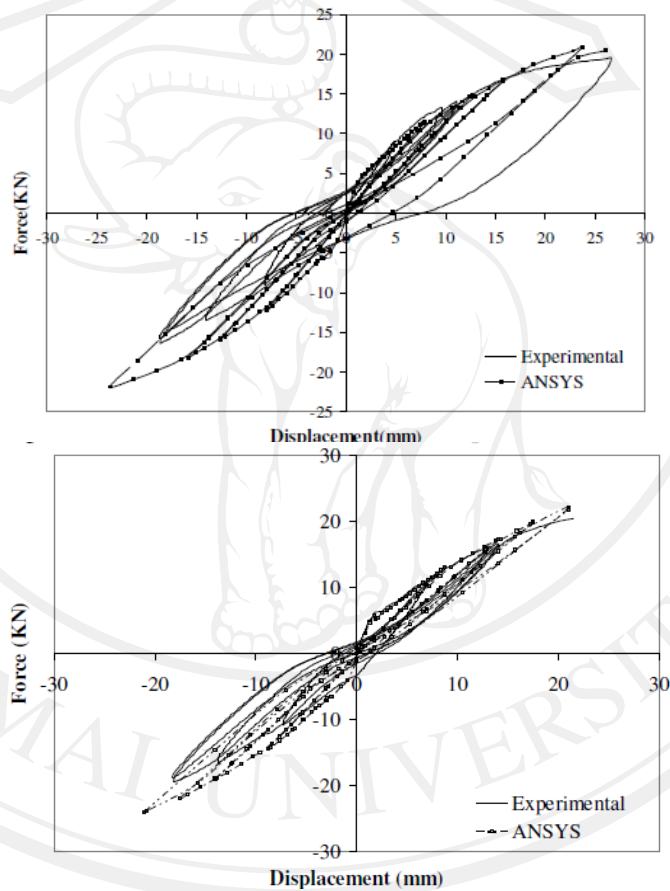
โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีความหนา 0.165 มิลลิเมตร และมีกำลังรับแรงดึงประลัยเท่ากับ 3,900 MPa. ส่วนคุณสมบัติของคอนกรีตสามารถสรุปได้ดังตารางที่

1.2

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย (Mahini and Dalalbashi, 2008)

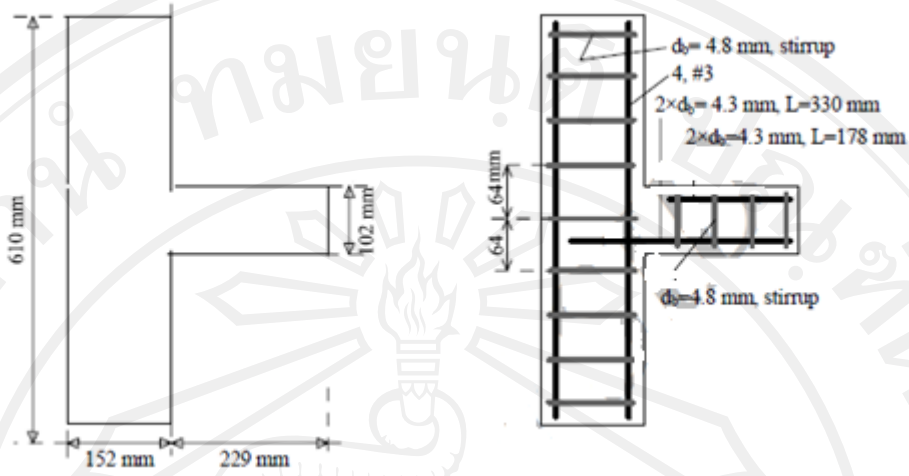
Mechanical properties of concrete			
Specimen	Compressive strength (MPa)	Modules of elasticity (GPa)	Tensile strength (MPa)
CSC1	40.73	30.17	3.29
RSC1	36.44	29.7	3.62

จากการวิเคราะห์พบว่าการใช้โปรแกรม ANSYS ศึกษาพฤติกรรมจุดต่อริมอาคารเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์นั้นให้ผลการวิเคราะห์ด้านกำลัง และรูปแบบการวิบัติใกล้เคียงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ส่วนการวิเคราะห์ระยะเคลื่อนที่ของปลายคานโดยใช้โปรแกรม ANSYS ไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แสดงผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างทดสอบที่ไม่ได้เสริมกำลัง กับตัวอย่างที่ได้รับการเสริมกำลังในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง กับ ระยะเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 1.14

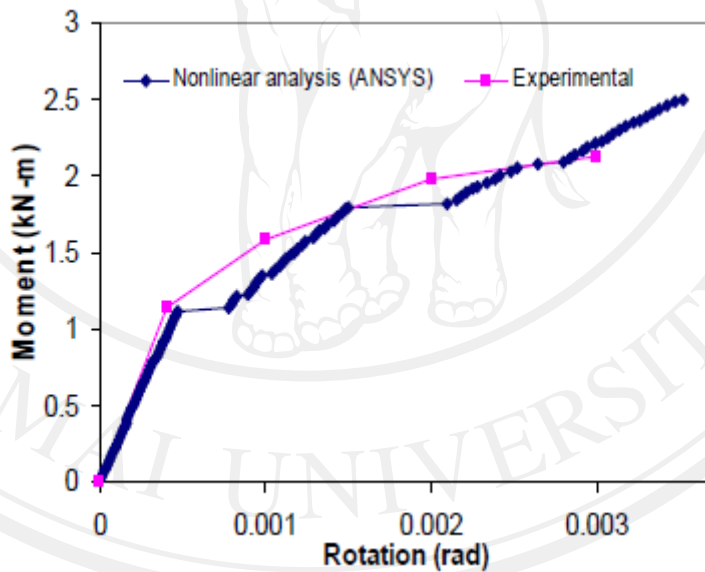


รูปที่ 1.14 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม ANSYS กับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Mahini and Dalalbashi, 2008)

Mostofinejad and Talaeitaba (2006) ได้ทำการวิเคราะห์ไฟในต้อลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้นด้วยโปรแกรม ANSYS ของจุดต่อริมอาคารเสริมกำลังโดยแผ่นไฟเบอร์ที่ติดตั้งในรูปแบบต่างๆ โดยก่อนการวิเคราะห์ได้ทำการสอบเทียบความถูกต้องผลการวิเคราะห์กับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการในตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมกำลัง ดังรูปที่ 1.15 และพบว่าผลการวิเคราะห์กับผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 1.16



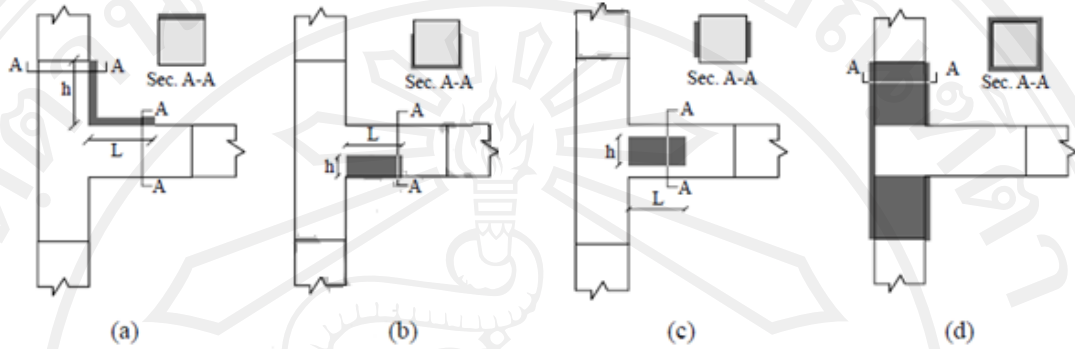
รูปที่ 1.15 รายละเอียดตัวอย่างที่นำมาสอบเทียบความถูกต้องของการวิเคราะห์โดยโปรแกรม (Mostofinejad and Talaeitaba, 2006)



รูปที่ 1.16 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรมกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Mostofinejad and Talaeitaba, 2006)

หลังจากนั้นจึงนำการวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์โดยโปรแกรม ANSYS มาใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจุดต่ออริมาการเสริมกำลัง โดยการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ในรูปแบบต่างๆ จำนวน 8 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมกำลัง 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ได้รับการเสริมกำลัง โดยการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ในรูปแบบต่างๆ จำนวน 7 ตัวอย่าง โดยมีลักษณะการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์

และรูปแบบของการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังรูปที่ 1.17 และ ตารางที่ 1.3 ตามลำดับ



รูปที่ 1.17 รูปแบบการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ (Mostofinejad and Talaeitaba, 2006)

ตารางที่ 1.3 รายละเอียดการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ (Mostofinejad and Talaeitaba, 2006)

Joint name	L-shape overlay	U-shape laminate		Both sides laminates		Column wrapping
	L (mm)	L (mm)	h (mm)	L (mm)	h (mm)	
S1	400					No
S2	400					Yes
S3		400	200			No
S4		400	200			Yes
S5				400	400	No
S6				400	400	Yes
S7						Yes

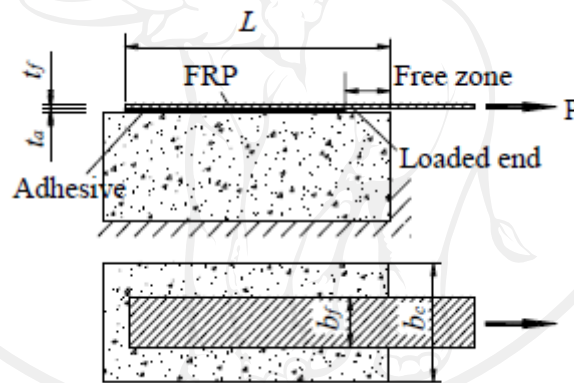
โดยแผ่นไฟเบอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้แผ่นไฟเบอร์ที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ สรุปได้ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 คุณสมบัติของแผ่นไฟเบอร์ (Mostofinejad and Talaeitaba, 2006)

Modulus of elasticity (GPa)	In fibers direction	$E_x=62$	Compressive strength (MPa)	In fibers direction	$\sigma_x = 10$	
	Perpendicular to fibers direction	$E_y=4.8$		Perpendicular to fibers direction	$\sigma_y = 152$	
		$E_z=4.8$			$\sigma_z = 232.94$	
Tensile strength (MPa)	In fibers direction	$\sigma'_x = 935$	Shear modulus (MPa)	$G_{xy}=3270$	Poisson's ratio	$\nu_{xy} = 0.22$
	Perpendicular to fibers direction	$\sigma'_y = 26$		$G_{xz}=3270$		$\nu_{xz} = 0.22$
		$\sigma'_z = 14$		$G_{yz}=1860$		$\nu_{yz} = 0.30$

จากการวิเคราะห์พบว่า การนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม ANSYS วิเคราะห์จุดต่อริมาการให้ค่าผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ และเมื่อนำการวิเคราะห์มาใช้วิเคราะห์จุดต่อริมาการเสริมกำลังโดยการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ในรูปแบบต่างๆ พบว่าตัวอย่างที่มีการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ในลักษณะรูปตัว L ร่วมกับการติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ที่เสา (ตัวอย่าง S2) และตัวอย่างที่ติดตั้งแผ่นไฟเบอร์ในลักษณะตัว U (ตัวอย่าง S3) ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดทั้งด้านกำลัง และความเหนียวเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นที่ได้ทดสอบ

Lu et. al. (2004) ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการยึดเหนี่ยวระหว่างผิวคอนกรีตกับผิวของแผ่นไฟเบอร์ภายใต้แรงเฉือนของโครงสร้างขนาดกลาง โดยใช้ฮ็อทช็อกในการเชื่อมประสาน ดังรูปที่ 1.18

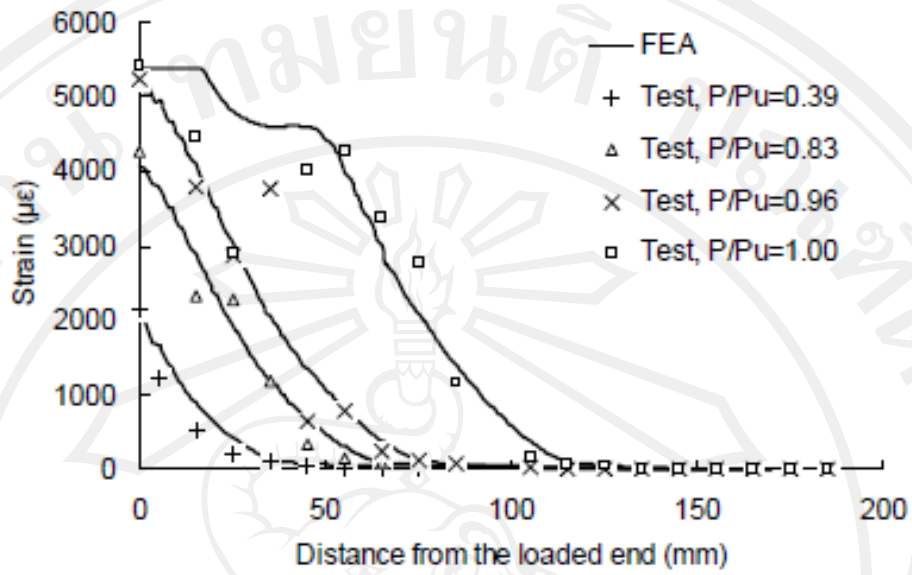


รูปที่ 1.18 รูปแบบการทดสอบพฤติกรรมการยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีต กับแผ่นไฟเบอร์

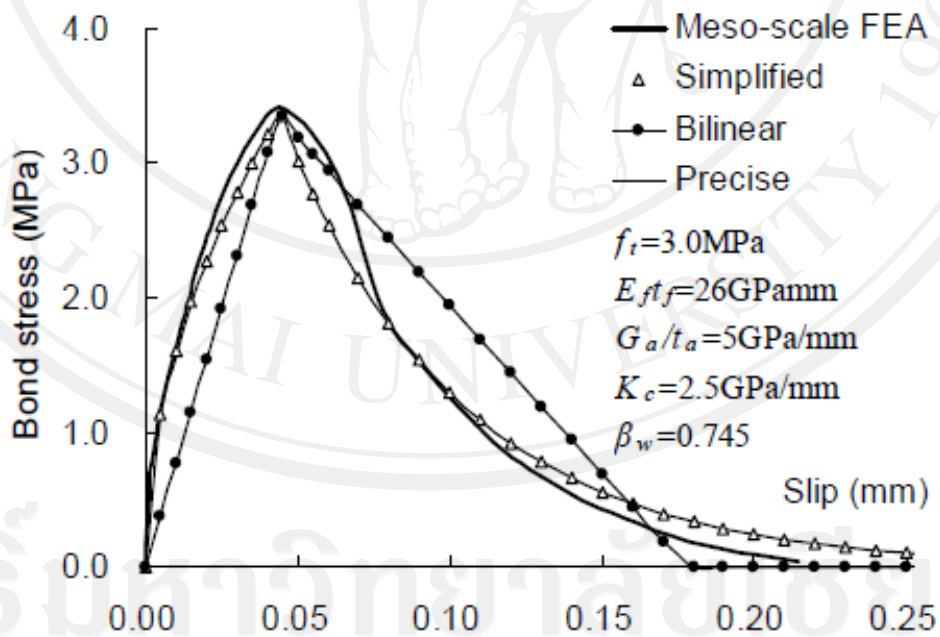
(Lu et. al., 2004)

การศึกษาค้างนี้ได้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยได้มีการสอบเทียบความแม่นยำกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนและพบว่าให้ผลการเปรียบเทียบที่แม่นยำดังแสดงในรูปที่ 1.19 หลังจากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองที่มีความแตกต่างในด้านคุณสมบัติวัสดุ 3 รูปแบบ ประกอบด้วยแบบจำลอง Simplified, Bilinear, Precise เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำกับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้สอบเทียบความแม่นยำมาแล้ว ดังรูปที่ 1.20 และสามารถแสดงรูปแบบความเสียหายของแบบจำลองได้ดังรูปที่ 1.21

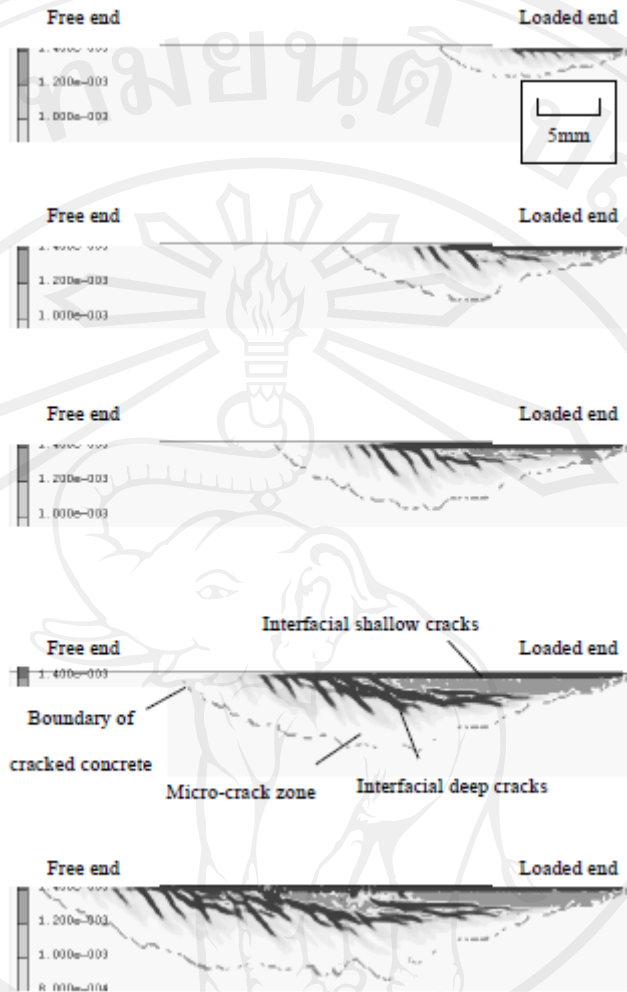
ผลการศึกษาพบว่า การใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการศึกษาพฤติกรรมการยึดเหนี่ยวระหว่างผิวคอนกรีตกับแผ่นไฟเบอร์โดยมีฮ็อทช็อกเป็นสารเคลือบประสานให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ ในด้านรูปแบบการเสียหาย และความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างการรับแรงเฉือน



รูปที่ 1.19 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์กับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Lu et. al., 2004)



รูปที่ 1.20 Bond Slip Curve (Lu et. al., 2004)



รูปที่ 1.21 รูปแบบความเสียหายจากแรงเฉือนของผิวคอนกรีต กับ แผ่นไฟเบอร์

(Lu et. al., 2004)

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อประยุกต์การใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้นมาวิเคราะห์จุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมจุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมที่ไม่ได้รับการเสริมกำลัง ด้วยการเสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ภายใต้แรงวัฏจักร

1.3.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการเสริมกำลังจุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์

1.3.4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเสริมกำลังจุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้นมาใช้วิเคราะห์จุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้

1.4.2 ทราบพฤติกรรมจุดของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีพฤติกรรมแบบคานแข็ง-เสาอ่อน เมื่อรับแรงวัฏจักรในกรณีที่ไม่ได้เสริมกำลัง และเสริมกำลัง โดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์

1.4.3 ทราบประสิทธิภาพในการเสริมกำลังจุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ในรูปแบบต่างๆ

1.4.4 มีข้อมูลในการเสริมกำลังจุดต่ออาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาจุดต่ออาคารที่มีพฤติกรรมการวิบัติแบบคานแข็ง-เสาอ่อนเช่นเดียวกับจุดต่ออาคารในอำเภอเมืองเชียงใหม่

1.5.2 ทำการวิเคราะห์จุดต่ออาคารวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม ANSYS Version 11 จำนวน 10 ตัวอย่าง ประกอบด้วยแบบจำลองจุดต่อริมอาคารไม่เสริมกำลัง, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่เสา, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่เสาคาน, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ใยแก้วที่เสา, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ใยแก้วที่เสาคาน, จุดต่อภายในอาคารไม่เสริมกำลัง, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่เสา, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่เสาคาน, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ใยแก้วที่เสา, เสริมกำลังโดยการหุ้มแผ่นไฟเบอร์ใยแก้วที่เสาคาน

1.5.3 สมมุติให้ไม่มีการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

1.5.4 สมมุติให้ไม่มีการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นของแผ่นไฟเบอร์

1.5.5 ให้ระยะเคลื่อนที่แบบวัฏจักรตามข้อเสนอแนะของ ACI T1.1-01

1.5.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองจุดต่อริมอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กไม่เสริมกำลัง กับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.5.7 ทำการวิเคราะห์รูปแบบการวิบัติ, กำลังรับแรงแนวราบสูงสุด, ความเหนียว, ความเสื่อมถอยของ สดไฟเนส, ความสามารถในการดูดซับพลังงาน และความเครียดของเหล็กเสริมคานบริเวณจุดต่อ