

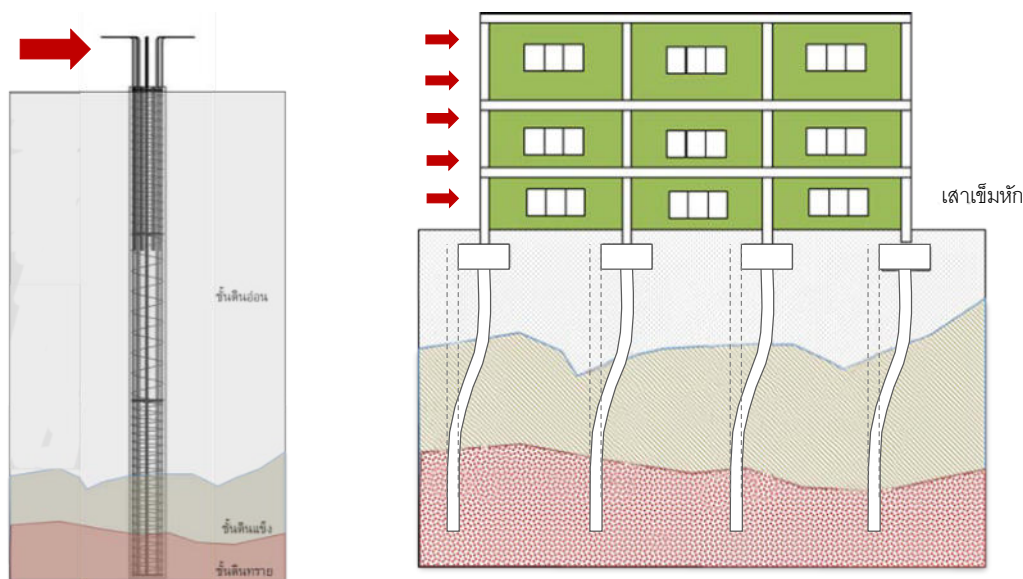


บทที่ 1

เสาเข็ม (PILES)

ส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างอาคาร คือ ฐานรากซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใต้ดิน และส่วนที่อยู่ลึกลงไปใต้ดินก็คือเสาเข็ม โดยทั่วไปแล้ววิศวกรอาจจะไม่ค่อยได้ให้ความสนใจหรือให้ความสำคัญกับการเสริมเหล็กในเสาเข็มเพื่อต้านแผ่นดินไหวมากนัก สาเหตุหนึ่งอาจเป็นเพราะเสาเข็มอยู่ใต้ดิน ไม่ปรากฏความเสียหายที่เห็นได้ชัดเจนเมื่อเกิดแผ่นดินไหว ถึงแม้ว่าเสาเข็มจะฝังอยู่ในดิน แต่ก็ถือเป็นส่วนที่สำคัญของโครงสร้างอาคาร เนื่องจากเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของอาคาร นอกจากนี้เมื่อมีแผ่นดินไหว ทำให้อาคารมีการสั่นสะเทือน และทำให้แรงแผ่นดินไหวถ่ายเข้าสู่เสาเข็ม ดังนั้นเสาเข็มจึงเป็นส่วนสำคัญต่อการต้านแรงแผ่นดินไหว

หน้าที่หลักของเสาเข็มคือการรองรับน้ำหนักของตัวอาคารและถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป เมื่อมีแรงกระทำจากแผ่นดินไหว ส่งผลให้เสาเข็มต้องรับแรงกระทำทางด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 1.1 อาจทำให้เสาเข็มดัดงอ แตกหักหรือได้รับความเสียหายได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการต้านทานโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม จึงจำเป็นต้องมีการเสริมเหล็กยืนและเหล็กปลอกในเสาเข็มในปริมาณที่มากกว่าปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำที่กำหนดในมาตรฐาน วสท. (เช่น มาตรฐาน วสท. กำหนดอัตราส่วนเหล็กเสริมยืนขั้นต่ำในเสาเข็มเจาะเท่ากับ 0.5% ของพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มเจาะ)

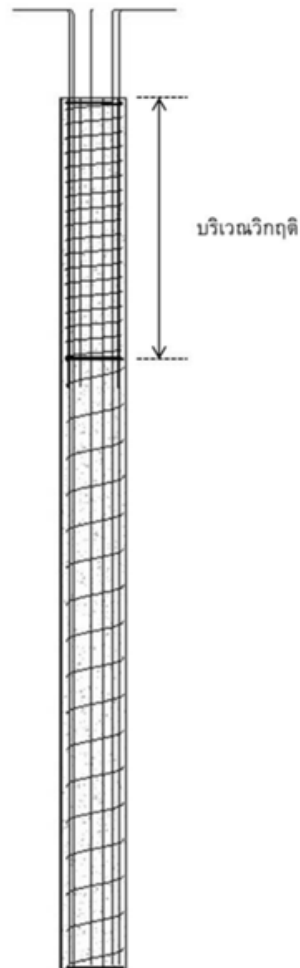


รูปที่ 1.1 เสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแผ่นดินไหว

1.1 การเสริมเหล็กปลอกในเสาเข็มเจาะที่บริเวณหัวเสาเข็ม

แรงกระทำที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวหรือแรงกระทำทางด้านข้างจะส่งผลต่อเสาเข็ม โดยทำให้เกิดโมเมนต์และแรงเฉือนในเสาเข็มโดยเฉพาะที่บริเวณปลายด้านบนซึ่งยึดกับฐานรากจะเป็นบริเวณที่มีการดัดงอของเสาเข็มมากที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงให้แก่เสาเข็มเพื่อต้านแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่บริเวณหัวเสาเข็มหรือในที่นี้เรียกว่า **บริเวณวิกฤติ (Critical Region)** ดังรูปที่ 1.2 การเสริมเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤตินี้ให้อ้างอิงจาก มยผ.1302 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ซึ่งระบุว่า สำหรับเสาเข็มคอนกรีตของอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวแบบ ค ต้องเสริมเหล็กตามขวางตลอดระยะเสริมเหล็กชั้น

ดำซึ่งวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา โดยเหล็กเสริมตามยาวข้างต้นต้องวางเลยจากตำแหน่งระยะเสริมเหล็กชั้นต่อไปอีกเท่ากับระยะฝังยึดรับแรงดึง



รูปที่ 1.2 เสาเข็มเจาะจำเป็นต้องเสริมเหล็กปลอกเพื่อต้านแผ่นดินไหว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณวิกฤติ ซึ่งมีความยาวเท่ากับ 3D หรือ 7D ขึ้นอยู่กับประเภทการออกแบบอาคาร (เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม) ดูรายละเอียดได้จาก มยผ.1302

ภายในบริเวณวิกฤติซึ่งวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา เหล็กปลอกเดี่ยวแบบวงปิดหรือเหล็กปลอกเกลียวต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 9 มม. โดยมีระยะเรียงไม่เกิน 150 มม. หรือ 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามยาว ทั้งนี้ความยาววิกฤติข้างต้นให้ใช้ค่ามากกว่าระหว่าง

- (1) 1 ใน 3 ของความยาวเสาเข็ม
- (2) 3 เมตร
- (3) สามเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม
- (4) ความยาวเชิงดัดของเสาเข็ม¹

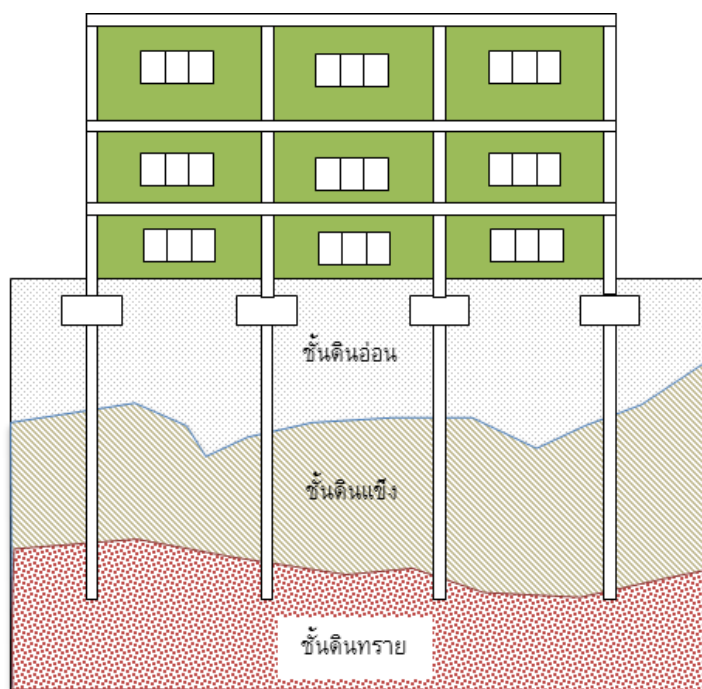
ตลอดความยาวที่เหลือของระยะเสริมเหล็กชั้นต่ำ ระยะเรียงของเหล็กปลอกต้องไม่เกิน 16 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กตามยาว สำหรับความยาวของระยะเสริมเหล็กชั้นต่ำวัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็ม

สำหรับรายละเอียดการเสริมเหล็กอื่นๆ ในเสาเข็มเช่น เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก มยผ.1302 มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว กรมโยธาธิการและผังเมือง

1.2 การเสริมเหล็กปลอกพิเศษในเสาเข็มเจาะในบริเวณที่แผ่นดินไหวรุนแรงมาก (สำหรับอาคารที่มีประเภทการออกแบบต้านแผ่นดินไหวแบบ ง)

เสาเข็มโดยทั่วไปนั้นจะมีความยาวมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเสาเข็มในชั้นดินอ่อน เนื่องจากต้องรับน้ำหนักของอาคาร ซึ่งอาจทำให้เสาเข็มต้องฝังผ่านชั้นดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวแข็ง และปลายเสาเข็มต้องวางอยู่ในชั้นดินทรายหรือดินเหนียวแข็ง ดังรูปที่ 1.3 เนื่องจากดินในแต่ละชั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการเสียรูปที่ไม่สอดคล้องกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นดิน เป็นผลให้มีการดัดตัวของเสาเข็มอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นดิน ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเสาเข็ม มาตรฐาน มยผ.1302 จึงกำหนดการเสริมเหล็กปลอกในบริเวณดังกล่าวเป็นพิเศษดังต่อไปนี้

¹ หมายถึง ความยาววัดจากผิวของแท่นหัวเข็มถึงตำแหน่งที่ค่าโมเมนต์ดัดกร้าวของหน้าตัดเมื่อคูณด้วย 0.4 แล้วมีค่าเกินกว่าโมเมนต์ปรับค่าที่เกิดจากรวมแรงแผ่นดินไหวกับน้ำหนักบรรทุกในแนวตั้ง



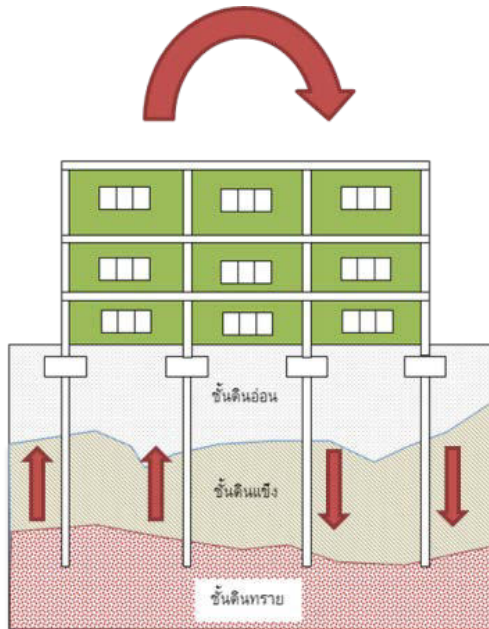
รูปที่ 1.3 สภาพธรณีชั้นดิน

เมื่อใช้เสาเข็มคอนกรีตในบริเวณที่แผ่นดินไหวรุนแรงมาก จะต้องใส่เหล็กปลอกตามที่กำหนดใน มยผ.1302 ตลอดระยะ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มที่บริเวณปลายด้านบนของเสาเข็ม วัดจากผิวล่างของแท่นหัวเข็มลงมา และที่รอยต่อระหว่างชั้นดินที่แข็งกับชั้นดินที่มีโอกาสเกิด Liquefaction หรือที่รอยต่อระหว่างชั้นดินที่แข็งกับชั้นดินที่เป็นดินเหนียวอ่อนจนถึงดินเหนียวแข็งปานกลาง โดยบริเวณที่ต้องจัดรายละเอียดให้มีความเหนียวนี้ให้วัดจากรอยต่อขึ้นไปเป็นระยะ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม และวัดจากรอยต่อลงมาเป็นระยะ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

1.3 การเสริมเหล็กเดือยยึดเสาเข็มกับแท่นหัวเข็ม

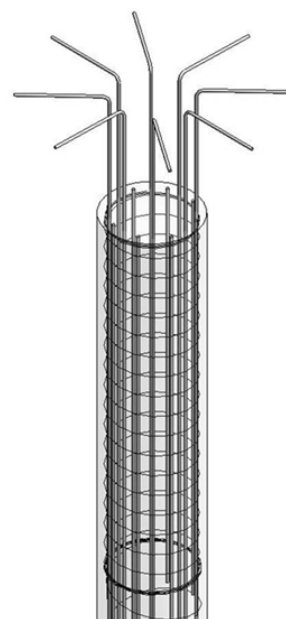
เมื่อโครงสร้างรับแรงกระทำจากแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นแรงกระทำทางด้านข้างผลักอาคารให้พลิกคว่ำลง จะทำให้เกิดแรงกดลงที่ปลายด้านหนึ่งของอาคาร และเกิดแรงดึงถอนที่ปลายของอาคารที่อยู่ด้านตรงกันข้าม โมเมนต์พลิกคว่ำนี้ทำให้เสาเข็มบางส่วนต้องรับแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 1.4 องค์ประกอบอย่างหนึ่งของโครงสร้างคือการยึดเสาเข็มกับฐานราก (แท่นหัวเข็ม) ให้เป็นส่วนเดียวกัน ไม่หลุดออกจากกัน ซึ่งต้องอาศัย “การเสริมเหล็กเดือยที่หัวเสาเข็ม” ดังรูปที่ 1.5 เพื่อให้้องค์อาคาร

สามารถถ่ายแรงดึงเข้าสู่เสาเข็มได้ และเพื่อให้สามารถรองรับการถ่ายโมเมนต์ระหว่างฐานรากและเสาเข็ม ซึ่งจะทำให้ฐานรากและเสาเข็มไม่หลุดออกจากกันเมื่อเกิดแผ่นดินไหว



ที่มา: <http://chinnawatjj.blogspot.com>

รูปที่ 1.4 โมเมนต์ที่ทำให้อาคารพลิกคว่ำ



รูปที่ 1.5 การเสริมเหล็กเดียวในเสาเข็ม



บทที่ 2

เสา (COLUMN)

เสาเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากต้องแบกรับน้ำหนักของอาคารทั้งหลัง เมื่อเสาเกิดการวิบัติหรือพังทลาย อาจส่งผลให้โครงสร้างทั้งหลังพังถล่มลงมาได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเสริมความแข็งแรงและความเหนียวให้แก่เสา เพื่อให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่จะเกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการเสริมเหล็กในเสาอาคารที่ยังไม่ได้ก่อสร้างและที่ก่อสร้างไปแล้ว โดยหลักการที่คล้ายๆกัน คือ เพิ่มกำลังรับแรงและความเหนียวให้แก่เสา

เสวอาคารที่ก่อสร้างในประเทศไทย หรือประเทศที่แผ่นดินไหวเป็นภัยที่ไม่เด่นชัด (รูปที่ 2.1) มักมีขนาดเล็ก ใส่เหล็กเสริมน้อย เนื่องจากการออกแบบที่ผ่านมาไม่ได้คำนึงถึงแรงแผ่นดินไหว ดังนั้นเมื่อมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้น เสวเหล่านี้จะมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงจนอาจทำให้เสวขาดหรือเกิดการวิบัติได้ ลักษณะการวิบัติในเสวได้แก่การเกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ในเสว คอนกรีตกะเทาะหลุดออกมา เหล็กเสริมดุ้งหรือขาด ความเสียหายที่เกิดขึ้นแก่เสวมักเกิดขึ้นที่บริเวณโคนเสว หรือ หัวเสว ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 อาคารที่วิบัติเนื่องจากแผ่นดินไหว สำหรับ 2010 Haiti Earthquake ขนาด 7.0 เนื่องจากเสวมี่ขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน รวมถึงมีการเสริมเหล็กในเสวและจุดต่อไม่เหมาะสม

(ที่มา : <http://www.eqclearinghouse.org/co/20100112-haiti>)



รูปที่ 2.2 (ก) เสวรับแรงอัดเนื่องจากแผ่นดินไหว และอัดระเบิดที่โคนเสว เนื่องจาก 1979 Imperial Valley Earthquake ขนาด 6.4

(ที่มา : <https://nisee.berkeley.edu/elibrary/index.jsp>)

การวิบัติของเสาเกิดขึ้นใน 4 ขั้นตอนดังนี้

1. แผ่นดินไหวทำให้คอนกรีตแตกกระเปาะที่หัวเสาและโคนเสา (รูปที่ 2.2 (ก))
2. คอนกรีตที่แตกกระเปาะเป่งออกหรือดันให้เหล็กแกนคด และเหล็กปลอกง้างออก
3. เมื่อเหล็กแกนคด โครงสร้างจะทรุดลงเนื่องจากน้ำหนักที่เสาต้องแบกรับไว้กดเหล็กเสริม
4. หากคอนกรีตแตกกระเปาะถึงเนื้อในและหลุดออกมา โครงสร้างจะยึดกันอยู่ด้วยเหล็กแกนเท่านั้น ซึ่งถือว่าเสาขาด โครงสร้างจะทรุดตัวอย่างมาก และถล่มลงมา (รูปที่ 2.2 (ข))

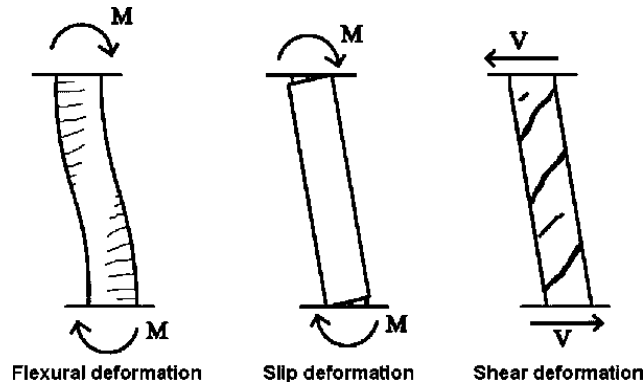


รูปที่ 2.2 (ข) การวิบัติของเสาเนื่องจากการเฉือน จนเหนี่ยวนำให้เกิดการวิบัติของอาคาร สำหรับ 1995 Kobe Earthquake ขนาด 8 เนื่องจากปริมาณเหล็กเสริมตามขวางที่น้อยเกินไป (ที่มา : <https://nisee.berkeley.edu/elibrary/index.jsp>)

2.1 บริเวณที่ต้องเสริมเหล็กปลอกในเสา

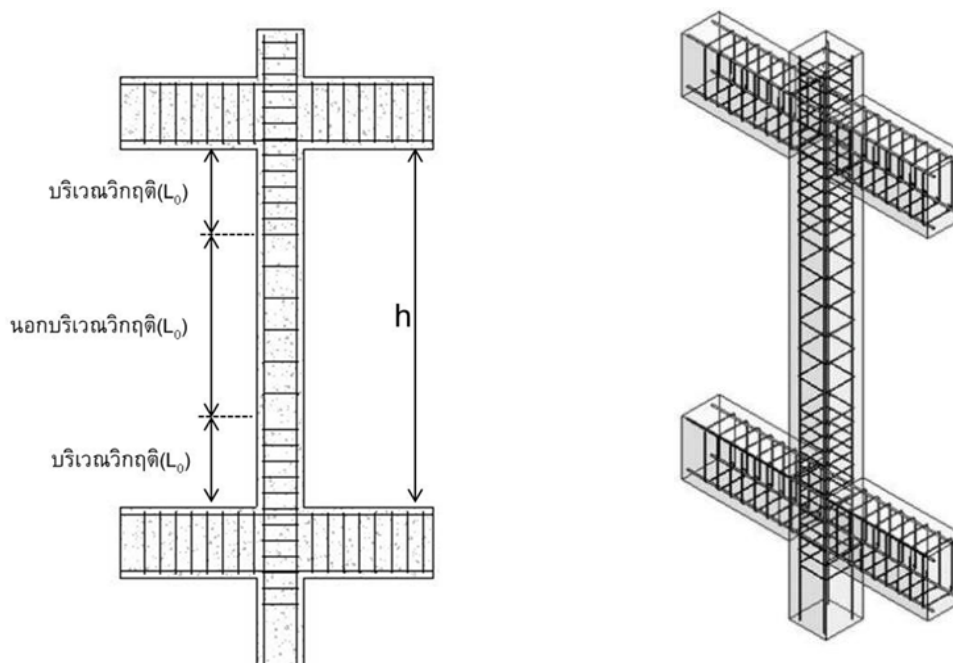
เสามีหน้าที่หลักคือรับน้ำหนักในแนวตั้งของโครงสร้างอาคาร เมื่อเกิดแผ่นดินไหวเสาต้องรับแรงกระทำทางด้านข้างด้วย (รูปที่ 2.3) ทำให้เสาเกิดการสั่นสะเทือนและหากการสั่นสะเทือนนั้นรุนแรง จะทำให้คอนกรีตกะเทาะหลุดออกมา จนเหล็กเสริมดิ่งหรือบิดเสียรูป และทำให้โครงสร้างไม่สามารถรองรับน้ำหนักได้อีกต่อไป ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการวิบัติของเสา จะต้องเสริมเหล็กปลอกในช่วงระยะวิกฤติ (L_0) ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดโมเมนต์ดัดมากที่สุด ซึ่งตามมาตรฐาน มยผ.1301-54 กำหนดความยาวระยะวิกฤติไว้ต้องไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

- (ก) 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา
- (ข) มิตินี้มากที่สุดของหน้าตัดเสา
- (ค) 500 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3 รูปแบบการวิบัติในเสา

ที่มา: Model for the Lateral Behavior of Reinforced Concrete Columns Including Shear Deformations
(Eric J. Setzlera and Halil Sezena)

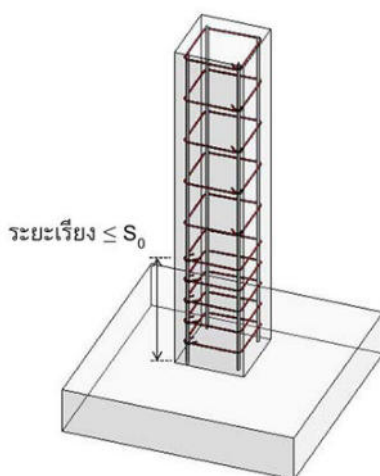


รูปที่ 2.4 บริเวณที่ต้องเสริมเหล็กปลอกในระยะวิกฤต

2.2 การเสริมเหล็กปลอกในเสาและระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติ

สำหรับการเสริมเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติของเสา มาตรฐาน มยผ.1301-54 กำหนดไว้ว่า ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวที่มีระยะห่างไม่เกิน S_0 ตลอดความยาวระยะวิกฤติ (L_0) ที่วัดจากขอบของข้อต่อ โดยที่ระยะ S_0 จะต้องไม่มากกว่าระยะดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 2.5)

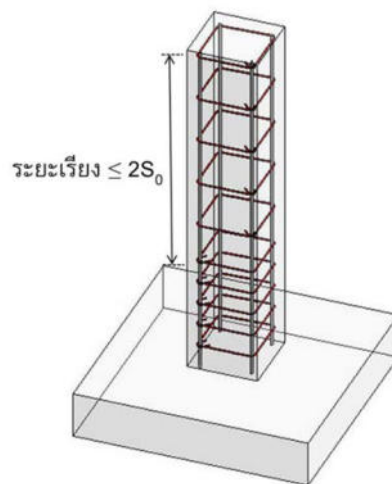
- (ก) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด
- (ข) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- (ค) ครึ่งหนึ่งของมิติที่เล็กที่สุดของหน้าตัดเสา
- (ง) 300 มิลลิเมตร



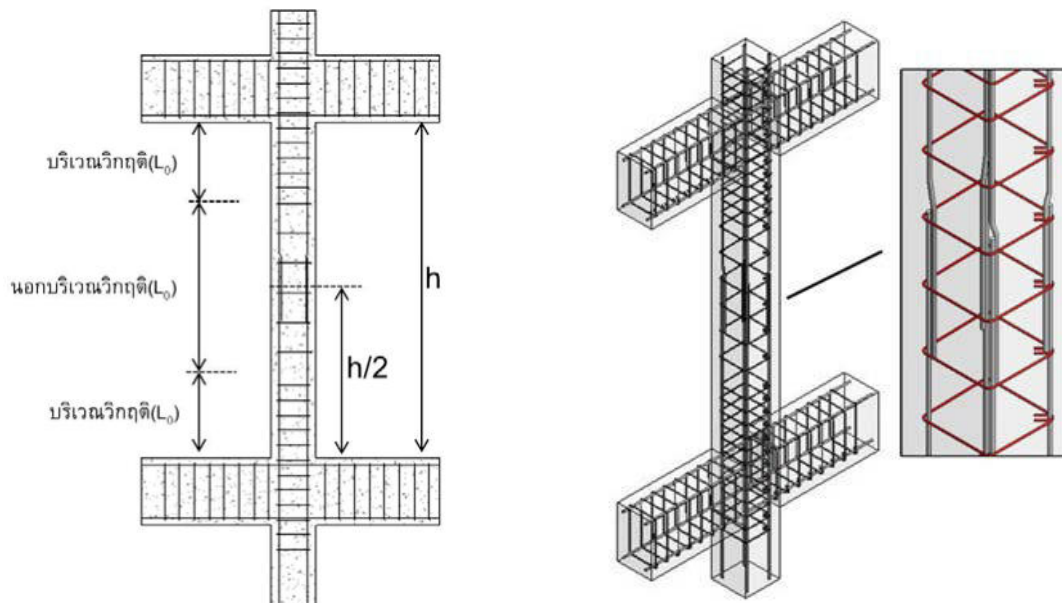
รูปที่ 2.5 ระยะเรียงเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติ

2.3 การเสริมเหล็กปลอกในเสาและระยะเรียงของเหล็กปลอกนอกบริเวณวิกฤติ

การเสริมเหล็กในเสานอกบริเวณวิกฤติ ตามมาตรฐาน มยผ.1301-54 กำหนดว่า เหล็กยืนทุกเส้นจะต้องมีเหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มิลลิเมตร พันโดยรอบ โดยมีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่เกิน 2 เท่าของระยะเรียงเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติ (S_0) (ดูรูปที่ 2.6) และจะต้องจัดให้มุมของเหล็กปลอกยึดเหล็กยืนทุกมุม



รูปที่ 2.6 ระยะเรียงเหล็กปลอกนอกบริเวณวิกฤติ



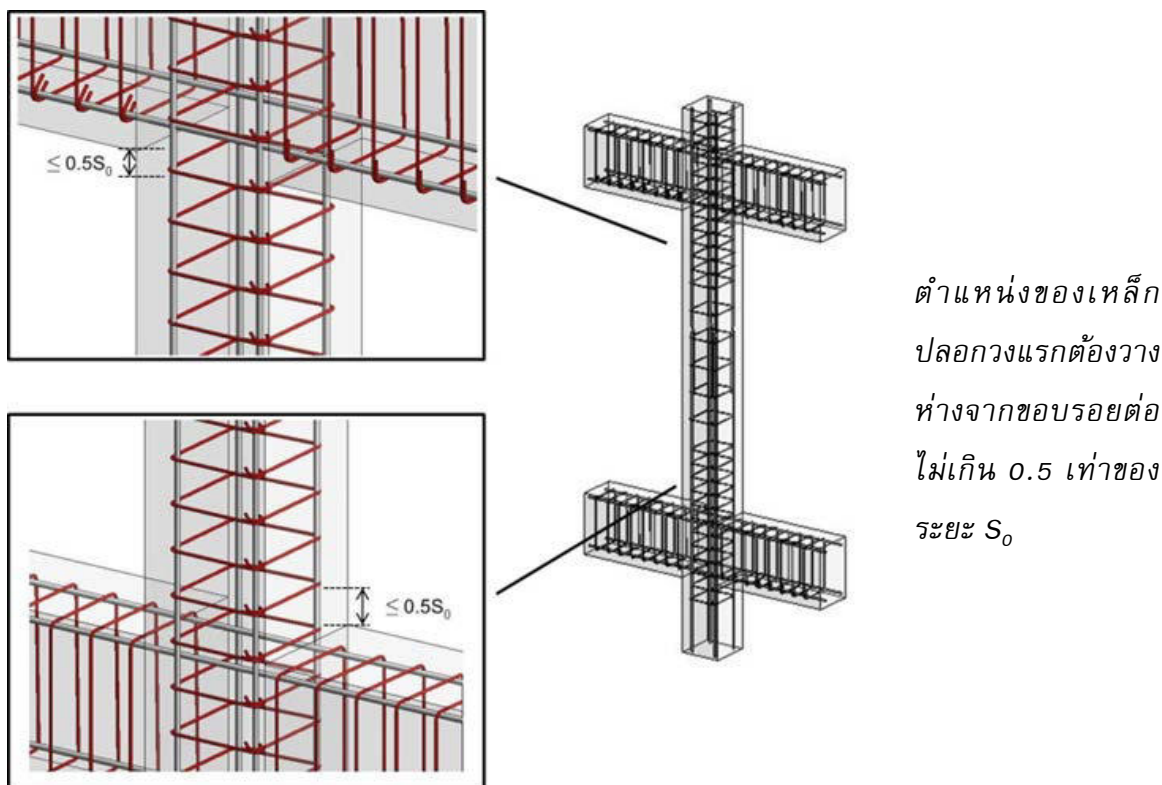
รูปที่ 2.7 การต่อทาบเหล็กยื่นในเสาควรต่อในบริเวณกลางเสาหรือนอกบริเวณวิกฤติ

2.4 การทาบเหล็กยื่นในเสาและระยะทาบเหล็ก

การต่อทาบเหล็กเสริม โดยทั่วไปอาคารที่ไม่ได้ออกแบบรับแรงแผ่นดินไหว บริเวณที่ทำการต่อทาบเหล็กจะอยู่ที่โคนเสาในชั้นต่างๆของอาคาร ซึ่งถือว่าเป็นบริเวณวิกฤติเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์สูงภายใต้แรงแผ่นดินไหว เพื่อหลีกเลี่ยงการวิบัติในบริเวณดังกล่าว มาตรฐาน มยผ. 1301-54 ได้กำหนดให้ทำการต่อทาบเหล็กยื่นที่บริเวณช่วงกลางความสูงของเสา ($h/2$) ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.5 ตำแหน่งของเหล็กปลอกวงแรกในเสา

ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มยผ. 1301-54 กำหนดตำแหน่งของเหล็กปลอกเสาวงแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบรอยต่อไม่เกิน 0.5 เท่าของระยะเรียงเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติ (S_0) ดังรูปที่ 2.8 โดยระยะเรียงเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติสามารถพิจารณาได้จากหัวข้อที่ 2.2



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งของเหล็กปลอกวงแรก

2.6 การเสริมเหล็กปลอกในเสาตอม่อหรือเสาใต้ถุนบ้าน

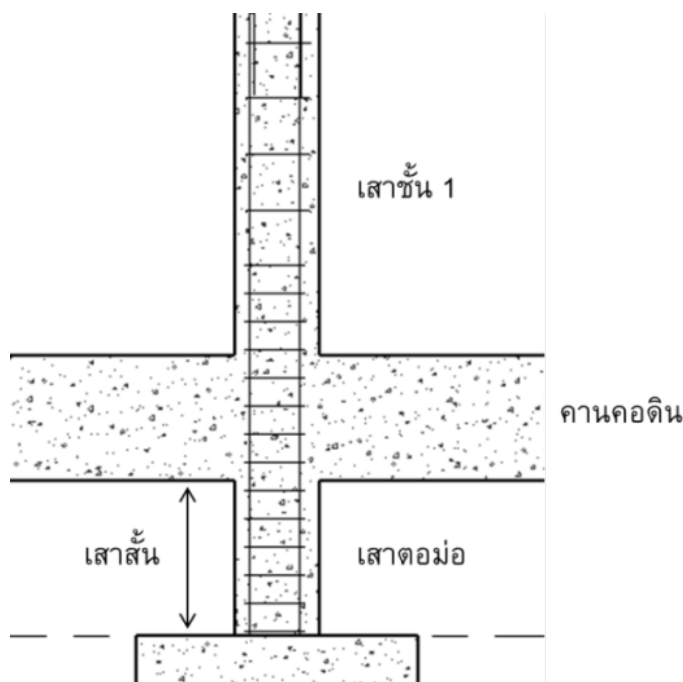
เสาตอม่อ เป็นส่วนประกอบหนึ่งซึ่งมีความสำคัญสำหรับโครงสร้างอาคาร ดังรูปที่ 2.9 (ก) หน้าที่ของเสาตอม่อคือการรองรับน้ำหนักของตัวอาคารที่อยู่เหนือพื้นดินแล้วถ่ายน้ำหนักนั้นลงสู่ฐานรากต่อไป นอกจากนั้นเสาตอม่อยังใช้สำหรับปรับระดับความสูงของพื้นบ้านหรืออาคารให้ได้ระดับตามที่กำหนดไว้ในแบบ โดยทั่วไปแล้วเสาตอม่อจะจมอยู่ใต้ดินและมีความสูงไม่มากนัก จึงมีลักษณะเป็น “เสาสั้น (Short Column)” โดยรูปที่ 2.9 (ก) แสดงลักษณะของเสาสั้นสำหรับบ้านเรือนทั่วไปในประเทศไทย



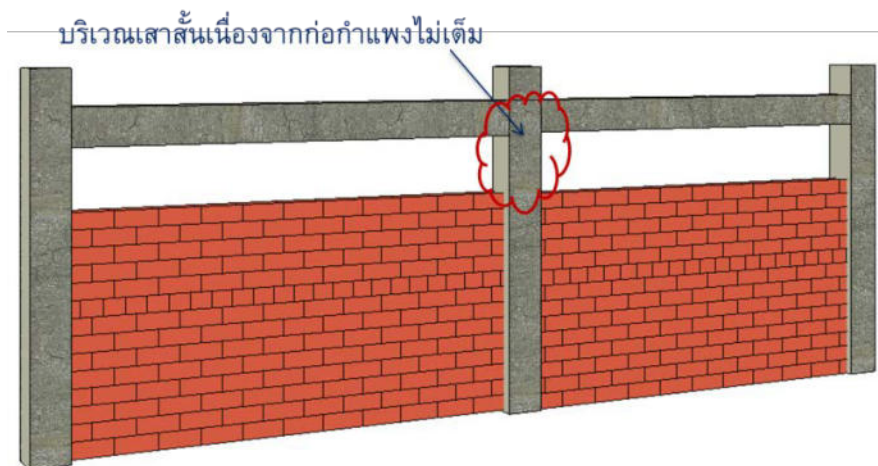
รูปที่ 2.9 (ก) ลักษณะของตอม่อในบ้านเรือนทั่วไปในประเทศไทย โดยในรูปเป็นบ้านที่ได้รับความเสียหายจากเหตุแผ่นดินไหวที่เชียงรายเมื่อ พ.ศ.2557 และได้รับการเสริมกำลังโดยการขยายหน้าตัดแล้ว

โดยปกติเส้าตอม่อหรือเสาสั้นนั้น จะมีความแข็งแรงหรือสติฟเนสสูงแต่มีความเหนียวต่ำ (เนื่องจากเสริมเหล็กปลอกน้อย) ส่งผลให้เมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหวมากกระทำกับอาคาร เส้าตอม่อหรือเสาสั้นจะเกิดการวิบัติได้สองรูปแบบ คือ (ก) การวิบัติเฉือน และ (ข) การวิบัติแบบดัด ซึ่งเป็นการวิบัติที่เกิดขึ้นที่โคนเสาและหัวเสา

เนื่องจากเส้าตอม่อเป็นโครงสร้างสำคัญที่รองรับน้ำหนักของอาคารทั้งหลัง ดังนั้น หากเส้าตอม่อเกิดการวิบัติไปอาจส่งผลให้อาคารทั้งหลังถล่มลงมาได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการวิบัติที่จะเกิดขึ้นกับเส้าตอม่อ จำเป็นต้องเพิ่มเหล็กปลอกเพื่อเพิ่มความเหนียวให้แก่เส้าตอม่อ สำหรับระยะเรียงของเหล็กปลอกในเส้าตอม่อ (**ดูรูปที่ 2.9 (ข)**) แนะนำให้ใช้เท่ากับระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติของเสา ดังอธิบายในหัวข้อที่ 2.2



รูปที่ 2.9 (ข) เสาต่อม่อหรือเสาใต้ถุนบ้าน



รูปที่ 2.10 เสาที่ก่อกำแพงไม่เต็ม

2.7 เสาต้นที่เกิดจากการก่อกำแพงไม่เต็มความสูง

เสาที่เกิดจากการก่อกำแพงไม่เต็ม ดังรูปที่ 2.10 เข้าข่ายเป็นเสาต้นได้ เนื่องจากเสามีกำแพงมาค้ำทางด้านข้าง ทำให้เสามีการขยับได้เฉพาะบริเวณที่ไม่ได้ก่อกำแพงไว้ ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดพฤติกรรมเสาต้น ซึ่งทำให้เสาวิบัติได้ดังรูปที่ 2.11 ดังนั้นสำหรับการเสริมเหล็กปลอกในเสาที่ก่อ

กำแพงไม่เต็ม แนะนำให้ใช้เท่ากับระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤตของเสา ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.2



รูปที่ 2.11 (ก) การวิบัติเนื่องจากพฤติกรรมเสาสั้น กรณีนี้มีกำแพงชั้น และสร้างช่องเปิดไว้ ทำให้ความชะลุดของเสาลดลง สำหรับ 1999 Turkey earthquake ขนาด 7.4



รูปที่ 2.11 (ข) การวิบัติเนื่องจากพฤติกรรมเสาสั้น กรณีนี้มีพื้นบันไดมาเชื่อมต่อที่กลางเสา ทำให้ความชะลุดของเสาลดลง สำหรับ 1980 Algeria Earthquake ขนาด 7.7

2.8 การทำของอด้านทานแผ่นดินไหว

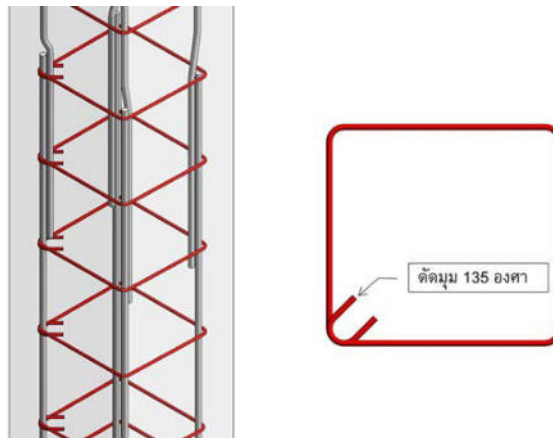
เหล็กปลอกหรือเหล็กดัดในเสา เป็นเหล็กที่ทำหน้าที่ป้องกันการกะเทาะหลุดออกของคอนกรีต และป้องกันการดุ้ง หรือการเสียรูปของเหล็กแกน โดยของของเหล็กปลอกสำหรับอาคารทั่วไปอาจดัดเป็นมุม 90 องศาได้ (ดูรูปที่ 2.12) แต่สำหรับอาคารสาธารณะ เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา เป็นต้น ของอดังกล่าวควรมีการดัดงอที่ปลายเป็นมุม 135 องศา (ดูรูปที่ 2.13) ในบริเวณใกล้ข้อต่อ (ระยะ 2h ในคาน หรือระยะ l_0 ในเสา) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการโอบรัดหน้าตัดให้ดียิ่งขึ้น



ของอ 90 องศา (สำหรับอาคารทั่วไป)

ของอ 135 องศา (สำหรับอาคารสาธารณะ)

รูปที่ 2.12 รายละเอียดของอสำหรับโครงสร้างรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
(ที่มา : มยผ. 1301-54)



รูปที่ 2.13 ของอ 135 องศา

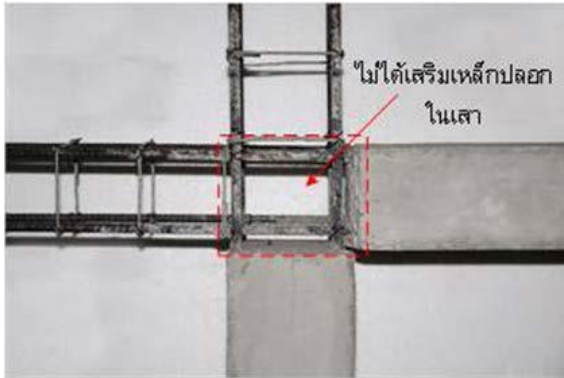


บทที่ 3

จุดต่อคาน-เสา (BEAM-COLUMN JOINT)

ข้อต่อเป็นตำแหน่งที่โครงสร้างคานและเสามาบรรจบกันที่ชั้นต่างๆของอาคาร มีหน้าที่ยึดชิ้นส่วนต่างๆ ให้เกิดเป็นโครงสร้างขึ้น ดังนั้นความสำคัญของข้อต่อจึงไม่น้อยกว่าโครงสร้างส่วนอื่นๆเลย เพราะหากข้อต่อวิบัติไปแล้ว ย่อมทำให้โครงสร้างส่วนต่างๆหลุดแยกจากกันเป็นชิ้นๆ ทำให้โครงสร้างพังถล่มได้ อย่างไรก็ตาม พบว่าการออกแบบที่กระทำกันในประเทศไทย อาจจะไม่ค่อยให้ความสำคัญต่อการเสริมเหล็กปลอกในข้อต่อมากนัก

จุดด้อยของการออกแบบข้อต่อในโครงสร้างอาคารเพื่อต้านแผ่นดินไหว คือ การขาดรายละเอียดการเสริมเหล็กในข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งผลที่ตามมาคือการวิบัติของข้อต่อดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการวิบัติที่เกิดจากแรงเฉือนแนวนอนที่กระทำต่อข้อต่อ



รูปที่ 3.1 ข้อต่อของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้เสริมเหล็กต้านทานแผ่นดินไหว



รูปที่ 3.2 การวิบัติของข้อต่อคานเสา

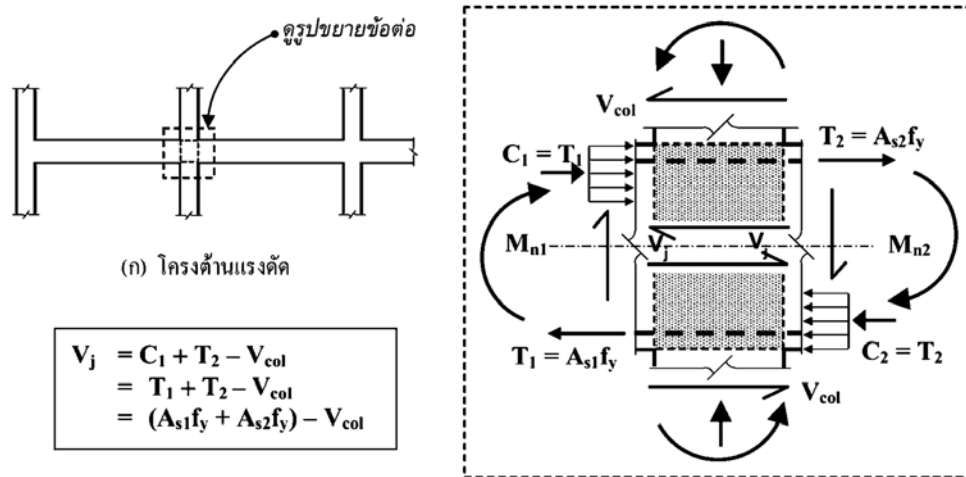
(ที่มา : <http://home.iitk.ac.in/~vinaykg/lset457.pdf>)

3.1 การเสริมเหล็กปลอกในข้อต่อคานเสา

ตามข้อกำหนดของ มยผ.1301-54 ระบุว่าข้อต่อระหว่างคานและเสาต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อให้แรงเฉือนภายในข้อต่อมีค่าเกินกว่ากำลังของข้อต่อ ตามรายละเอียดต่อไปนี้

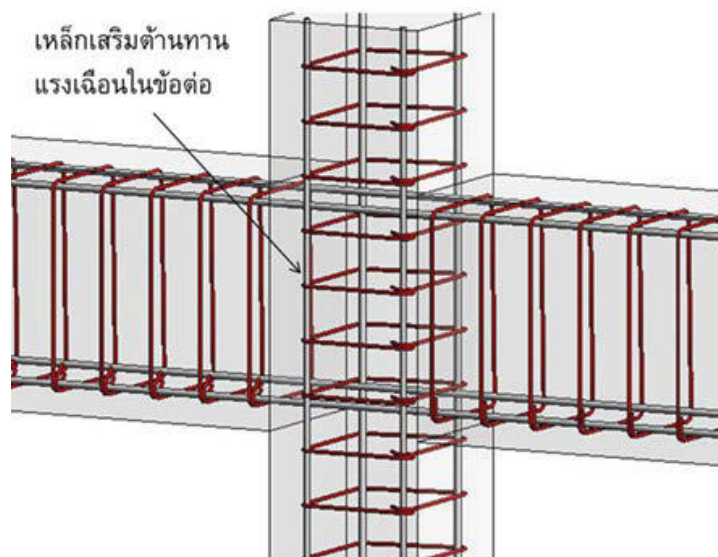
- (ก) แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ (V_j) จะต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) หรือ $V_j \leq \phi V_n$ เมื่อ ϕ ตัวคูณลดกำลังของข้อต่อ มีค่าเท่ากับ 0.85
- (ข) แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อเป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน้าตัดคานที่ปลายคานทั้งสองด้านของข้อต่อมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.2

สำหรับกำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อขึ้นอยู่กับรูปแบบของการวางตำแหน่งคานสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 3.1



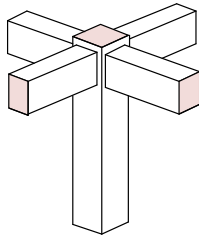
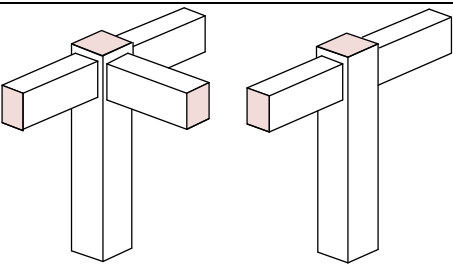
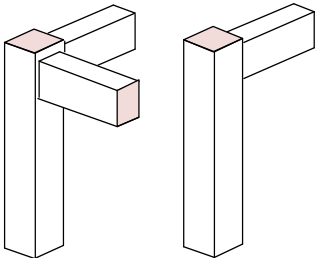
รูปที่ 3.3 แผนภาพการถ่ายแรงภายในข้อต่อ

(ที่มา : มยพ. 1301-54)



รูปที่ 3.3 การเสริมเหล็กปลอกในข้อต่อ

ตารางที่ 3.1 กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อ

รูปแบบข้อต่อ	ประเภทข้อต่อ	กำลังต้านทานแรงเฉือนระบุ (V_n)
ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน		$V_n = 5.4(f'_c)^{0.5}A_j$ (หน่วยเมตริก)
ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้านหรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน		$V_n = 3.9(f'_c)^{0.5}A_j$ (หน่วยเมตริก)
ข้อต่ออื่นๆ		$V_n = 3.2(f'_c)^{0.5}A_j$ (หน่วยเมตริก)

ทั้งนี้เพื่อให้ข้อต่อมีความแข็งแรงและสามารถต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ จะต้องเสริมเหล็กปลอกในข้อต่อด้วยดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยปริมาณเหล็กปลอกที่เสริมนี้จะต้องไม่น้อยกว่า

$$A_v = 3.5b_ws/f_y$$

โดย A_v คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอก
 s คือ ระยะเรียงของเหล็กปลอก
 b_w คือ ความกว้างของเสา และ
 f_y คือ กำลังครากของเหล็กปลอก



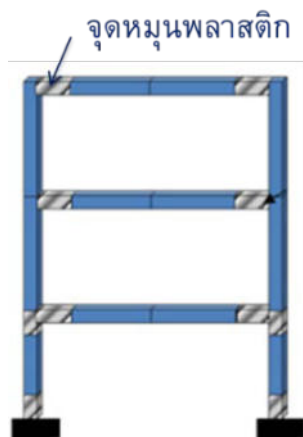
บทที่ 4

คาน (BEAM)

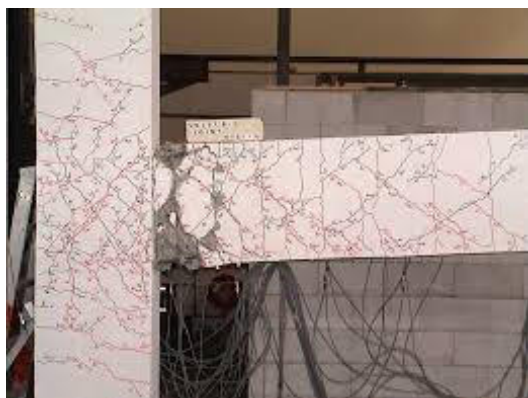
คานเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่สำคัญอีกชิ้นส่วนหนึ่ง เนื่องจากคานเป็นโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักของพื้นอาคารในชั้นนั้น แล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่เสาที่รองรับต่อไป ซึ่งตามหลักการออกแบบโครงสร้างต้านแผ่นดินไหว ต้องควบคุมให้คานเกิดการวิบัติแบบเหยี่ยวก่อนที่เสาจะพัฒนากำลังถึงจุดวิบัติ หรือเป็นไปตามแนวคิดของ เสาแข็ง-คานอ่อน (Strong-Column-Weak-Beam)

เมื่อแผ่นดินไหวกระทำต่อโครงสร้าง และคานถูกกำหนดให้เป็นองค์อาคารที่สลายพลังงานเนื่องจากแผ่นดินไหว ดังนั้นจึงอาจพบความเสียหายเนื่องจากการครากของเหล็กเสริมที่ปลายคานได้ บริเวณที่เกิดการวิบัติแบบเหนียวดังกล่าว เรียกว่า “จุดหมุนพลาสติก (Plastic Hinges)” ดังแสดงรูปที่

4.1



รูปที่ 4.1 (ก) บริเวณปลายคานเป็นบริเวณที่ได้รับความเสียหายมาก



รูปที่ 4.1 (ข) การวิบัติแบบเหนียวเนื่องจากเหล็กเสริมรับแรงดึงครากก่อนการวิบัติโดยคอนกรีต เป็นที่ต้องการสำหรับการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว โดยหัวใจสำคัญคือปริมาณเหล็กเสริมตามขวางในบริเวณวิกฤติที่เหมาะสม

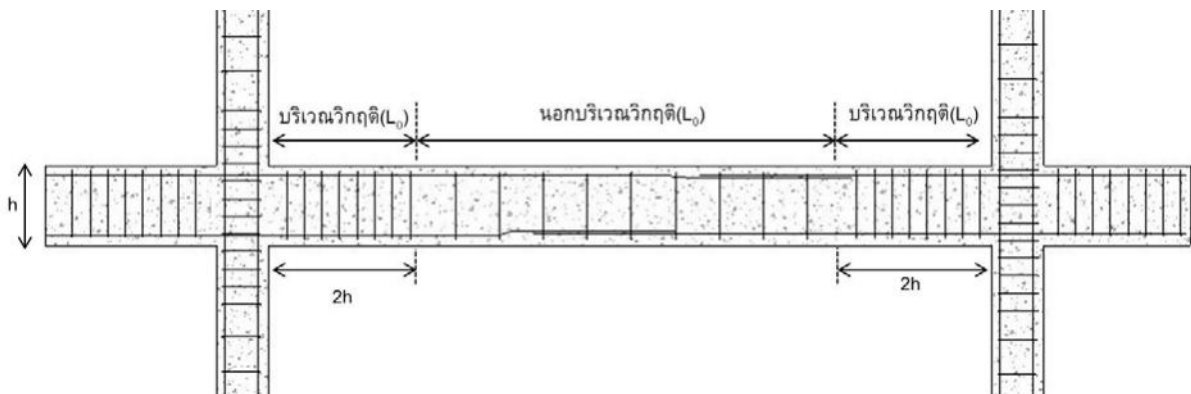
(ที่มา : <https://encrypted-tbn0.gstatic.com>)



รูปที่ 4.1 (ค) การวิบัติแบบเฉือนในคานเนื่องจากแผ่นดินไหว การวิบัติลักษณะนี้เป็นการวิบัติที่ไม่เหนียวและไม่เป็นที่ต้องการในการออกแบบอาคารต้านแผ่นดินไหว

(ที่มา : <http://db.concretecoalition.org>)

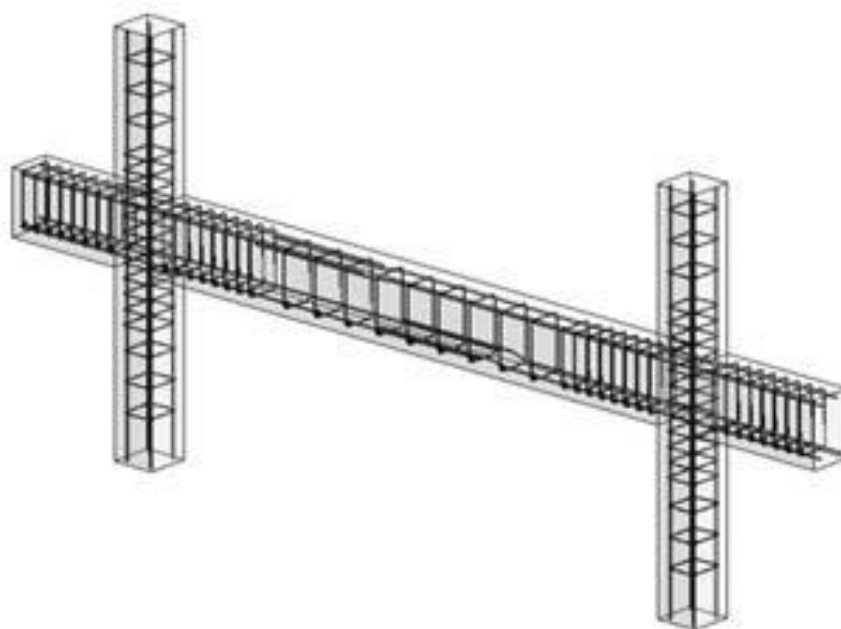
หากคานพัฒนามำล้งถึงจุดครากได้ก่อนการวิบัติแบบอื่นๆ คานจะเกิดการเสียรูปอย่างมาก และเหนียวให้ทำให้เกิดการสลายของแรงแผ่นดินไหว (รูปที่ 4.1 (ข)) อย่างไรก็ตามการวิบัติในโครงสร้างจะเกิดจากการที่คานไม่สามารถสร้างพฤติกรรมดังที่กล่าวได้ โดยเกิดความเสียหายในรูปแบบที่ได้รับการควบคุม เช่น เกิดรอยร้าวเฉือนในคาน (รูปที่ 4.1 (ค)) ตลอดจนคอนกรีตกะเทาะหลุดออกมา และเห็นเหล็กเสริมที่เสียรูป ดึง ผิดรูปร่างหรือเหล็กเสริมขาด ดังนั้นการเสริมเหล็กในคานเพื่อให้สามารถต้านแผ่นดินไหว จะเน้นที่การใส่เหล็กปลอกที่บริเวณปลายคานเช่นเดียวกันเสำ ดังนี้



รูปที่ 4.2 (ก) ความยาวของบริเวณวิกฤติตามข้อกำหนดของ มยผ.1301-54

4.1 ระยะวิกฤติในคานภายใต้แรงแผ่นดินไหว

ตามข้อกำหนดของ มยผ.1301-54 ได้กำหนดบริเวณวิกฤติในคานที่ปลายคานทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) โดยความยาวของระยะวิกฤติมีค่าเท่ากับสองเท่าของความลึกคาน ($2h$) วัดจากขอบของข้อต่อทั้งสองด้านของคาน โดยรูปที่ 4.2 (ข) แสดงภาพใน 3 มิติ ของการเสริมเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติ ในขณะที่รูปที่ 4.2 (ค) แสดงการเสริมเหล็กจริงในการก่อสร้างอาคารต้านแผ่นดินไหว



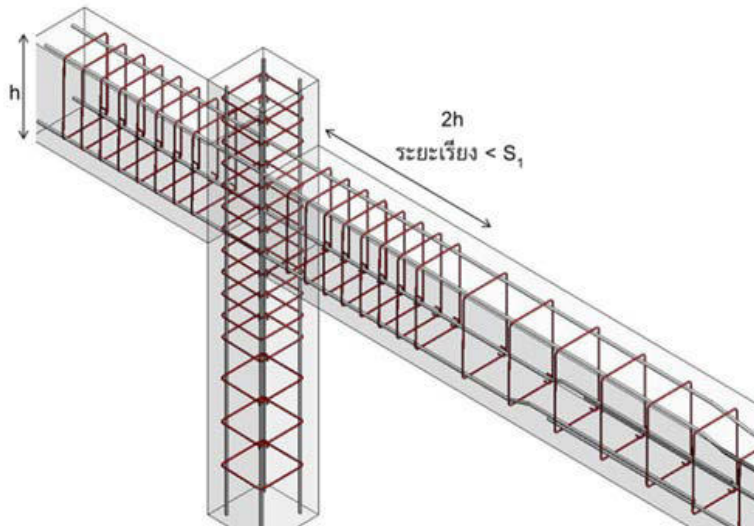
รูปที่ 4.2 (ข) การเสริมเหล็กปลอกในคานและข้อต่อ



รูปที่ 4.2 (ค) การเสริมเหล็กปลอกในคาน ณ บริเวณที่จะเกิดจุดหมุนพลาสติก

4.2 ระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติของคาน

ภายในบริเวณวิกฤติของคาน (ระยะที่ห่างจากขอบของจุดต่อเท่ากับ 2 เท่าของความลึกคาน) จะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอก (S_1) ไม่มากกว่าค่าดังต่อไปนี้



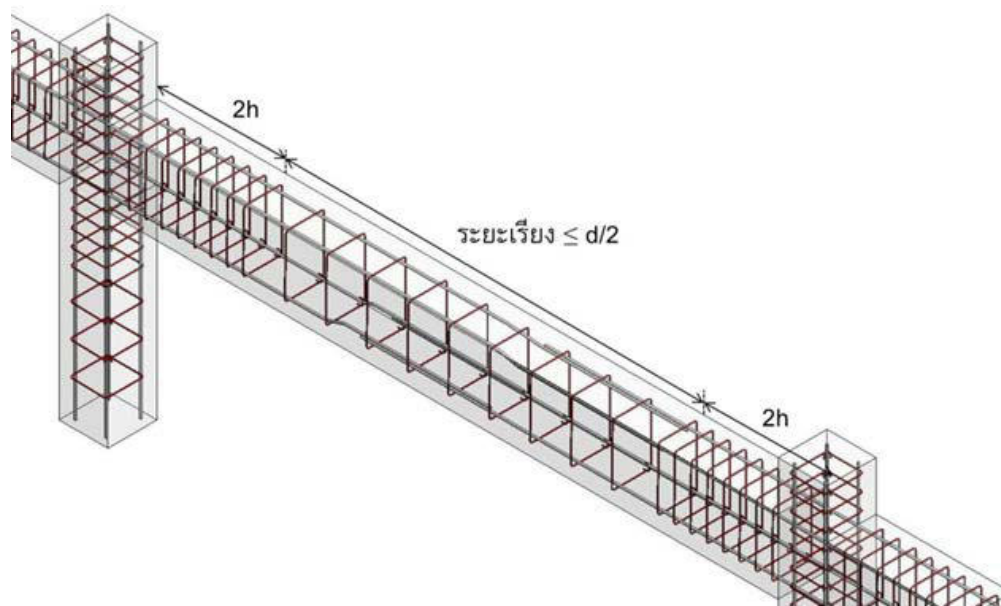
- 1 ใน 4 ของความลึก
ประสิทธิภาพ
- 8 เท่าของขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางของเหล็ก
เสริมตามยาวที่มีขนาด
เล็กที่สุด
- 24 เท่าของขนาดเส้น
ผ่านศูนย์กลางของเหล็ก
ปลอก
- 300 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.3 ระยะเรียงเหล็กปลอกในบริเวณวิกฤติของคาน

4.3 การเสริมเหล็กปลอกในคานนอกบริเวณวิกฤติ

ข้อกำหนดของ มยผ. 1301-54 ระบุว่า ภายนอกบริเวณวิกฤติหรือระยะ $2h$ จากขอบที่รองรับ ระยะเรียงของเหล็กปลอกจะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผลของคาน ดังแสดงในรูปที่

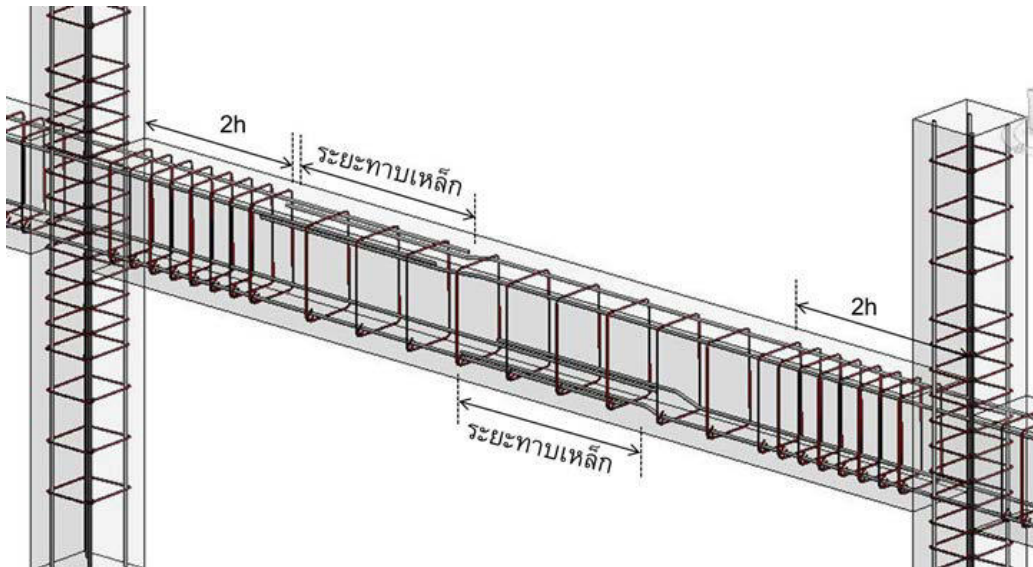
4.4



รูปที่ 4.4 ระยะเรียงเหล็กปลอกนอกบริเวณวิกฤติ

4.4 การเสริมเหล็กนอนในคานและตำแหน่งของการต่อทาบเหล็ก

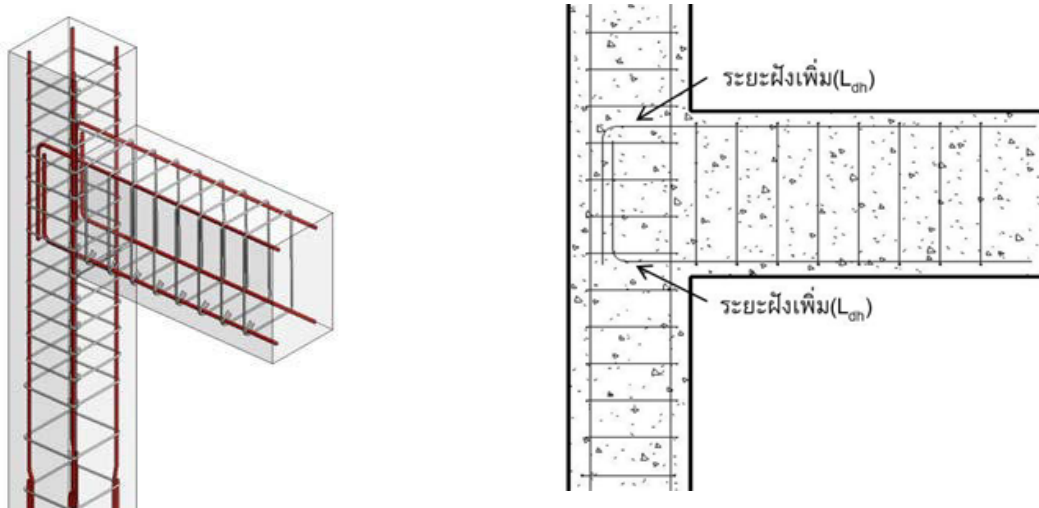
ตามข้อกำหนดของ มยผ. 1301-54 ไม่แนะนำให้ทำการทาบต่อเหล็กนอนในคานภายในระยะ $2h$ จากขอบที่รองรับทั้งสองด้าน แต่แนะนำให้ทำการทาบเหล็กเมื่อพ้นระยะ $2h$ ไปแล้ว (รูปที่ 4.5) ทั้งนี้สำหรับเหล็กล่างไม่ควรทาบต่อที่บริเวณกลางคานเนื่องจากเป็นบริเวณที่รับโมเมนต์บวกมาก ส่วนระยะทาบเหล็กต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิธีกำลัง และในบริเวณที่ทาบต่อเหล็กควรเสริมเหล็กปลอกให้แน่นหนาเพื่อป้องกันการวิบัติแบบปริแตกหรือการรูดไถลของเหล็กที่บริเวณรอยต่อทาบ



รูปที่ 4.5 การต่อทาบเหล็กนอในคาน

4.5 การเสริมเหล็กนอในคานและการฝังเหล็กเข้ากับเสาต้นนอก

เหล็กเสริมในคานที่บรรจบกับเสาต้นนอกจะต้องฝังยึดเข้าไปในที่รองรับหรือเสา โดยใช้ช่องอ ตามรูปที่ 4.6 เพื่อให้มีระยะฝังเหล็กที่เพียงพอต่อการต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ระยะฝังยึด (l_{dh}) ต้องเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิธีกำลัง



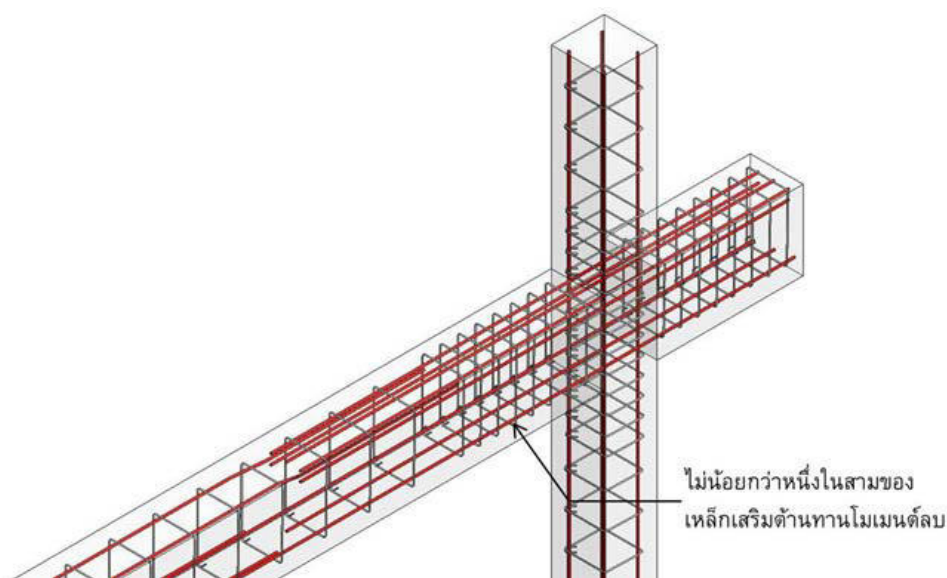
รูปที่ 4.6 การฝังเหล็กนอในคานกับเสาต้นนอก

4.6 การเสริมเหล็กนอนในคาน จำนวนเหล็กบนและเหล็กล่างในคาน

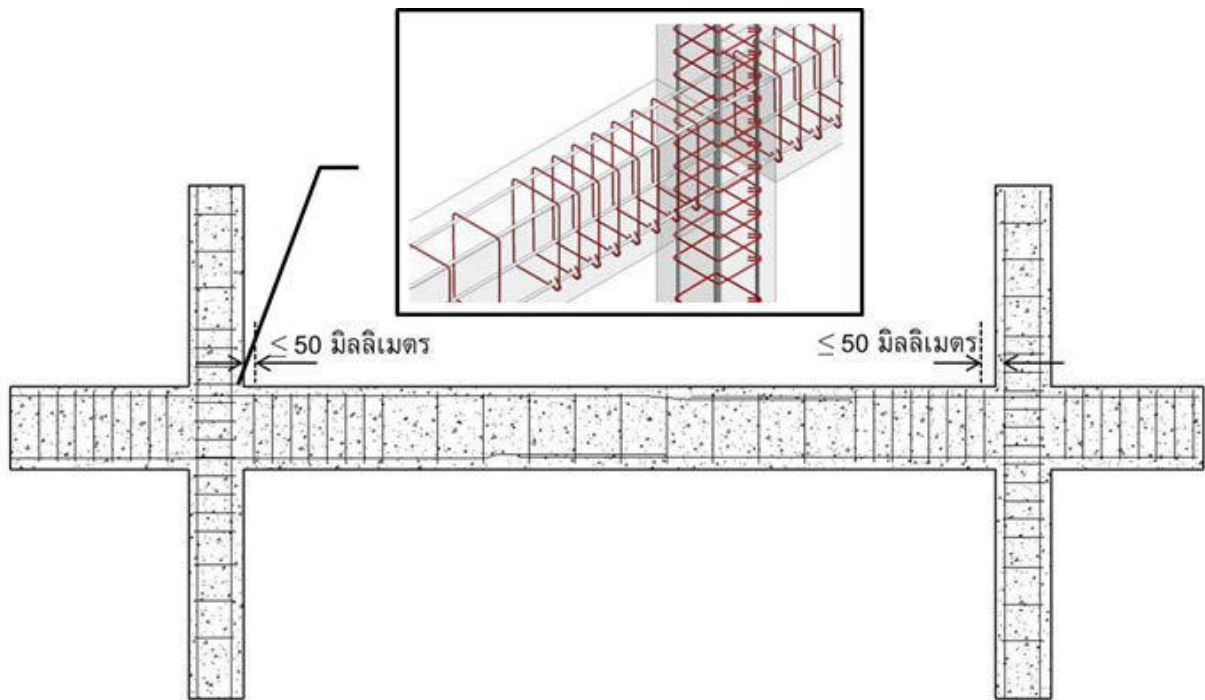
ข้อกำหนดของ มยผ.13601-54 แนะนำให้ทำการเสริมเหล็กล่างสำหรับด้านทานโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องมีปริมาณที่ไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของเหล็กเสริมบนที่ด้านทานโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน ดังรูปที่ 4.7 นอกจากนี้กำลังด้านทานโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใดๆ ตลอดความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังด้านทานโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน

4.7 ตำแหน่งของเหล็กปลอกวงแรกในคาน

ข้อกำหนดของ มยผ.1301-54 กำหนดตำแหน่งของเหล็กปลอกวงแรกในคาน จะต้องห่างจากขอบรอยต่อไม่เกิน 50 มิลลิเมตร วัดจากขอบคานทั้งสองด้าน



รูปที่ 4.7 การเสริมเหล็กนอนในคาน



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งของเหล็กปลอกวงแรกในคาน



บทที่ 5

แผ่นไร้คาน (FLAT SLAB)

แผ่นพื้นไร้คานเป็นรูปแบบการก่อสร้างที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน มีทั้งที่เป็นแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรงที่เรียกว่า *Post-tension* การวิบัติของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบนี้จะเกิดจากการเฉือนแบบ 2 ทางที่เรียกว่า การเฉือนทะลุ (*Punching Shear*) ซึ่งวิศวกรโครงสร้างที่ออกแบบอาคารเพื่อต้านแผ่นดินไหวต้องทราบความสำคัญและให้รายละเอียดเหล็กเสริมเพื่อการป้องกัน

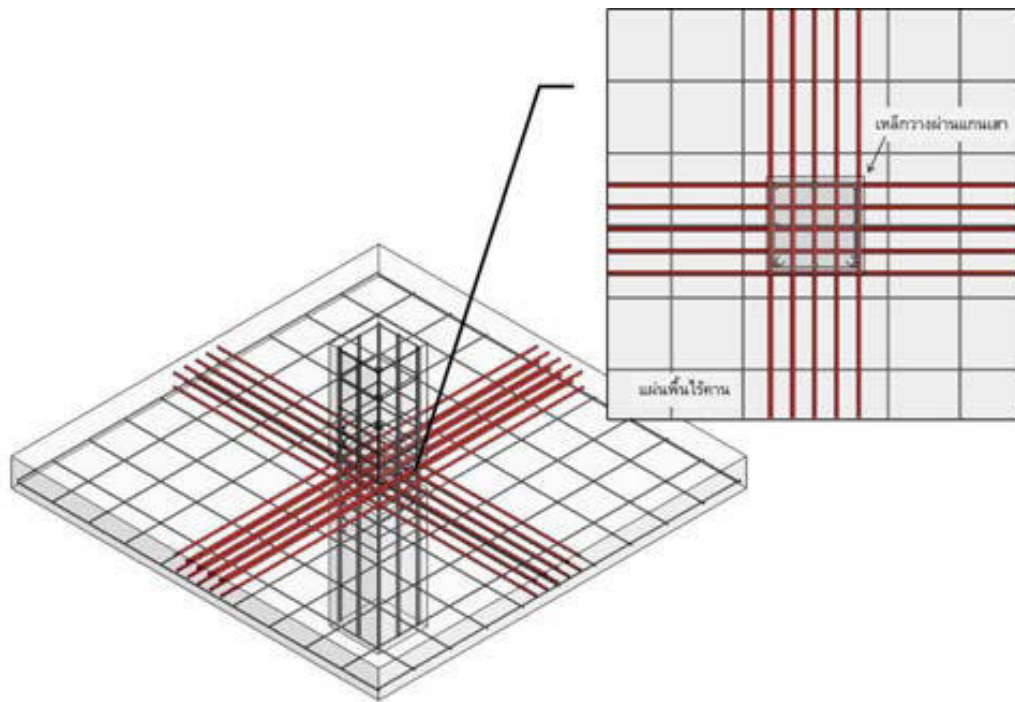
ในการก่อสร้างประเภทพื้นไร้คาน ซึ่งเป็นที่นิยมมากเนื่องจากสามารถลดความสูงของชั้นอาคารลงได้ พื้นไร้คานเป็นโครงสร้างแผ่นพื้นซึ่งวางตั้งอยู่บนเสาโดยตรง โดยปราศจากคานรองรับพื้น สำหรับจุดอ่อนของระบบโครงสร้างพื้นไร้คาน คือ การวิบัติโดย **แรงเฉือนทะลุ (Punching Shear)** ซึ่งเป็นการวิบัติที่อาจนำไปสู่การวิบัติแบบต่อเนื่อง แล้วทำให้อาคารทั้งหลังพังถล่มได้

5.1 การเสริมเหล็กเพื่อป้องกันการวิบัติแบบต่อเนื่องในแผ่นพื้นไร้คาน

การวิบัติโดยแรงเฉือนทะลุ จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดแผ่นดินไหวที่รุนแรง ทำให้เกิดรอยร้าวเป็นวงรอบเสาที่บริเวณด้านบนของพื้น บ่งบอกว่าพื้นเริ่มเฉือนทะลุเสาแล้ว (ดูรูปที่ 5.1 (ก)) การป้องกันมิให้พื้นเกิดการวิบัติแล้วตกลงไปกระทบพื้นที่อยู่ชั้นถัดลงไปหรือเรียกว่าการวิบัติแบบต่อเนื่องนั้น ทำได้โดยการวางเหล็กนอนทางด้านล่างของแผ่นพื้นให้ผ่านแกนเสาทั้งสองทิศทางซึ่งทำหน้าที่เป็นเหล็กหัว (รูปที่ 5.1 (ข)) เพื่อให้เหล็กนอนที่วางทั้งสองทิศทางนี้ทำหน้าที่ดึงพื้นไม่ให้ตกลงไปกระทบพื้นชั้นล่าง



รูปที่ 5.1 (ก) การวิบัติแบบเฉือนทะลุ ในแผ่นพื้นคอนกรีต
(ที่มา : <http://www.scielo.br> และ <https://nees.org>)



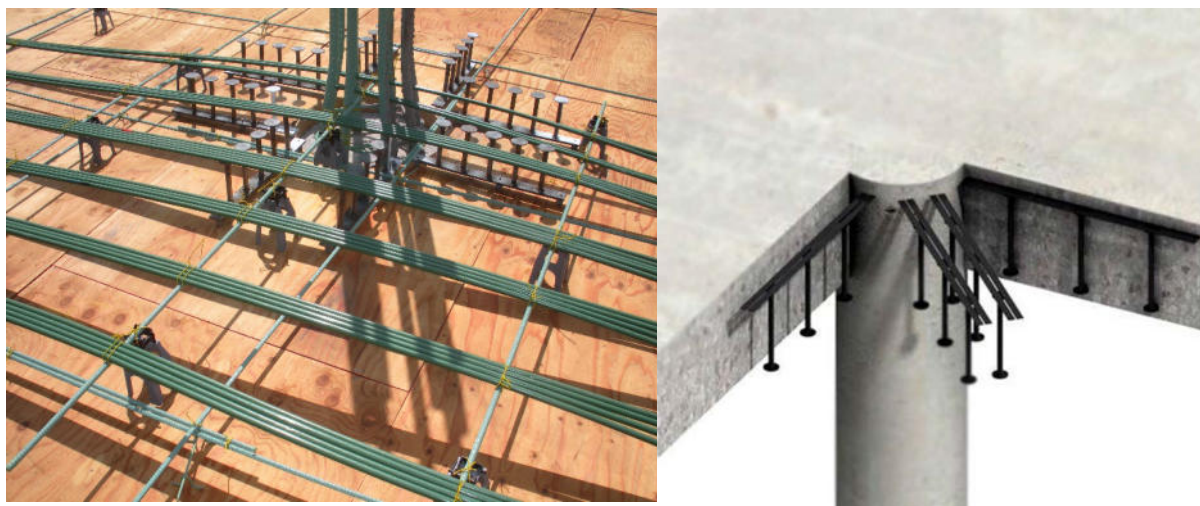
รูปที่ 5.1 (ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กกลางผ่านแกนเสาทั้งสองทิศทาง

5.2 การเสริมเหล็กปลอกเพื่อป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุ

จากที่กล่าวมาข้างต้น แรงเฉือนทะลุเป็นจุดอ่อนที่สำคัญในโครงสร้างแผ่นพื้นไร้คาน ในกรณีที่อยู่ในขั้นตอนการก่อสร้างสามารถเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนที่หัวเสาได้ โดยการใส่เหล็กปลอกในพื้นที่โดยวางให้ผ่านแกนเสาในแต่ละทิศทาง

5.3 การเสริมเหล็ก Shear Head

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการเสริมเหล็กรูปแบบใหม่ๆ เพื่อป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุ ตัวอย่างเหล็กเสริมที่พัฒนาขึ้นมารูปแบบหนึ่งคือ Shear Head ซึ่งมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับการเสริมกำลังด้วยเหล็กปลอก แต่การติดตั้งถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นและมีกำลังต้านทานแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.2



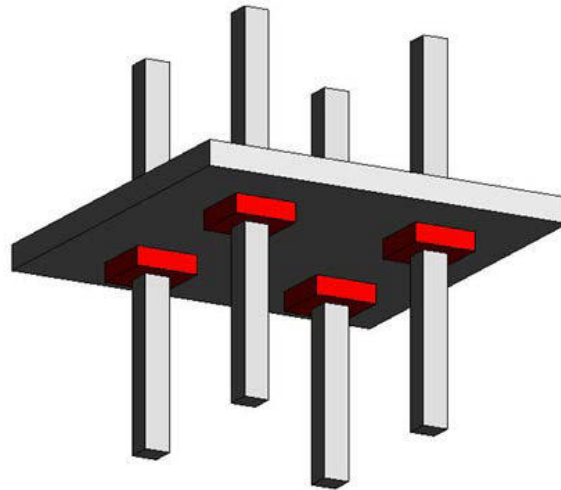
รูปที่ 5.2 การติดตั้ง Shear head บริเวณหัวเสา

(ที่มา: http://www.cortartec.net/documents/punching_shear_reinforcement.pdf)

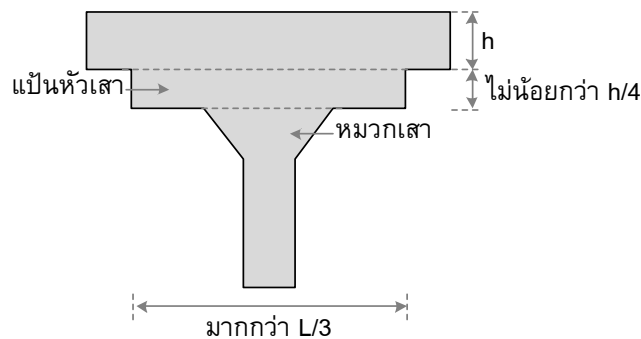
5.4 การเสริมแป้นหัวเสาและการทำหมวกเสา

การป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุ สามารถทำได้อีก 2 วิธีคือ

- 1) ทำแป้นหัวเสา (Drop Panel) เป็นการทำให้พื้นหนาขึ้นในบริเวณเสา ดังรูปที่ 5.3 เมื่อพื้นมีความหนามากขึ้น จะทำให้การวิบัติเฉือนทะลุเกิดขึ้นได้ยากหรืออาจไม่เกิดขึ้นเลย แป้นหัวเสาควรมีขนาดกว้างไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของความยาวช่วงเสาในทิศทางนั้นๆ และมีความหนาไม่น้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความหนาพื้น ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ในการก่อสร้างแป้นหัวเสา จะหล่อคอนกรีตแป้นหัวเสาพร้อมกับพื้น โดยไม่แยกเทคอนกรีตคนละคราวกัน
- 2) การทำหมวกเสา เป็นการขยายขนาดปลายเสาด้านบนให้ใหญ่ขึ้นซึ่งทำให้พื้นไม่สามารถเจาะทะลุผ่านเสาลงมาได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 การทำแป้นหัวเสา



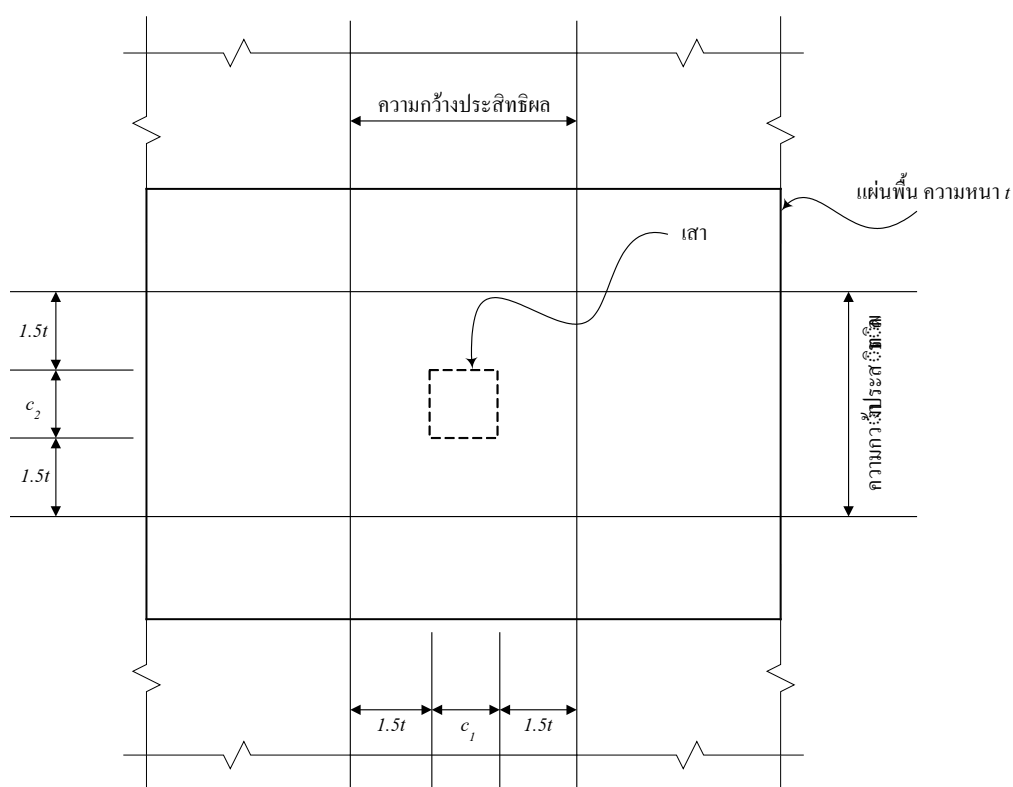
รูปที่ 5.4 ขนาดของแป้นหัวเสาและหมวกเสา

5.5 การเสริมเหล็กในแถบเสาของพื้นไร้คาน

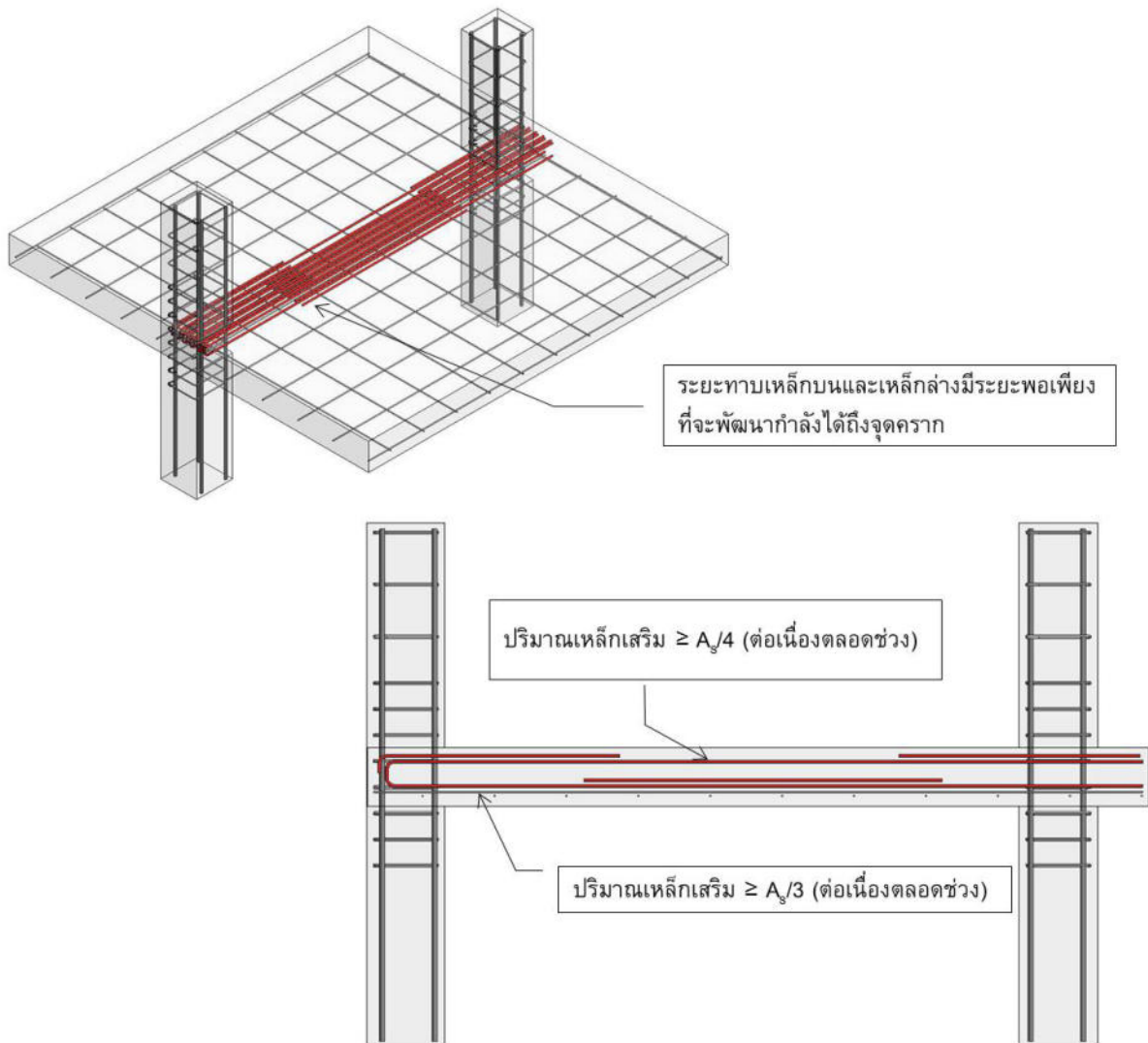
การเสริมเหล็กในพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงต้านแรงดัดรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ มยผ.1301-54 ดังนี้

- 1) ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้สำหรับรับโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จุดรองรับ (M_s) หรือเสาจะต้องวางอยู่ในแถบเสาทั้งหมด
- 2) ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับต้านทานสัดส่วนโมเมนต์ $\gamma_f M_s$ จะต้องอยู่ภายในความกว้างประสิทธิภาพ (โดยความกว้างประสิทธิภาพหมายถึง ความกว้างเสาบวก 3 เท่าของความหนาพื้น ดังรูปที่ 5.5

- 3) ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องวางอยู่ในความกว้างประสิทธิภาพของพื้น
- 4) ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องต่อเนื่องตลอดความยาวช่วง และจะต้องมีเหล็กเสริมบนไม่น้อยกว่า 2 เส้นวางผ่านแนวเสาในแต่ละทิศทาง ดังรูปที่ 5.6
- 5) เหล็กเสริมล่างในแถบเสาที่มีความต่อเนื่องจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 นิยามของความกว้างประสิทธิภาพ

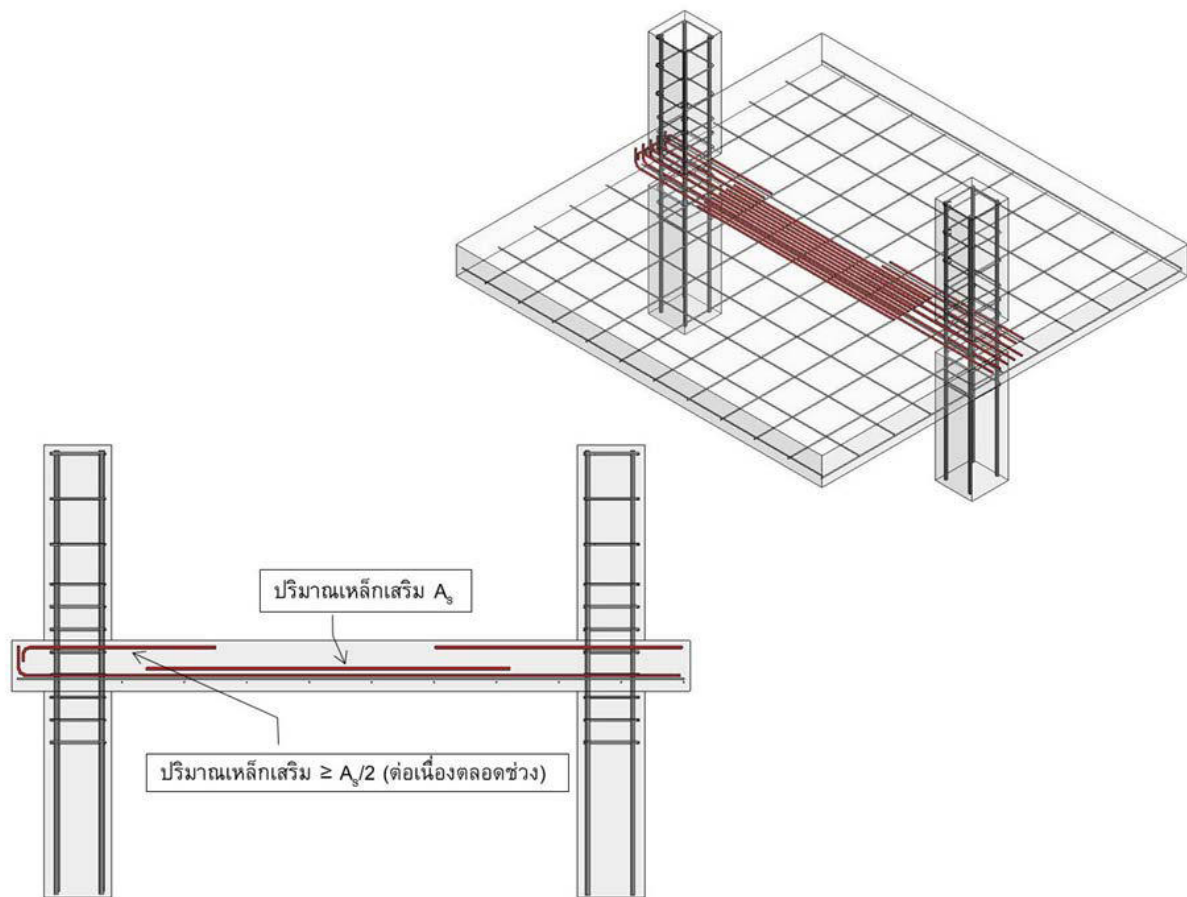


รูปที่ 5.6 การเสริมเหล็กในแถบเสาของพื้นไร้คาน

5.6 การเสริมเหล็กในแถบกลางของพื้นไร้คาน

การเสริมเหล็กในแถบกลางของพื้นไร้คานสองทางคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงสร้างต้านแรงดัดสันสะเทือนจากแผ่นดินไหว ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ มยผ.1301-54 ดังนี้

- 1) ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมล่างที่กึ่งกลางช่วงจะต้องต่อเนื่อง และสามารถพัฒนาให้เกิดกำลังครากที่ขอบของจตุรรองรับได้ ดังรูปที่ 5.7
- 2) ที่ขอบของแผ่นพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เหล็กเสริมบนและล่างที่จุดจะต้องสามารถพัฒนากำลังครากที่ขอบของจตุรรองรับได้ ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 การเสริมเหล็กแผ่นพื้นไร้คานแถบกลาง



6

บทที่

เสริมกำลัง (STRENGTHENING)

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเสริมกำลังโครงสร้างที่ไม่ได้รับการออกแบบมาเพื่อต้านแผ่นดินไหวซึ่งโดยมากจะเป็นอาคารเก่า หรืออาคารที่สร้างก่อนที่กฎหมาย (กฎกระทรวงฯ ปี 2550) จะประกาศบังคับใช้ เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเมื่อได้รับแรงแผ่นดินไหวในอนาคต เนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 6.3 ริคเตอร์ที่อำเภอพานเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 พบว่าการวิบัติของอาคารมักเกิดขึ้นที่เสาเป็นจำนวนมาก นั้นแสดงว่าเสาเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญ เพราะเสารองรับน้ำหนักอาคารทั้งหลัง ดังนั้นหากเสาวิบัติไปย่อมทำให้อาคารทั้งหลังพังถล่มลงมาได้ ด้วยเหตุนี้สำหรับอาคารเก่าที่ก่อสร้างไปนานแล้ว การเสริมความแข็งแรงให้แก่เสาจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น

ในบทนี้ผู้เขียนขอเสนอแนวทางเสริมความแข็งแรงให้แก่เสา 3 วิธี ซึ่งเป็นผลที่ได้จากโครงการวิจัยเพื่อลดภัยพิบัติแผ่นดินไหวในประเทศไทยระยะที่ 1 ถึง 3 ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

หลักการเสริมความแข็งแรงให้แก่เสาจะใช้วิธีการหุ้มเสาที่บริเวณโคนเสาและหัวเสาหรือหุ้มเสาทั้งต้นก็ได้หากมีงบประมาณเพียงพอ สำหรับการหุ้มเสาจะเสนอให้ใช้วัสดุหุ้มเสา 3 ประเภท คือ

- (ก) หุ้มด้วยแผ่นเหล็ก (Steel Jacketing)
- (ข) หุ้มด้วยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (FRP Jacketing) และ
- (ค) หุ้มด้วยเฟอโรซีเมนต์ (Ferrocement Jacketing) หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC jacketing)

หลักการหุ้มเสาด้วยวัสดุเสริมแรงคล้ายกับการใช้เหล็กปลอกโอบรัดหน้าตัดเสา นั่นคือเพื่อป้องกันการแตกร้าวและกะเทาะหลุดของคอนกรีตเมื่อมีแรงแผ่นดินไหวมากระทำ ซึ่งจะทำให้เหล็กแกนไม่คดงอหรือเสียรูป และทำให้โครงสร้างไม่ทรุดตัวหรือพังถล่มลงมา

6.1 การเสริมความแข็งแรงโดยใช้แผ่นเหล็กหุ้ม

แผ่นเหล็กเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและสามารถหาซื้อได้ทั่วไป การเสริมกำลังเสาด้วยวิธีหุ้มด้วยแผ่นเหล็กเป็นวิธีที่สามารถทำได้ไม่ยาก โดยช่างก่อสร้างทั่วไปคุ้นเคยวิธีนี้ดีอยู่แล้วและวัสดุที่ใช้ก็หาได้ในประเทศได้แก่ แผ่นเหล็ก ลวดเชื่อม ปูนเกราท์ เป็นต้น

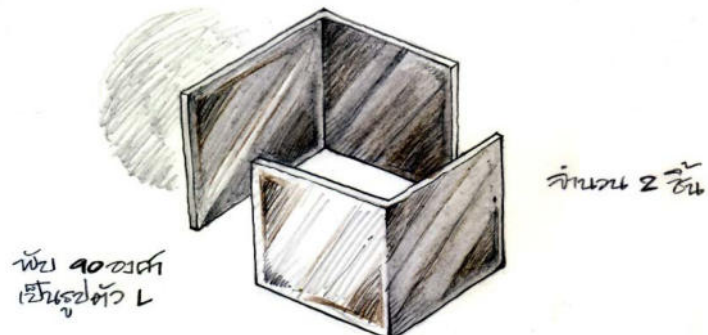
การเสริมกำลังเสาด้วยแผ่นเหล็กหุ้มมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. เตรียมแผ่นเหล็ก (ความหนาของแผ่นเหล็กขึ้นอยู่กับขนาดเสา โดยสมควรให้วิศวกรที่มีใบอนุญาตเป็นผู้คำนวณความหนา) พับ 90 องศา เป็นรูปตัว L จำนวน 2 ชิ้น โดยให้ขนาดของแผ่นเหล็กใหญ่กว่าเสาเดิมโดยรอบด้านละ 25-30 มิลลิเมตร (รูปที่ 6.1 (ก))
2. เชื่อมประกบแผ่นเหล็กทั้งสองชิ้นให้ประกอบเป็นโครงแผ่นเหล็กกรอบเสาเดิม โดยให้มีช่องว่างระหว่างเสาเดิมและแผ่นเหล็กประมาณ 25-30 มิลลิเมตร
3. ใช้วัสดุประเภทดินน้ำมันหรือปูนพลาสติกอุดปิดช่องว่างของแผ่นเหล็กบริเวณโคนเสาเพื่อป้องกันปูนเกราท์ไม่หดตัว (Non-Shrink Grout) ไหลออกมา

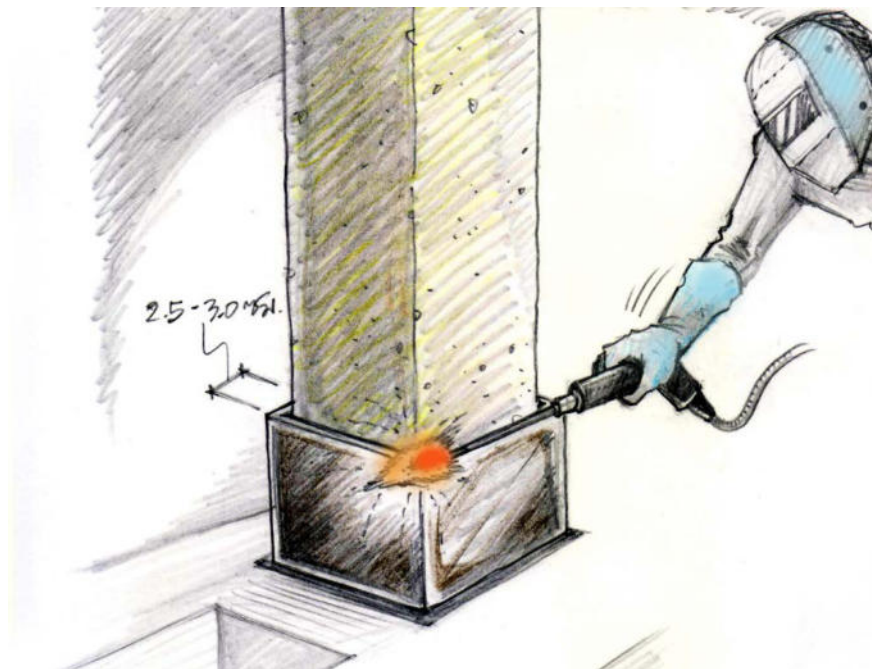
4. ผสมปูนซีเมนต์ชนิดไม่หดตัว (Non-Shrink Cement) กับน้ำสะอาด แล้วเทลงในช่องว่างระหว่างเสาเดิมกับแผ่นเหล็กจนเต็ม (หรืออาจใช้คอนกรีตที่มีมวลรวมขนาดเล็กหรือใช้คอนกรีตไหลตัวได้เอง)
5. รอจนกว่าปูนซีเมนต์จะแข็งตัว



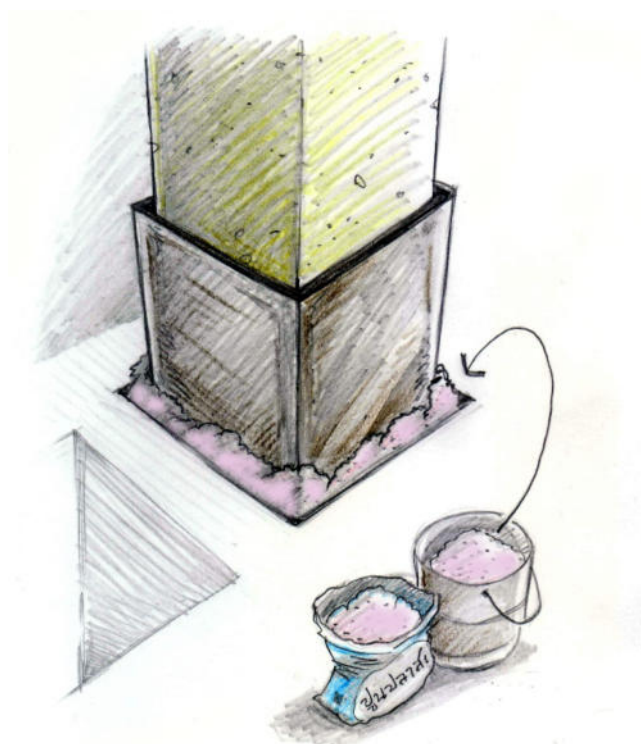
รูปที่ 6.1 (ก) ลักษณะของเสาที่ต้องการทำการการเสริมกำลังด้วยการหุ้มแผ่นเหล็ก ซึ่งในทางปฏิบัติ อาจมีการสร้างความขรุขระในพื้นที่ผิวบริเวณที่จะทำการหุ้ม เพื่อสร้างแรงยึดเกาะระหว่างเสาคอนกรีตเสริมและแผ่นเหล็ก



รูปที่ 6.1 (ข) เตรียมแผ่นเหล็กในลักษณะมุมฉาก ขนาดเพียงพอที่ปกคลุมบริเวณวิเคราะห์ของเสา (ดู บทที่ 2) จำนวน 2 ชิ้น



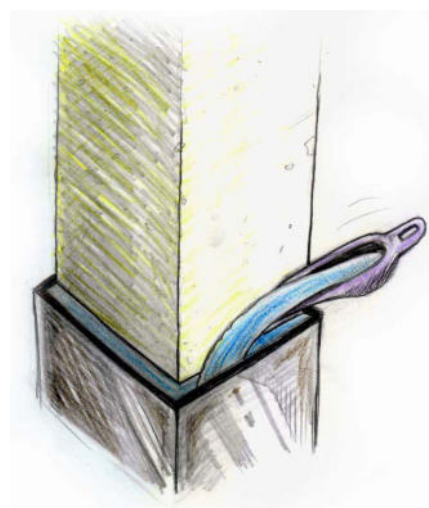
รูปที่ 6.1 (ค) ประกอบแผ่นเหล็กเข้าด้วยกันโดยการเชื่อมรอบ โดยเหลือช่องว่างเล็กน้อยประมาณ 25-30 มม. เพื่อเป็นช่องว่างในการกรอกซีเมนต์หัดตัวน้อย



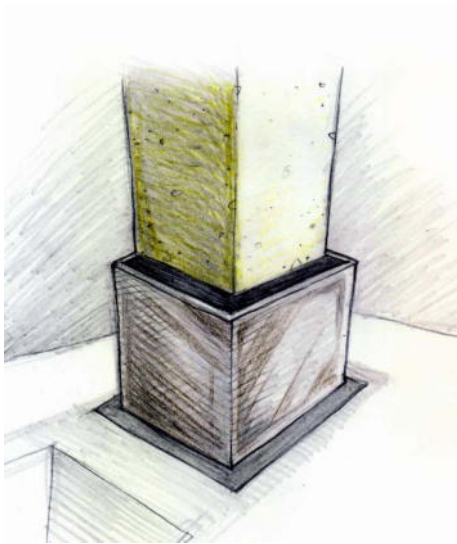
รูปที่ 6.1 (ง) เตรียมวัสดุอุดการรั่วซึม เช่น ปูนปลาสเตอร์ หรือดินน้ำมัน อุดรอยต่อด้านล่างของแผ่นเหล็กที่เชื่อมต่อกันแล้ว



รูปที่ 6.1 (จ) ผสมปูนซีเมนต์หัตถ์น้อย สำหรับเป็นวัสดุเชื่อมประสานแผ่นเหล็ก และเสาคอนกรีต



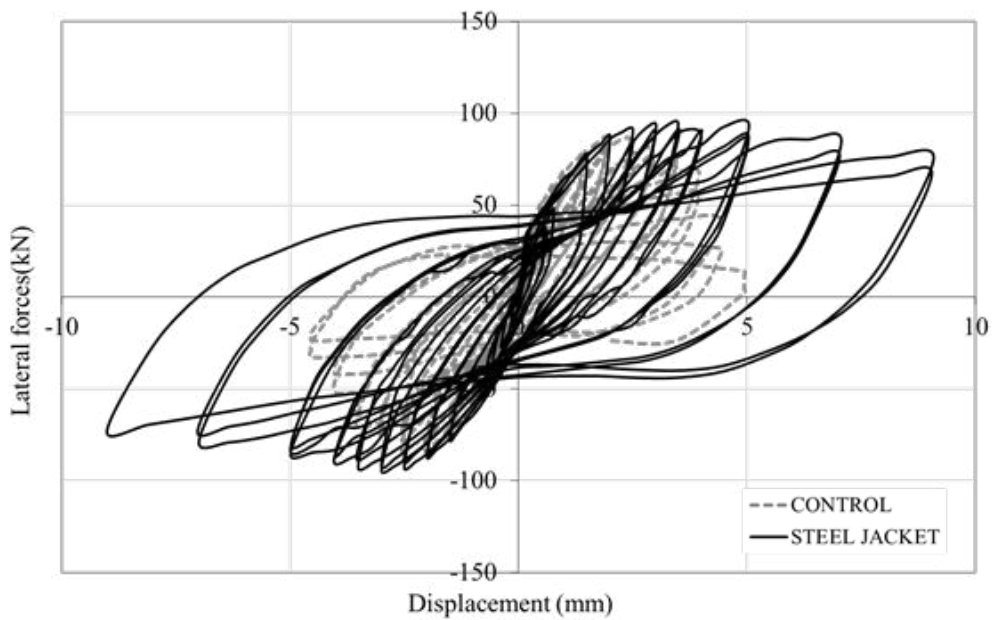
รูปที่ 6.1 (ฉ) กรอกปูนซีเมนต์หัตถ์น้อยลงในช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กและเสาคอนกรีต



รูปที่ 6.1 (ข) รอให้ซีเมนต์หดตัวน้อย
แห้งสนิท



รูปที่ 6.1 (ข) ลักษณะของเสาที่เสริมกำลังด้วยการหุ้มด้วย
แผ่นเหล็กแล้ว



รูปที่ 6.2 กราฟเปรียบเทียบกำลังและการเคลื่อนที่ของเสาที่หุ้มและไม่ได้หุ้มด้วยแผ่น
เหล็ก

สำหรับประสิทธิภาพของการเสริมกำลังด้วยวิธีหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก สามารถยืนยันได้จากผลการทดสอบเสาที่หุ้มด้วยแผ่นเหล็กเทียบกับเสาที่ไม่ได้หุ้ม **ดังรูปที่ 6.2** นอกจากนี้ภายหลังการทดสอบยังไม่พบความเสียหายในโคนเสาที่พันหุ้มด้วยแผ่นเหล็ก ซึ่งเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของการเสริมกำลังเสาด้วยวิธีนี้

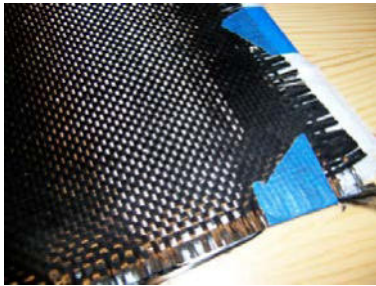
6.2 การเสริมความแข็งแรงเสาโดยใช้แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (FRP Sheet) เป็นวัสดุใหม่ที่ได้นำมาใช้ในงานทางวิศวกรรมโยธาเมื่อไม่นานมานี้ โดยนำมาใช้ในงานเสริมกำลังโครงสร้างเดิม แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ทำขึ้นจากเส้นใยที่มีกำลังรับแรงดึงสูงฝังตัวอยู่ในพอลิเมอร์เรซิน ซึ่งทำหน้าที่ประสานเส้นใยให้ทำงานร่วมกัน เส้นใยที่นำมาใช้ในแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน เส้นใยอะรามิด และเส้นใยแก้ว ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งเส้นใยทั้งสามมีความแตกต่างกันในด้านกำลังรับน้ำหนัก ความคงทน และราคา เป็นอย่างมาก การเลือกใช้เส้นใยประเภทใดนั้น จึงควรต้องศึกษาให้รอบคอบ

ข้อดีของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย คือเป็นวัสดุที่มีอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนักที่สูง มีความต้านทานต่อการผุกร่อน มีน้ำหนักเบา และมีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้สูง จึงเหมาะสำหรับการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่มีข้อเสียคือมียังราคาที่แพงอยู่

การใช้งานวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย นิยมใช้งานใน 3 รูปแบบได้แก่

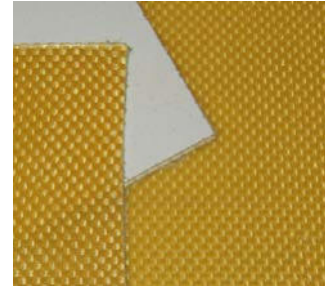
- (ก) แบบเพลทหรือลามิเนต (FRP Plate หรือ FRP Laminate) เป็นแผ่นที่มีความหนาประมาณ 1.0–1.5 มม. เหมาะสำหรับการเสริมกำลังพื้นและคานโดยการติดแผ่นเข้ากับโครงสร้างที่ต้องการเสริมกำลัง
- (ข) แบบชีทหรือฟาบริค (FRP Sheet หรือ FRP Fabric) เป็นแผ่นที่มีความหนาประมาณ 0.1–0.2 มม. ซึ่งถือว่าเป็นแผ่นบางจึงสามารถนำไปพันรอบโครงสร้างได้ และ
- (ค) แบบแท่ง (FRP Rod) มีลักษณะเป็นแท่งกลมคล้ายเหล็กเส้นแต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าเหล็กเส้นทั่วไป



แผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้นใย
คาร์บอน



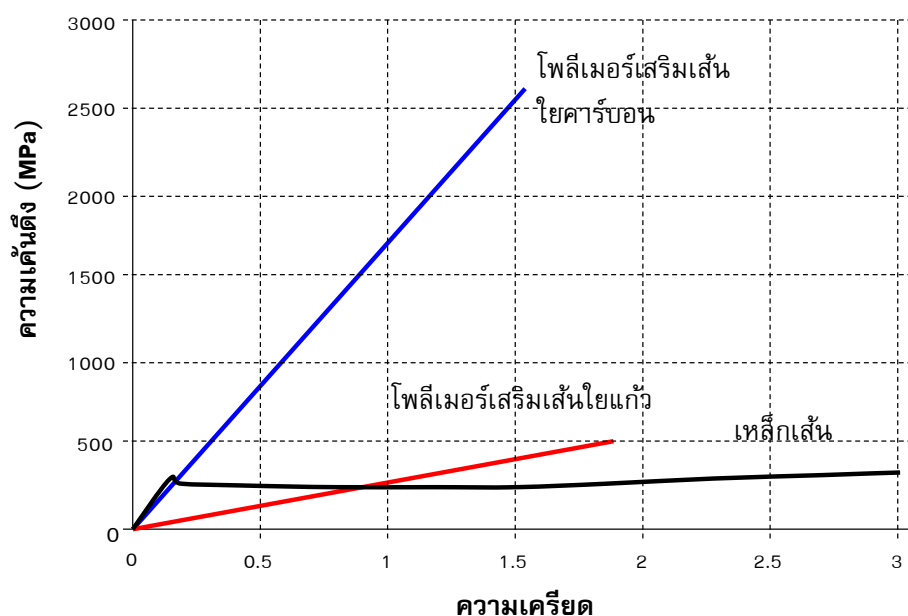
แผ่นโพลีเมอร์เสริม
เส้นใยแก้ว



แผ่นโพลีเมอร์เสริมเส้น
ใยอะรามิด

รูปที่ 6.3 แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยประเภทต่างๆ

หากเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงระหว่างแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว และเหล็กเส้นทั่วไป จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 6.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในด้านกำลังรับแรงดึง พอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนมีกำลังสูงที่สุด รองลงมาคือพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว และเหล็กเส้นตามลำดับ



รูปที่ 6.4 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยและเหล็กเส้น

สำหรับการนำแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย นิยมใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ชนิดชีทหรือฟาบรีค มาพันหุ้มรอบเสาโดยใช้กาวอีพอกซีเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์กับเสาอาคารเดิม สาเหตุที่นิยมใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เนื่องจากคาร์บอนมีกำลังรับแรงดึงสูงและมีความคงทนมากกว่าเส้นใยชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการใช้เส้นใยประเภทต่างๆ มากขึ้นเช่นเส้นใยแก้ว ซึ่งมีราคาถูกกว่าเส้นใยคาร์บอนมาก แต่อาจมีปัญหาเรื่องความคงทนในระยะยาว การเลือกใช้เส้นใยประเภทใดนั้น ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆดังนี้

- (ก) ความแข็งแรงและกำลังรับน้ำหนัก
- (ข) ความคงทน และ
- (ค) ราคา

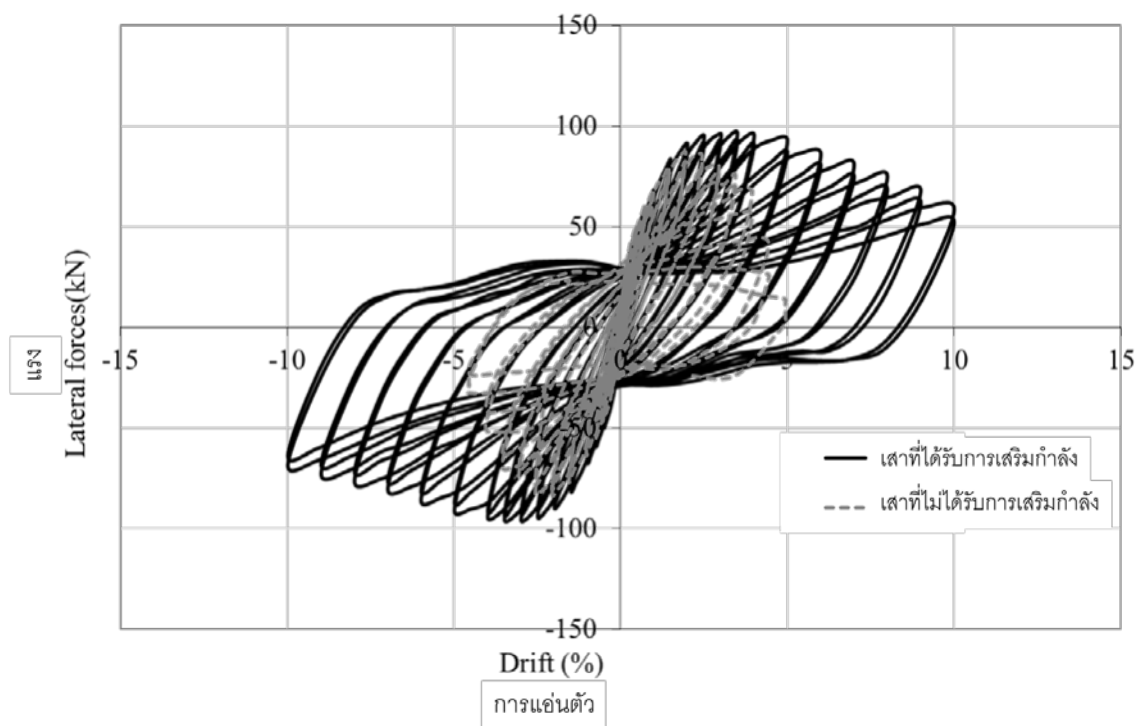


ที่มา: <http://www.fhwa.dot.gov>



รูปที่ 6.5 การใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เสริมกำลังเสา

สำหรับในคู่มือฉบับนี้จะนำเสนอการเสริมความแข็งแรงเสาด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ซีตดังแสดงในรูปที่ 6.5 โดยการติดตั้งจะนำแผ่นไปพันรอบเสาที่บริเวณปลายด้านบนหรือปลายด้านล่างของเสาในระยะประมาณ 50 ซม. จากขอบด้านบนและด้านล่างของเสา หรืออาจจะพันรอบเสาทั้งต้นเลยก็ได้ ทั้งนี้จำนวนรอบที่พันแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ขึ้นอยู่กับขนาดเสา และควรให้วิศวกรผู้มีใบอนุญาตเป็นผู้ออกแบบและคำนวณ

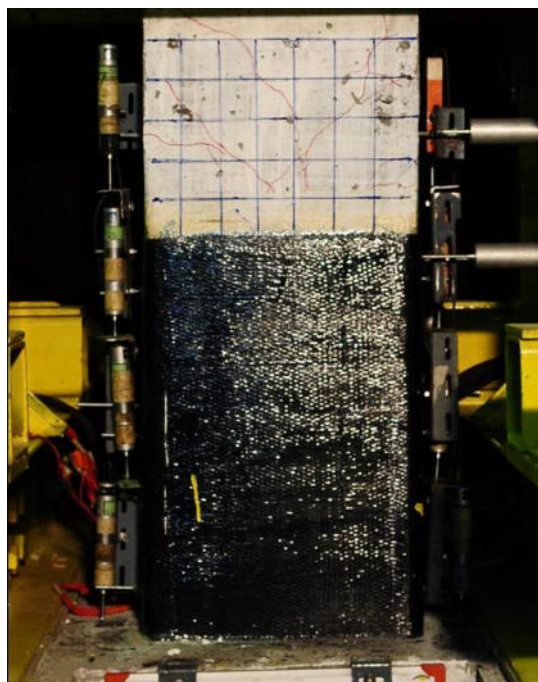


รูปที่ 6.6 (ก) เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาที่พันและไม่ได้พันพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

สำหรับประสิทธิภาพของการเสริมกำลังเสาด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์สามารถยืนยันได้จากผล การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเสาที่พันและไม่ได้พันด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ดังแสดงในรูปที่ 6.6 (ก) และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะการวิบัติของโครงสร้างพบว่า เสาที่ไม่ได้พันด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ เกิดการวิบัติที่โคนเสา พบคอนกรีตแตกร้าวและกะเทาะหลุด เหล็กแกนในเสาคดและเสียรูป ส่วนเสาที่ พันด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์แล้วนั้น ไม่พบการกะเทาะหลุดของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 6.6 (ข)



เสาที่ไม่ได้พันแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

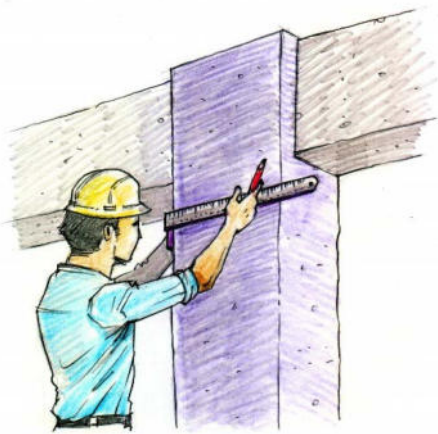


เสาที่พันแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

รูปที่ 6.6 (ข) เปรียบเทียบเสาที่พันและไม่ได้พันด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

ทั้งนี้ขั้นตอนการเสริมกำลังเสาด้วยพอลิเมอร์เสริมเส้นใย หลังจากการปิดกั้นบริเวณเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการทำงาน สรุปดังนี้

- (1) มาร์กตำแหน่ง และสกัดบริเวณเสริมกำลัง **รูปที่ 6.7 (ก)** ทั้งนี้เพื่อกำหนดขอบเขตในการสกัดผิว เพื่อให้ได้พื้นที่ที่จะทำการติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ซึ่งหลังจากได้บริเวณที่จะทำการเสริมกำลังแล้ว จึงทำการสกัดผิวหน้าเพื่อลอกปูนทรายที่ฉาบเนื้อเสาโครงสร้างออก ในขั้นตอนนี้อาจทำความขรุขระให้พื้นผิว เพื่อเพิ่มการยึดเกาะ โดยใช้สว่านสกัดเนื้อคอนกรีตออกเป็นหลุมขนาดเล็ก และกระจายไปทั่วบริเวณ
- (2) ลบมุมเสาเฉียงผิวให้เรียบ **รูปที่ 6.7 (ข)** ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังโอบรัดของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้พันรอบเสา เนื่องจากมุมหัก (มุมฉากของเสา) จะลดทอนความต่อเนื่องในการกระจายแรงของวัสดุเสริมกำลัง



รูปที่ 6.7 (ก) มาร์กตำแหน่ง และสกัดบริเวณเสริมกำลัง



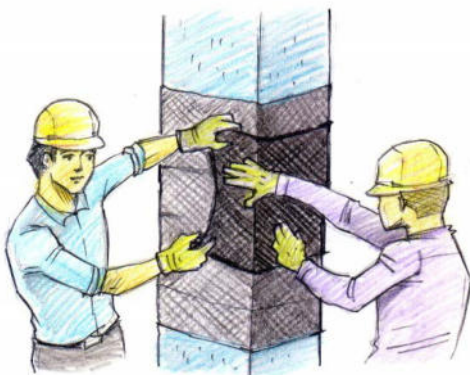
รูปที่ 6.7 (ข) ลบมูมเสาะเจียรผิวให้เรียบ



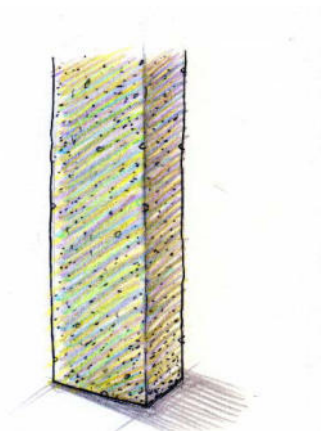
รูปที่ 6.7 (ค) ทา Primer



รูปที่ 6.7 (ง) ทา Primer ผสมผงเบาและสารเพิ่มความเหนียว



รูปที่ 6.7 (จ) ทา Epoxy และปิดแผ่น FRP

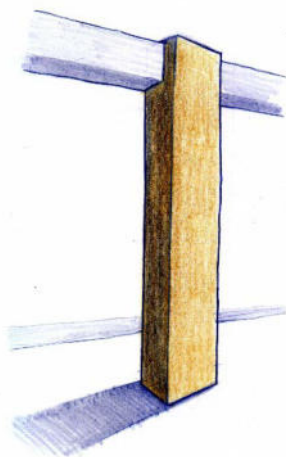


รูปที่ 6.7 (ฉ) โรยทรายก่อนฉาบปิด

- (3) ทาหน้ายารองพื้น หรือ Primer เพื่อปรับสภาพพื้นผิวคอนกรีต (ดูรูปที่ 6.7 (ค))
- (4) ทาหน้ายาolongพื้นผสมผงเบา และสารเพิ่มความหนืด ก่อนการทาสีพอกซี (ดูรูปที่ 6.7 (ง))
- (5) ทำสีพอกซี (ดูรูปที่ 6.7 (จ)) และติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย โดยการค่อยๆ แนบแผ่นเข้ากับพื้นเสาที่ชุ่มด้วยสีพอกซี ทั้งนี้ต้องทำการไล่ฟองอากาศ และปรับแต่งผิวของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยให้แนบไปกับตัวเสา
- (6) ในขณะที่พื้นผิวของเสาที่เสริมแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยยังคงเปียกชุ่มด้วยสีพอกซีอยู่ ให้ทำการโรยทรายก่อนฉาบปิด (ดูรูปที่ 6.7 (ฉ))
- (7) จับเช็ยม และฉาบผิวปิด กรณีนี้เป็นการลดปัญหาของการหลุดล่อนของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ในกรณีที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ เนื่องจากปูนทรายที่ฉาบปิดจะทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกัน การละลายของสีพอกซี (ดูรูปที่ 6.7 (ช))
- (8) ทาสีและเก็บรายละเอียด (ดูรูปที่ 6.7 (ซ)) ให้เสาที่เสริมกำลังมีสภาพที่พร้อมใช้งาน และให้เกิดความกลมกลืนกับเสาต้นอื่นๆ



รูปที่ 6.7 (ช) จับเช็ยมและฉาบผิว



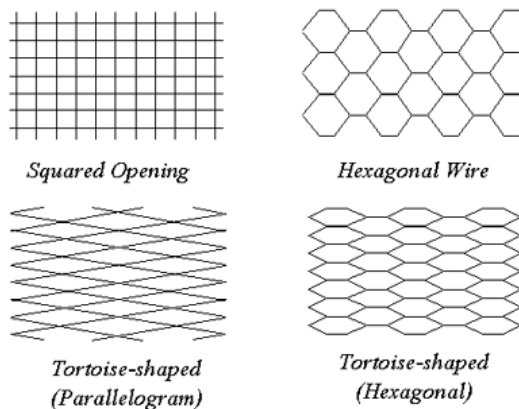
รูปที่ 6.7 (ซ) ทาสี และเก็บรายละเอียด

6.3 การเสริมความแข็งแรงโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์

เฟอร์โรซีเมนต์เป็นวัสดุชนิดหนึ่งประกอบด้วย (ก) มอร์ตาร์ (Mortar) (ข) ลวดตาข่ายหรือลวดตะแกรง (Wire Mesh) ชาวบ้านเรียกว่าลวดกรงไก่ (Chicken Wire Mesh) และ (ค) เหล็กโครง (Skeleton Steel) ดังรูปที่ 6.8 (ก) โดยที่มอร์ตาร์จะใช้น้ำซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นปูนโครงสร้าง ผสมกับทรายและน้ำ เฟอร์โรซีเมนต์มีประสิทธิภาพในการเสริมกำลังโครงสร้าง สามารถนำมาใช้ซ่อมแซม

หรือเสริมความแข็งแรงโครงสร้างได้สะดวกและรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายถูก เพราะใช้วัสดุที่หาได้ภายในประเทศและช่างก่อสร้างทั่วไปสามารถทำได้ นอกจากนี้ไม่ทำให้รูปร่างและพื้นที่การใช้งานของโครงสร้างเดิมเปลี่ยนแปลงมากนัก เพราะมีความหนาเพิ่มขึ้นไม่มาก เพียงแค่ประมาณ 20 มม. เท่านั้น

โครงสร้างของเฟอร์โรซีเมนต์ ประกอบด้วยเส้นใยเหล็กจากลวดตะแกรงฝังตัวในปูนมอร์ตาร์ มีลักษณะที่คล้ายกับหน้าตัดคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เพียงแต่จะมีขนาดที่บางกว่ามากโดยมีความหนาเพียง 20 มม. โดยประมาณดังรูปที่ 6.8 (ข) จึงสามารถใช้วิธีฉาบปูนมอร์ตาร์เป็นตัวยึดกับผิวโครงสร้างเดิม จึงเหมาะสำหรับงานเสริมกำลังโครงสร้างเป็นอย่างดี เฟอร์โรซีเมนต์นี้ช่างทั่วไปสามารถทำได้ แต่ในการออกแบบเพื่อที่จะใช้ในการเสริมกำลังต้องคำนวณตามหลักวิศวกรรม อย่างไรก็ตามเนื่องจากเฟอร์โรซีเมนต์ค่อนข้างบางและเสริมเพียงลวดตะแกรงเท่านั้น จึงอาจมีกำลังรับน้ำหนักที่ไม่มากพอกับความต้องการ ดังนั้นในการใช้งานเฟอร์โรซีเมนต์ จึงนิยมเสริมเหล็กโครง ซึ่งเป็นเหล็กเส้นกลมหรือเหล็กข้ออ้อยทั่วไปที่มีขนาดไม่เกิน 10 มม. ซึ่งช่วยให้กำลังรับน้ำหนักของเฟอร์โรซีเมนต์เพิ่มขึ้นได้อย่างมาก



ลวดกรงไก่ประเภทต่างๆ

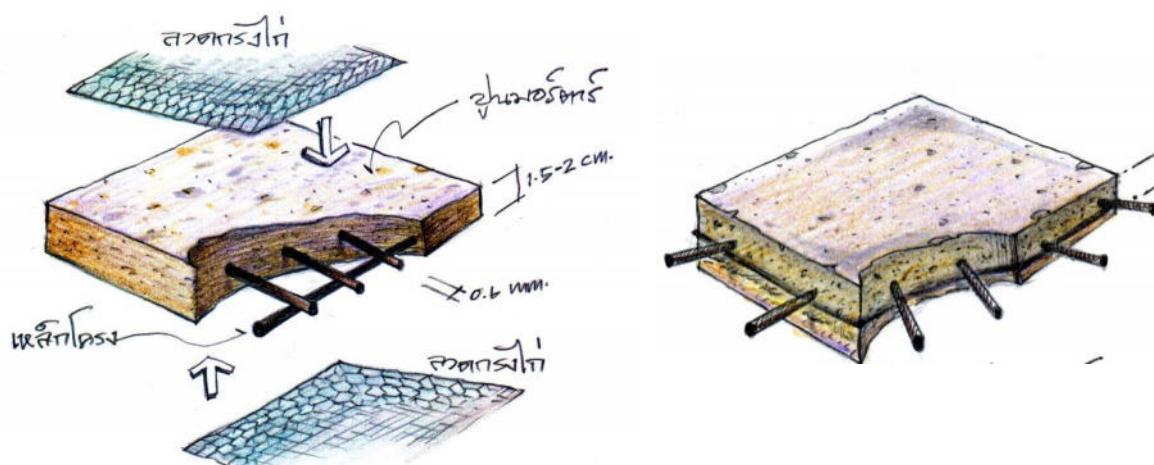


เหล็กโครงและลวดกรงไก่



ปูนมอร์ตาร์

รูปที่ 6.8 (ก) องค์ประกอบของเฟอร์โรซีเมนต์



รูปที่ 6.8 (ข) หน้าตัดของเฟอโรซีเมนต์ โดยรูปถ่ายซ้ายแสดงองค์ประกอบ ด้านขวาแสดงหน้าตัดโดยรวม

6.3.1 การประยุกต์เฟอโรซีเมนต์ในการเสริมกำลังผนังอิฐ

ผนังอิฐมอญหรือคอนกรีตบล็อก ที่ไม่ได้เสริมเหล็กนั้น อาจหลุดร่วงลงมาจากตัวอาคาร แล้วหล่นใส่ผู้คนที่อยู่ด้านล่างทำให้ได้รับบาดเจ็บหรืออาจเสียชีวิตได้ เพื่อให้ผนังอิฐเหล่านี้มีความแข็งแรงขึ้นสามารถเสริมกำลังผนังโดยใช้เฟอโรซีเมนต์ ดังนี้ (รูปที่ 6.9)

1. นำเหล็กกลมขนาด 6 มม. หรือ 9 มม. มาวางเป็นตะแกรงเหล็กในแนวนอนและแนวตั้งแล้วผูกยึดด้วยลวดผูกเหล็ก
2. นำลวดกรงไก่มาวางทับกับตะแกรงเหล็กในข้อ 1 จากนั้นนำไปวางทับบนผนังอิฐแล้วยึดด้วยตะปู
3. เตรียมผสมปูนโครงสร้าง (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1) ผสมกับทรายและน้ำสะอาดให้ข้นๆ หมด จากนั้นนำไปฉาบกับตะแกรงเหล็กและลวดกรงไก่ที่ได้วางทับบนผนังอิฐแล้ว



รูปที่ 6.9 การใช้เฟอร์โรซีเมนต์เสริมกำลังผนังอิฐ

6.3.2 การประยุกต์เฟอร์โรซีเมนต์ในการเสริมกำลังพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

เฟอร์โรซีเมนต์สามารถนำไปประยุกต์ในการเสริมความแข็งแรงพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กได้ โดยมีหลักการและขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับการเสริมกำลังผนังอิฐ ดังนี้ ให้นำเหล็กตะแกรงที่มีลวดกรงไก่ทาบอยู่ไปวางทาบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วยึดด้วยตะปู จากนั้นฉาบปูนมอร์ตาร์ปิด (รูปที่ 6.10)



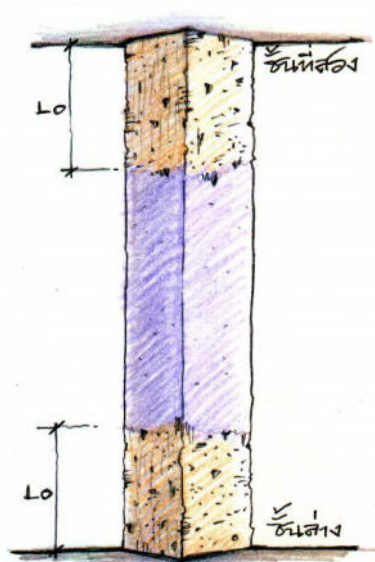
รูปที่ 6.10 การใช้เฟอร์โรซีเมนต์เสริมกำลังพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.3.3 การประยุกต์ใช้เฟอโรซีเมนต์ในการเสริมกำลังเสา

สำหรับเสาที่มีขนาดไม่เกิน 300 มม. การหุ้มเสาด้วยเฟอโรซีเมนต์เป็นทางเลือกที่ราคาประหยัด เนื่องจากใช้วัสดุเพียง เหล็กกลมขนาด 6 มม. หรือ 9 มม. ตะแกรงลวดกรงไก่ ปูนซีเมนต์ โครงสร้างหรือปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 สำหรับบริเวณที่จะทำการเสริมกำลังได้แก่ บริเวณโคนเสาวัดขึ้นมา 400-500 มม. และบริเวณหัวเสาวัดลงมา 400-500 มม. หรืออาจเสริมเสาทั้งต้นเลยก็ได้

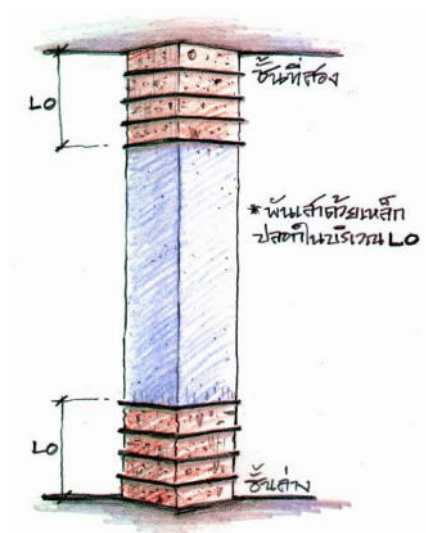
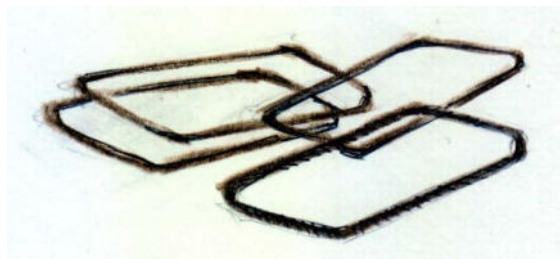
สำหรับขั้นตอนในการหุ้มเสาด้วยเฟอโรซีเมนต์มีดังนี้

1. ให้สกัดผิวคอนกรีตให้มีความหนาในระย L_0 (ระย L_0 เท่ากับ 400-500 มม. และต้องไม่น้อยกว่ามิติของเสาด้านที่ยาวกว่า) ที่โคนและหัวเสาที่จะหุ้มด้วยเฟอโรซีเมนต์ (ดูรูปที่ 6.11 (ก))

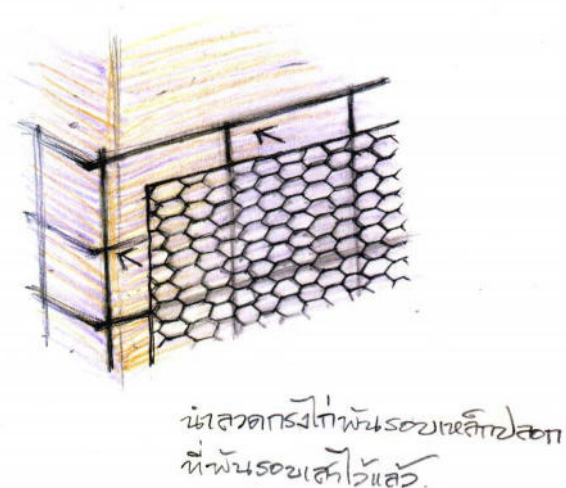
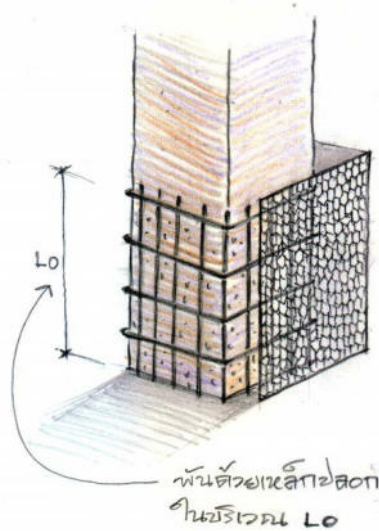


รูปที่ 6.11 (ก) สกัดหยาบผิวคอนกรีตในบริเวณที่จะเสริมเฟอโรซีเมนต์

2. เตรียมเหล็กปลอกโดยใช้เหล็กกลมขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. ตัดเป็นวง หากไม่สามารถงอเหล็กปลอกเป็นวงปิดได้ ให้ตัดเหล็กและงอเหล็กปลอกเป็นรูปตัวยู แล้วนำมาประกบกันเป็นวง ให้มีระยะเรียงของเหล็กปลอกอยู่ระหว่าง 50-75 มม. ตลอดระยะ L_0 (ดูรูปที่ 6.11 (ข))
3. พันลวดกรงไกรอบเหล็กปลอกที่ได้พันรอบเสาไว้แล้ว (ดูรูปที่ 6.12 (ก))
4. ผสมปูนซีเมนต์เข้ากับทรายและน้ำให้หมาดๆ (ดูรูปที่ 6.12 (ข))



รูปที่ 6.11 (ข) เสริมเหล็กปลอกในช่วงวิกฤติ



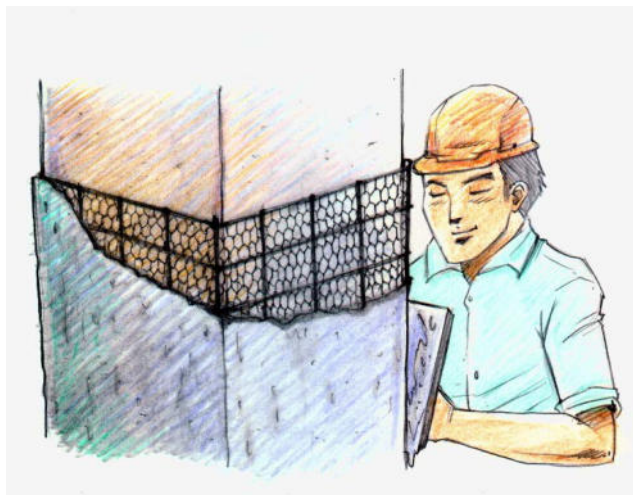
รูปที่ 6.12 (ก) การติดตั้งลวดกรงไก่ เข้ากับตัวเสาที่เสริมเหล็กโครงแล้ว

5. จากนั้นฉาบปูนมอร์ตาร์ที่ผสมแล้วนี้ บนลวดกรงไก่ (ดูรูปที่ 6.12 (ค)) จนได้ความหนาประมาณ 20 มม. รอบๆเสาเดิม โดยในช่วงเวลานี้ซึ่งปูนมอร์ตาร์ยังเหลวและไม่มีกำลัง ลวดกรงไก่จะทำหน้าที่เป็นโครงให้ปูนมอร์ตาร์ยึดเกาะ

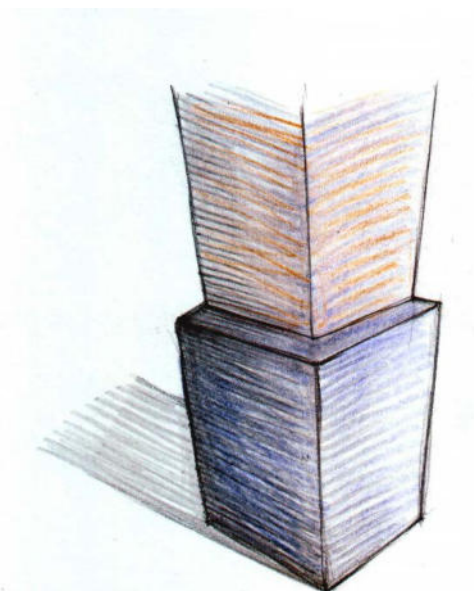
6. รอกันกว่าปูนจะแข็งตัวและได้กำลังรับน้ำหนักที่ต้องการ โดยในช่วงเวลานี้ ลวดกรงไก่จะทำหน้าที่เป็นเส้นใยที่เสริมความแข็งแรงให้กับปูนมอร์ตาร์ (ดูรูปที่ 6.12 (ง))



รูปที่ 6.12 (ข) ผสมมอร์ตาร์ เพื่อทำการฉาบ



รูปที่ 6.12 (ค) ฉาบปูนมอร์ตาร์ลงบนพื้นที่ๆ พื้นลวดกรงไก่ไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 6.12 (ง) ทำการบ่มปูนมอร์ตาร์เหมือนคอนกรีตทั่วไปจนวัสดุเสริมกำลังมีความแข็งแรง

6.3.4 การเสริมความแข็งแรงคานโดยใช้เฟอร์โรซีเมนต์

เฟอร์โรซีเมนต์สามารถนำมาใช้เสริมความแข็งแรงคานเช่นกัน โดยมีการใช้งานได้สองรูปแบบคือ

1. การทำคานชอยเฟอร์โรซีเมนต์ ดังรูปที่ 6.13 ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (รูปที่ 6.14)

- 1.1 เตรียมโครงเหล็กพร้อมลวดกรงไก่ให้เป็นรูปคาน
- 1.2 ยกโครงเหล็กติดตั้งได้ท้องพื้น พร้อมทำค้ำยันรองรับโครงเหล็ก
- 1.3 ฉาบปูนมอร์ตาร์บนโครงเหล็ก
- 1.4 จะได้คานชอยเฟอร์โรซีเมนต์เสร็จเรียบร้อยพร้อมใช้งาน

2. การใช้เหล็กเดือยเจาะเสียบข้างคาน เพื่อทำหน้าที่เป็นเหล็กปลอกต้านแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 6.15 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 2.1 เจาะรูในคานเดิม ทำความสะอาดรูเจาะ แล้วอุดด้วยกาวอีพอกซีเสียบเหล็ก
- 2.2 เตรียมเหล็กกลมเป็นรูปตัว U หรือ ตัว C (เหล็กตัว U จะให้ผลที่ดีกว่า) ดัง

แสดงในรูปที่ 6.16

2.3 เสียบเหล็กเข้าไปในรูเจาะเพื่อทำให้เกิดเป็นโครงเหล็ก โดยระยะห่างระหว่างเหล็กแต่ละเส้นควรกำหนดโดยวิศวกร ซึ่งขึ้นกับกำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการ

- 2.4 นำลวดกรงไก่มาพับรอบเหล็กโครง
- 2.5 ฉาบด้วยปูนมอร์ตาร์ ดังรูปที่ 6.17

ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังโดยใช้เทคนิคการเจาะเสียบเหล็กเดือยข้างคาน ได้รับการยืนยันจากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 6.18



รูปที่ 6.13 ตัวอย่างคานชอยเฟอโรซีเมนต์



ขั้นที่ 1 การเตรียมโครงเหล็กพร้อมลวดกรงไก่



ขั้นที่ 2 การยกติดตั้งใต้พื้น



ขั้นที่ 3 การฉาบมอร์ตาร์บนโครงเหล็ก



ขั้นที่ 4 คานชอยเฟอโรซีเมนต์เสร็จเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 6.14 ขั้นตอนการติดตั้งคานชอยเฟอโรซีเมนต์



รูปที่ 6.15 ตัวอย่างการประยุกต์เฟอโรซีเมนต์เสริมกำลังต้านแรงเฉือนให้แก่คาน



เหล็กเสริมรูปตัวยู

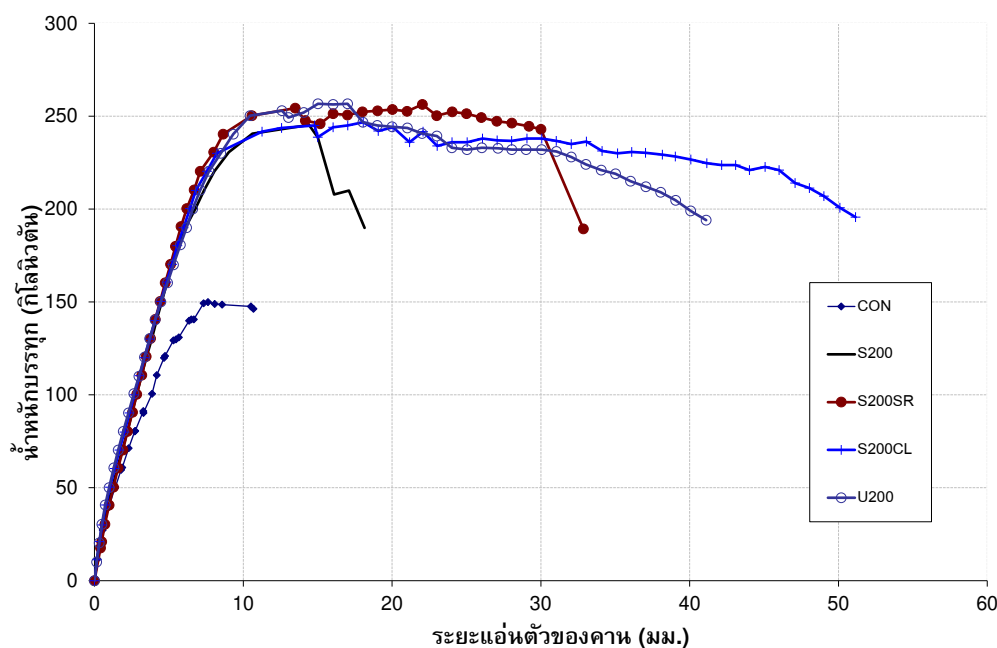


เหล็กเสริมรูปตัวซี

รูปที่ 6.16 เหล็กเดือยเสริมข้างคาน



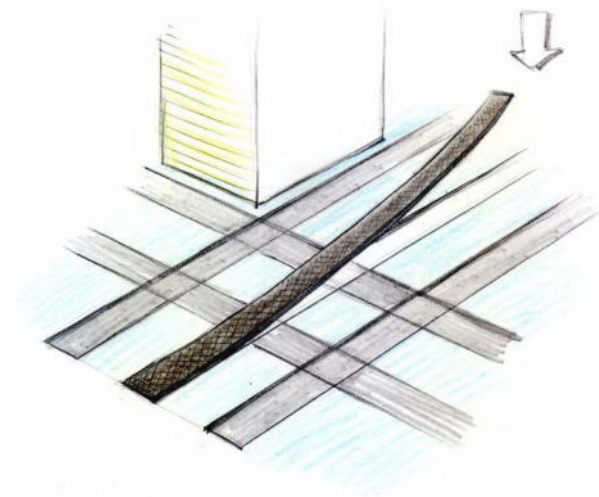
รูปที่ 6.17 การฉาบปูนบนโครงเหล็กลดตาข่าย



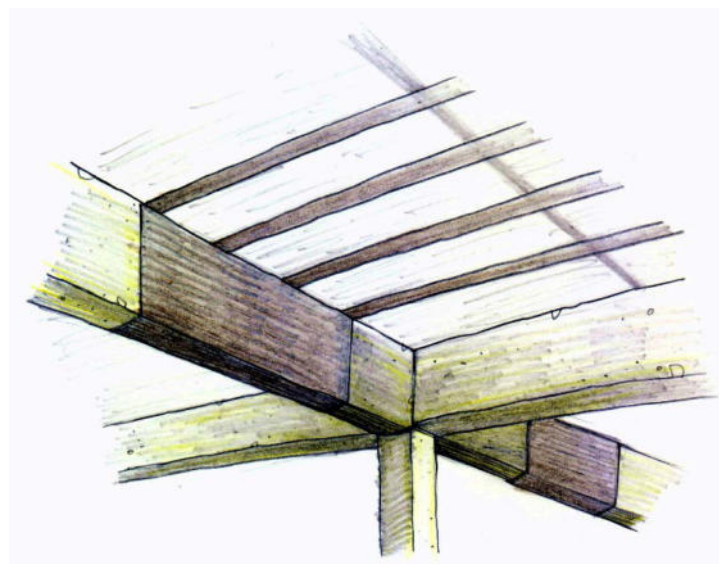
รูปที่ 6.18 ประสิทธิภาพของการเสริมกำลังคานด้วยเฟอโรซีเมนต์

6.4 การเสริมความแข็งแรงพื้นและคานโดยใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

การเสริมกำลังพื้นและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ได้ โดยทำการติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ชนิดเพลทหรือลามิเนตที่ใต้ท้องคานหรือพื้นเพื่อรับโมเมนต์บวก และติดที่ด้านบนของคานหรือพื้นเพื่อรับโมเมนต์ลบ ดังรูปที่ 6.19 แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดให้แก่พื้นและคานได้เป็นอย่างดี สำหรับการเสริมกำลังคานเพื่อรับแรงเฉือน นิยมใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ชนิดซีทหรือฟาบรีค พันรอบหน้าตัดคานเป็นรูปตัวยู หรือติดด้านข้างคาน ดังรูปที่ 6.20 การติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะใช้กาวอีพอกซีเป็นตัวยึดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์กับโครงสร้างเดิม การติดตั้งควรใช้ผู้รับเหมาที่มีความชำนาญด้านนี้โดยตรงและต้องมีวิศวกรออกแบบ



รูปที่ 6.19 การติดตั้งแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์บนพื้นเพื่อรับโมเมนต์ลบ



รูปที่ 6.20 การใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เสริมกำลังคาน

6.5 การเสริมความแข็งแรงข้อต่อคานเสาด้วยบั้งคอนกรีตและบั้งเหล็ก

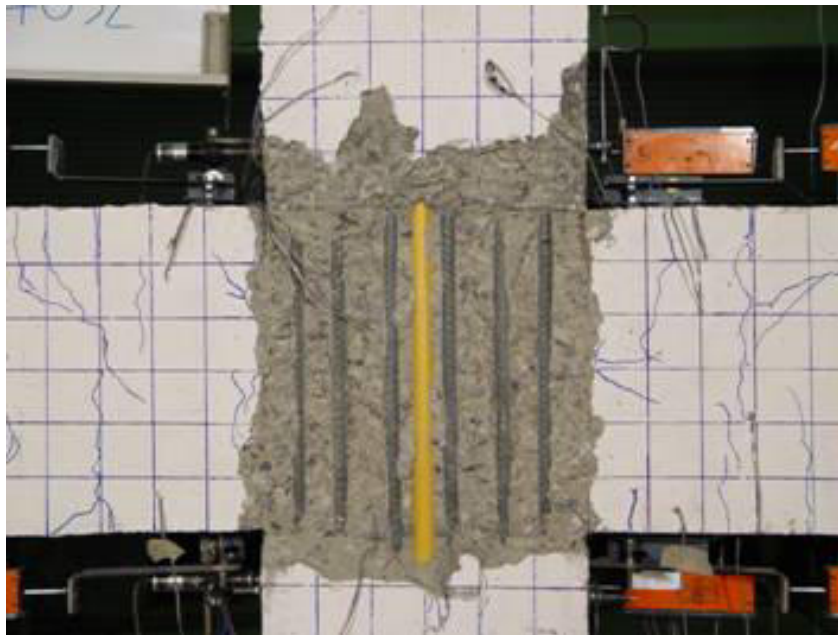
การวิบัติอีกรูปแบบหนึ่งที่พบได้บ่อยเมื่อเกิดแผ่นดินไหวคือการวิบัติเฉือนที่จุดต่อคานเสา ดังแสดงในรูปที่ 6.21 ข้อต่อจึงถือได้ว่าเป็นบริเวณที่วิกฤติบริเวณหนึ่งของโครงสร้าง การเสริมความแข็งแรงข้อต่อคานเสาทำได้โดยการติดบั้งคอนกรีตหรือบั้งเหล็กที่มุมของข้อต่อ ซึ่งทำให้ข้อต่อมีขนาดใหญ่และมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถต้านทานแรงเฉือนได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.22 โดยบั้งที่ใช้เสริมที่มุมข้อต่ออาจทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็กหรือใช้แผ่นเหล็กก็ได้ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(ก) การเสริมบั้งคอนกรีต (รูปที่ 6.23)

1. เจาะรูในคานและเสาและเสียบเหล็กเพื่อทำเป็นโครง โดยฝังยึดเหล็กในรูเจาะด้วยกาวอีพอกซี
2. ตั้งแบบหล่อแล้วเทปูนเกร้าท์
3. รอจนกว่าปูนเกร้าท์จะแข็งตัวดี จึงถอดแบบหล่อออก

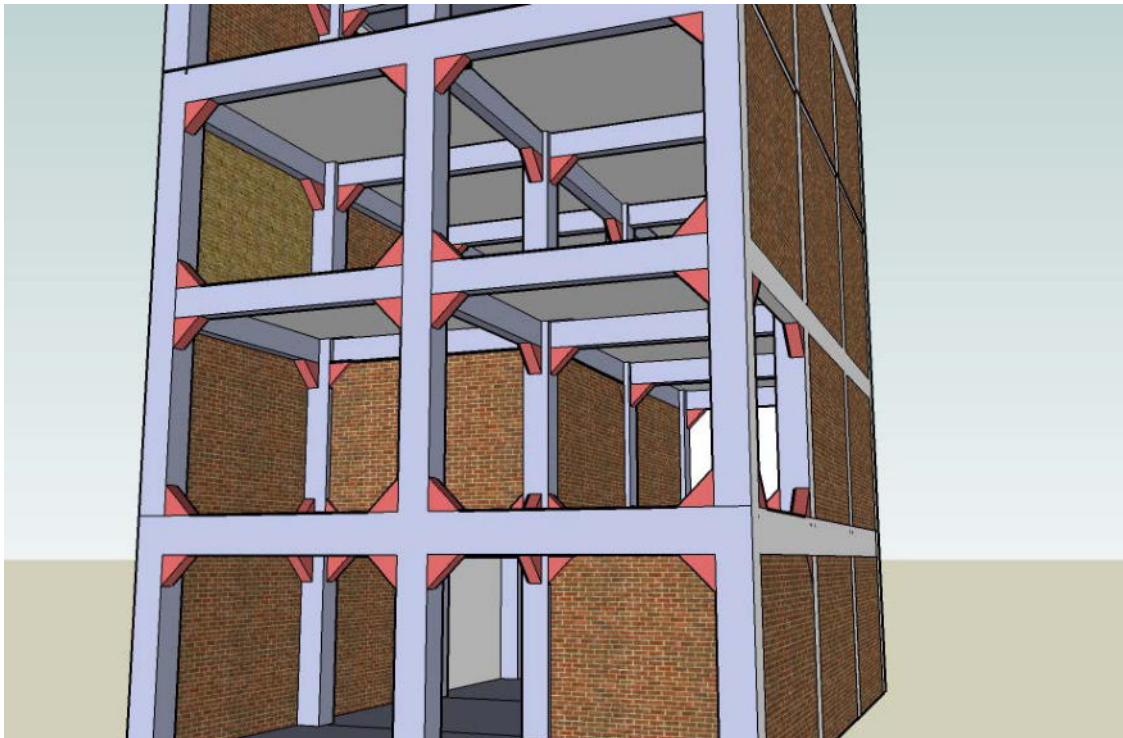
(ข) การติดตั้งบั้งเหล็ก (รูปที่ 6.24)

1. เจาะรูในคานและเสาเพื่อเตรียมติดตั้งบั้งเหล็กที่ได้เตรียมไว้แล้ว
2. ชนหนีดยึดบั้งเหล็กกับคานและเสา¹



รูปที่ 6.21 การวิบัติเฉือนในข้อต่อ

¹ เพื่อให้บั้งเหล็กแนบกับคานและเสา อาจใช้ปูนมอร์ต้าระหว่างผิวสัมผัสเพื่อให้การถ่ายแรงดีขึ้น



รูปที่ 6.22 แนวคิดการติดตั้งบั้งเสริมความแข็งแรงข้อต่อ



ชั้นที่ 1 เสียบเหล็กโครงในรูเจาะแล้วฝังยึดด้วยกาวอีพอกซี



ขั้นที่ 2 เตรียมแบบหล่อแล้วเทปูนเกร้าท์



ขั้นที่ 3 รอจนกว่าปูนเกร้าท์จะแข็งตัวจึงถอดแบบหล่อ

รูปที่ 6.23 ขั้นตอนการเสริมบั้งคอนกรีต



การเจาะรูในเสาและคาน



การขันน็อตเพื่อยึดบั้งเหล็กกับเสาคอนกรีต

รูปที่ 6.24 การติดตั้งบั้งเหล็กเสริมกำลังข้อต่อคานเสา

ข้อพึงระวัง สำหรับการเสริมด้วยบั้งคอนกรีตหรือบั้งเหล็กนี้ แม้ว่าจะทำให้ข้อต่อแข็งแรงขึ้นแต่จะทำให้คานและเสาสั้นลง ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการวิบัติเฉือนในคานและเสา ดังนั้นการใช้งานบั้งคอนกรีตและบั้งเหล็ก จึงควรตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนของคานและเสา และควรปรึกษาวิศวกร

6.6 การเสริมบั้งเหล็กป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุในแผ่นพื้นไร้คาน

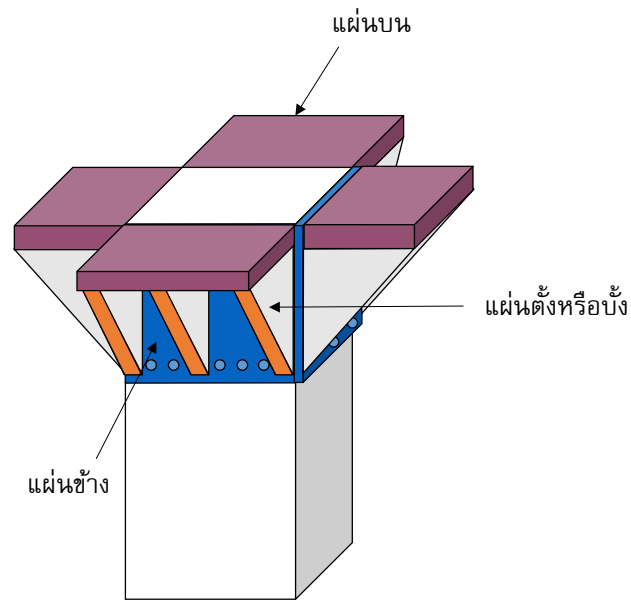
โครงสร้างแผ่นพื้นไร้คาน เป็นที่นิยมก่อสร้างมากเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ การก่อสร้างทำได้ง่ายและรวดเร็ว การเก็บงานทางสถาปัตยกรรมทำได้ง่ายเนื่องจากเป็นพื้นท้องเรียบและลดความสูงของชั้นอาคารลงได้ แต่โครงสร้างพื้นไร้คานมีจุดอ่อนทางโครงสร้าง โดยเฉพาะที่บริเวณหัวเสาซึ่งอาจเกิดการวิบัติเฉือนทะลุได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่พื้นบาง ดังรูปที่ 6.25

การป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุในโครงสร้างพื้นไร้คานที่ก่อสร้างแล้วนั้น สามารถทำได้โดยการติดตั้งบำเหล็กที่บริเวณหัวเสา โดยบำเหล็กประกอบด้วย (ก) แผ่นบน (Top Plate) (ข) แผ่นข้าง (Side Plate) และ (ค) แผ่นตั้งหรือบัง (Stiffener) ดังรูปที่ 6.26 การติดตั้งบำเหล็กอาศัยการยึดด้วยนอตเคมี และกาวยึดระหว่างแผ่นข้างและเสา การเจาะรูเพื่อฝังยึดนอตต้องระวังไม่ให้โดนเหล็กเสริมในเสา การติดตั้งจะปล่อยให้ช่องว่างระหว่างแผ่นบนและท้องพื้นประมาณ 30-40 มม. จากนั้นจะเทปูนเกร้าท์เข้าไปในช่องว่างนี้เพื่อให้ท้องพื้นสัมผัสกับแผ่นบนอย่างเต็มที่ เพื่อให้เกิดการถ่ายแรงได้อย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างการติดตั้งบำเหล็กแสดงดังในรูปที่ 6.27

สำหรับการป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากจะมีโมเมนต์ไม่สมดุล ถ่ายเข้าสู่เสาด้วย ดังนั้นนอกจากการใช้นอตยึดระหว่างแผ่นข้างและเสาแล้ว จะต้องใช้นอตยึดระหว่างแผ่นบนและพื้นด้วย



รูปที่ 6.25 การวิบัติเฉือนทะลุในพื้นไร้คาน
(ที่มา: <http://failuremechanisms.wordpress.com>)



รูป 6.26 แนวความคิดของบ่าเหล็ก



(ที่มา : บริษัท Smart and Bright)

รูปที่ 6.27 ตัวอย่างการติดตั้งบ่าเหล็กเพื่อป้องกันการวิบัติเฉือนทะลุในพื้นไร้คาน



บทที่ 7

การประเมินโครงสร้าง (STRUCTURAL EVALUATION)

เมื่อโครงสร้างต้องเผชิญกับแผ่นดินไหวและเกิดความเสียหาย คำถามจะเกิดขึ้นทันทีว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างจะสร้างอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยหรือไม่ ในบทนี้จะอธิบายขั้นตอนในการประเมินโครงสร้างที่ได้รับ ความเสียหายจากแผ่นดินไหว รวมถึงวิธีการเสริมกำลังในเสาบ้านอย่างง่าย

7.1 สาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น

ในเหตุการณ์แผ่นดินไหว 6.3 ริคเตอร์ ที่จังหวัดเชียงรายเมื่อวันที่ 5 พ.ค. 2557 ที่ผ่านมาก่อให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างบ้านเรือนมากมายอย่างไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนในประเทศไทย ผู้เขียนได้ลงพื้นที่สำรวจอาคารที่เสียหาย และได้ประมวลข้อมูลเพื่อหาสาเหตุของความเสียหายของโครงสร้างที่เกิดขึ้น จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ พอที่จะสรุปในเบื้องต้นได้ว่ามีสาเหตุหลายประการที่ทำให้อาคารได้รับความเสียหายอย่างมากมาย โดยสามารถจำแนกออกได้เป็น 5 สาเหตุหลักดังนี้

(ก) การก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐานทางวิศวกรรม

ในการวิเคราะห์ความเสียหายของอาคารที่เกิดขึ้นพบว่า มีการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐานทางวิศวกรรมเป็นจำนวนมาก เช่น เสามีขนาดที่เล็กเกินไปไม่สอดคล้องกับขนาดของคาน ในพื้นที่พบว่าการก่อสร้างเสาที่มีขนาดเพียง 150-200 มม. ซึ่งเป็นเสาที่เล็ก ไม่เหมาะสมที่จะต้านแผ่นดินไหว นอกจากนี้ ยังพบว่าการใส่เหล็กในเสาไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เช่นอาคารบางหลังใส่เหล็กแกนในเสาเพียงแค่ 2 เส้นเท่านั้น ทั้งๆที่ตามมาตรฐานการออกแบบ ต้องใส่เหล็กเสริมในเสาอย่างน้อย 4 เส้น ที่มุมทั้ง 4 มุม นอกจากนั้น เหล็กปลอกหรือเหล็กที่พันเป็นวงรอบเหล็กแกนก็มีขนาดที่เล็กเกินไป เช่นใช้เหล็กขนาด 4 มม. เป็นเหล็กปลอกทั้งๆที่ตามมาตรฐานการออกแบบต้องใช้เหล็กปลอกที่มีขนาดอย่างน้อย 6 มม. ขึ้นไป

(ข) ชั้นอ่อนของอาคาร

เป็นการวิบัติที่พบเห็นได้ทั่วไปในเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เชียงราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบ้านที่เดิมก่อสร้างเป็น 2 ชั้น แต่เมื่อเกิดแผ่นดินไหว เสาชั้นล่างถูกทำลายอย่างยับเยิน แล้วทำให้ชั้นที่สองของบ้านลงมากองอยู่กับพื้นดินแทน ดังรูปที่ 7.1 การวิบัติแบบนี้เรียกว่าการวิบัติของชั้นอ่อน (Soft Story) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อชั้นล่างของอาคารเปิดโล่งหรือทำเป็นใต้ถุนบ้าน ซึ่งการเปิดโล่งนี้ทำให้เสาชั้นล่างอ่อนแอ เมื่อเทียบกับเสาชั้นบนที่มีฝาบ้าน (ผนังอิฐหรือแผ่นไม้) ยึดตรึงเสาชั้นบนเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้เสาชั้นบนมีความแข็งแรงมากกว่า ด้วยเหตุนี้ เสาชั้นล่างจึงกลายเป็นจุดอ่อนของอาคาร และจะถูกทำลายโดยแผ่นดินไหวไปก่อน จากนั้นจึงทำให้ชั้นที่สองของอาคารพังถล่มลงมากองอยู่ที่พื้นดินแทน



รูปที่ 7.1 ชั้นอ่อนของอาคาร

(ที่มา : ดร. อีระพจน์ ศุภวิริยะกิจ, มหาวิทยาลัยพะเยา)



รูปที่ 7.2 การวิบัติของเสาตอม่อ (เสาสั้น)

(ที่มา : ดร. อีระพจน์ ศุภวิริยะกิจ, มหาวิทยาลัยพะเยา)

(ค) การวิบัติของเสาสั้นหรือเสาตอม่อ

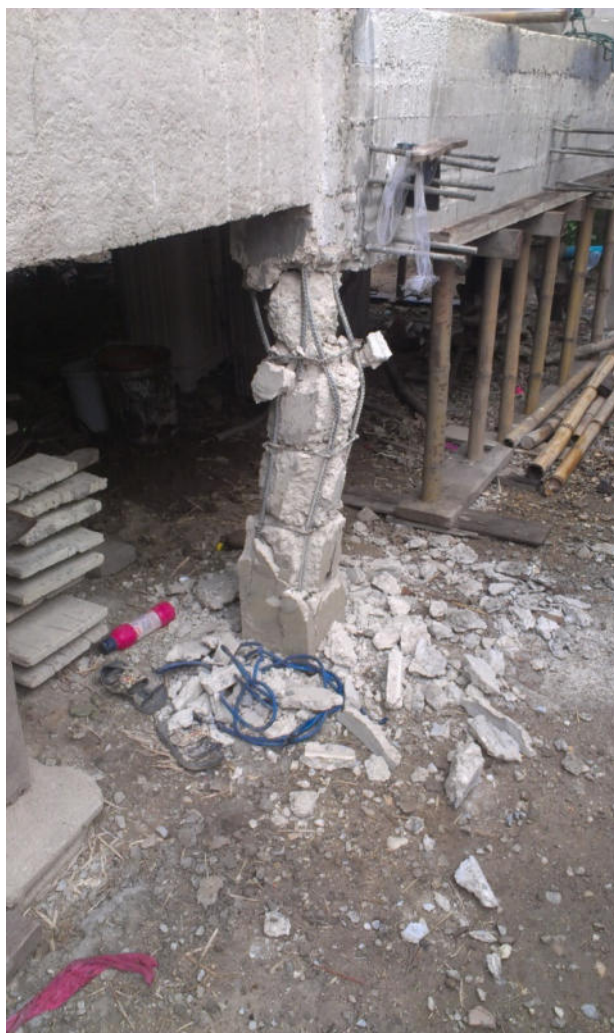
เสาตอม่อคือเสาที่อยู่ใต้พื้นชั้นล่างของบ้าน เป็นเสาสั้นๆ ที่มีความสูงเพียงแค่ประมาณ 500-1,000 มม. แต่เป็นเสาที่มีความสำคัญมากเนื่องจากต้องรับน้ำหนักของเสาที่อยู่ชั้นบน จากการสำรวจความเสียหายของอาคาร พบว่าเสาตอม่อได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก ดังรูปที่ 7.2 ซึ่งสาเหตุเกิดจากแรงแผ่นดินไหวทำให้เสาตอม่อเฉือนขาดหรือเกิดการวิบัติที่ปลายบนและปลายล่าง และเมื่อเสาตอม่อวิบัติไปแล้วก็ทำให้เสาชั้นบนทรุดลงตามมาและเกิดการวิบัติในที่สุด นอกจากเสาตอม่อที่จัดว่าเป็นเสาสั้นแล้ว ยังมีเสาสั้นอีกประเภทหนึ่งซึ่งเกิดจากการก่อผนังอิฐที่ไม่เต็มผืน ก็จะทำให้เสาได้รับความเสียหายในบริเวณที่ก่อผนังอิฐไม่เต็มผืนได้เช่นกัน

(ง) ระยะห่างของเหล็กปลอกมากเกินไป

หัวใจสำคัญของความแข็งแรงของโครงสร้างอาคารต้านแผ่นดินไหวอยู่ที่การเสริมเหล็กปลอก หรือเหล็กที่พันเป็นปล้องๆ รอบเหล็กแกนของเสา เมื่อเกิดแผ่นดินไหว คอนกรีตในเสาจะแตกระเบิดและหลุดแยกออกจากกันเป็นชิ้นๆ เหล็กปลอกจะช่วยยึดคอนกรีตไว้ไม่ให้หลุดออกจากกัน และยังช่วยประคองเหล็กแกนไม่ให้ดุ้งหรือคดงอเสียรูปอีกด้วย อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างนั้น พบว่าการเสริมเหล็กปลอกในเสาเว้นระยะห่างมากเกินไป เช่น เสาขนาด 200 มม. พบการเรียงเหล็กปลอกที่ระยะ 200 มม. ดังรูปที่ 7.3 เป็นต้น ซึ่งตามมาตรฐานการออกแบบระบุว่า ระยะเรียงของเหล็กปลอกจะต้องไม่เกิน ครึ่งหนึ่งของความกว้างเสาหรือเท่ากับ 100 มม. เท่านั้น จะเห็นว่าระยะเรียงของเหล็กปลอกที่ใส่กันนั้นมากเกินไปกว่ามาตรฐานถึงสองเท่า จึงไม่สามารถป้องกันคอนกรีตแตกระเบิดและการคดงอของเหล็กแกนได้

(จ) การยึดระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ไม่เพียงพอ

การวิบัติอีกรูปแบบหนึ่งที่พบเห็นคือ การหลุดแยกออกจากกันระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ เช่น คานหลุดแยกจากเสา พื้นหลุดแยกจากคาน เป็นต้น สาเหตุเกิดจากการใส่เหล็กยึดระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ไม่เพียงพอหรือมีระยะฝังเหล็กที่น้อยเกินไป หลักสำคัญของการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างคือจะต้องยึดชิ้นส่วนต่างๆ เช่น คาน เสา และพื้นเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งทำได้โดยการฝังเหล็กจากชิ้นส่วนหนึ่งเข้าไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่งโดยต้องมีความยาวของการฝังเหล็กที่เพียงพอหรือต้องทำองศาที่ปลายเหล็กเพื่อยึดโครงสร้างเข้าด้วยกัน แต่จากการสังเกตโครงสร้างที่เสียหายในคราวนี้พบว่าการฝังเหล็กไม่เพียงพอ เช่น เหล็กเสริมในคานที่ฝังเข้าไปในเสาด้านนอกนั้น มีระยะฝังเพียงแค่ 50-100 มม. เท่านั้น โดยไม่ได้ออกจากเข้าไปในเสาจึงทำให้คานและเสาหลุดแยกจากกัน แล้วทำให้โครงสร้างถล่มเสียหาย



รูปที่ 7.3 ระยะเรียงของเหล็กปลอกที่มากเกินไป
(ที่มา : ดร. อีระพจน์ ศุภวิริยะกิจ, มหาวิทยาลัยพะเยา)

7.2 แนวทางการจัดการโครงสร้างที่ได้รับความเสียหาย

จากเหตุแผ่นดินไหว 6.3 ริกเตอร์ที่จังหวัดเชียงรายนั้น ได้เกิดความเสียหายขึ้นกับโครงสร้างจำนวนมาก คำถามคือจะดำเนินการกับโครงสร้างที่เสียหายได้อย่างไร ผู้เขียนได้เสนอแนวทางการดำเนินการโครงสร้างไว้ 3 แนวทาง คือ (ก) ซ่อม (ข) ซ่อมและเสริม และ (ค) รื้อถอนแล้วสร้างใหม่ ขึ้นอยู่กับระดับความเสียหายที่เกิดขึ้น การจะดำเนินการกับโครงสร้างที่เสียหายตามแนวทางใดนั้น จะต้องพิจารณาระดับความเสียหายเสียก่อน ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ระดับคือ ระดับ 1 เล็กน้อย ระดับ 2 ปานกลาง ระดับ 3 มาก และระดับที่ 4 มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 7.4 การตรวจสอบว่าโครงสร้างเสียหายระดับไหน ให้พิจารณาดังตารางที่ 7.1 ดังนี้

ตารางที่ 7.1 ระดับความรุนแรงของโครงสร้างภายใต้แรงแผ่นดินไหว

ระดับความเสียหาย	โครงสร้าง	รอยร้าว	คอนกรีต	เหล็กเสริม
ระดับ 1	ไม่ทรุด ไม่เอียง ไม่ดัดงอ	เล็กน้อย	กะเทาะหลุดที่ผิวเท่านั้น	ไม่เห็นเหล็กเสริม
ระดับ 2	ไม่ทรุด ไม่เอียง ไม่ดัดงอ	ปานกลาง	คอนกรีตส่วนหุ้มเหล็ก กะเทาะหลุดออก	เห็นเหล็กเสริม แต่ เหล็กเสริมยังไม่ดัดงอ
ระดับ 3	ทรุด เอียง ดัดงอ เล็กน้อย	มาก กระจายไปทั่ว	คอนกรีตแตกเป็นชิ้นๆ ถึงเนื้อใน	เหล็กแกนดัดงอ เหล็กปลอกง้างออก หรือขาด
ระดับ 4	ทรุด เอียง ดัดงอ อย่างชัดเจน หรือ พังถล่มโดยสิ้นเชิง	มากที่สุด รอยร้าว ตัดแยกโครงสร้าง ออกเป็นช่วงๆ	ชิ้นส่วนโครงสร้างหลุด แยกเป็นชิ้นๆ หรือขาด เป็นช่วงๆ	เหล็กแกนและเหล็ก ปลอก ขาด ยึดออก เสียรูปอย่างมาก

ข้อสังเกต สำหรับบ้านที่ทรุดหรือเอียงแล้วนั้น ให้สังเกตว่า ประตูหน้าต่าง จะไม่สามารถปิดเปิดได้สนิทดังเดิมเนื่องจากโครงสร้างบิดเสียรูปไปแล้ว ส่วนความเสียหายของคอนกรีตและเหล็กเสริม นั้นให้สังเกตที่ปลายบนและปลายล่างของเสา รวมทั้งเสาใต้ฐานบ้านด้วย ซึ่งมักเป็นบริเวณที่ได้รับความเสียหายมากที่สุด

เมื่อได้จำแนกความเสียหายแล้ว จึงพิจารณาแนวทางดำเนินการโครงสร้างตามที่แนะนำไว้ 3 ทางข้างต้นดังนี้ (ดูตารางที่ 7.2)

ตารางที่ 7.2 การซ่อมแซมตามระดับขั้นของความเสียหาย

ระดับความเสียหาย	แนวทาง	วิธีการ	ผู้ทำได้
ระดับ 1	ซ่อม	ใช้ปูนมอร์ตาร์ (ปูน+ทราย+น้ำ) ฉาบปิดบริเวณที่ผิวคอนกรีตหลุดออก	ชาวบ้าน/ช่าง
ระดับ 2	ซ่อม + เสริมเหล็กปลอก	เสริมเหล็กปลอกเพิ่มเติม จากนั้นซ่อมผิวโดยใช้ปูนมอร์ตาร์ (ปูน+ทราย+น้ำ) ฉาบปิดบริเวณที่คอนกรีตหุ้มกะเทาะหลุดออก	ชาวบ้าน/ช่าง
ระดับ 3	ซ่อม + เสริมเหล็กปลอก + เสริมเหล็กแกน หรือเปลี่ยนเสาใหม่	ทำตามขั้นตอนในหัวข้อถัดไป	ช่างและวิศวกร
ระดับ 4	รื้อทิ้ง + สร้างใหม่	โครงสร้างหรือส่วนโครงสร้างที่ทรุดเอียงหรือบิดงออย่างชัดเจนหรือพังถล่มโดยสิ้นเชิง ใช้การไม่ได้แล้ว ต้องรื้อทิ้งแล้วสร้างใหม่เท่านั้น	ช่างและวิศวกร



ความเสียหายระดับที่ 1 เล็กน้อย



ความเสียหายระดับที่ 2 ปานกลาง



ความเสียหายระดับที่ 3 รุนแรง



ความเสียหายระดับที่ 4 รุนแรงที่สุด

รูปที่ 7.4 การจำแนกระดับความเสียหายที่เกิดขึ้น

สำหรับความเสียหายระดับที่ 3 เป็นความเสียหายที่รุนแรงมากแต่โครงสร้างยังไม่ถึงขั้นพังถล่ม การซ่อมแซมและเสริมเหล็ก ชาวบ้านไม่ควรทำกันเอง เพราะขั้นตอนการซ่อมอันตรายมากและโครงสร้างอาจพังถล่มได้ทุกเมื่อ จึงต้องอาศัยวิศวกรและช่างก่อสร้างดำเนินการ และต้องทำค้ำยันโครงสร้างไว้ตลอดเวลาที่ทำการซ่อม สำหรับขั้นตอนการซ่อมและเสริมนั้น ขอเสนอวิธีหนึ่งที่ช่างก่อสร้างคุ้นเคยกันดี โดยจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

7.3 การซ่อมแซมเสาด้วยวิธีเสริมกรงเหล็กหุ้มเสา

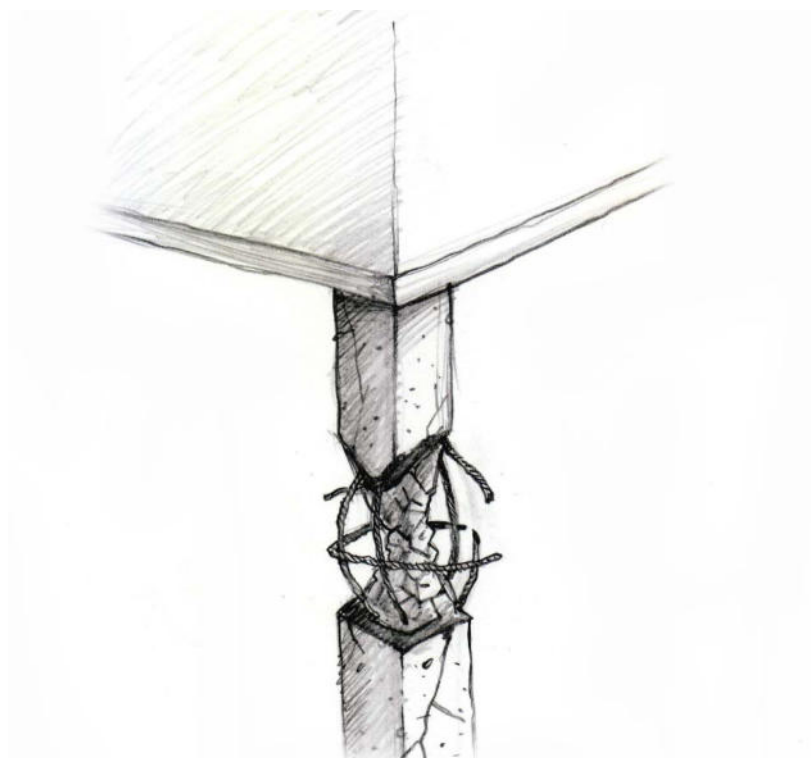
สำหรับเสาที่ได้รับความเสียหายจากแรงแผ่นดินไหว จะพบคอนกรีตแตกร้าว หลุดแยกๆ เป็นชิ้น เหล็กปลอกงอออก และเหล็กแกนคดงอ โดยมักเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนและปลายด้านล่างของเสา ทั้งนี้เสาดังกล่าวอาจซ่อมแซมได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับข้อพิจารณาว่าเสาขาดหรือไม่ ทั้งนี้มีแนวทางดังนี้

(ก) สำหรับกรณีที่เสาขาดอย่างรุนแรง ซึ่งจัดเป็นความรุนแรงระดับ 3 ปลายๆ หรือเสาบิดเบี้ยวเสียรูป หรือขาดเป็นชิ้นๆ และไม่สามารถรักษาแนวแกนเดิมของเสาได้ โดยเฉพาะเสาใต้ถุนบ้าน ดังรูปที่ 7.5 (ก) โครงบ้านจะทรุด และบิดเบี้ยวเสียรูป อาจต้องใช้แม่แรงไฮดรอลิกยกบ้านปรับระดับเสียก่อน จึงจะทำการซ่อมแซมเสา (รูปที่ 7.5 (ข)) ในขั้นตอนการใช้แม่แรงไฮดรอลิกยกบ้านนั้นเป็นขั้นตอนที่อันตรายมาก จะต้องอาศัยวิศวกรมาควบคุมการดำเนินงาน และจะต้องติดตั้งค้ำยัน

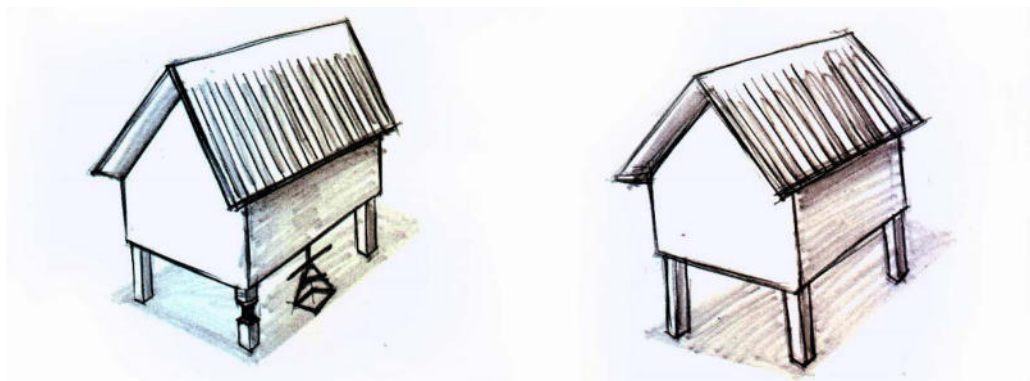
อยู่ตลอด สำหรับการซ่อมแซมเสา นั้น แนะนำให้เปลี่ยนเสาใหม่ทั้งต้นจะดีที่สุด ขอย้ำว่าในการเปลี่ยนเสาใหม่ทั้งต้น ชาวบ้านหรือช่างทั่วไปไม่ควรทำกันเอง ควรให้อยู่ภายใต้การกำกับของวิศวกร

(ข) สำหรับกรณีที่เสาแตกร้าวเสียหาย แต่ไม่ถึงขั้นขาดหลุดจากกัน ซึ่งจัดเป็นความเสียหายระดับ 3 ต้น ๆ ในกรณีนี้เสายังคงรักษาแนวแกนเดิมของเสาได้อยู่ แต่คอนกรีตแตกถึงเนื้อในแล้ว เหล็กแกนอาจคดงอ ในกรณีนี้ถือว่าตัวบ้านยังไม่ทรุดมากเกินไป และเสาเดิมยังสามารถรองรับน้ำหนักของอาคารได้อยู่ ในกรณีเช่นนี้อาจไม่ต้องเปลี่ยนเสาใหม่ เพียงแต่ซ่อมและเสริมเหล็กให้แก่เสาเดิมเท่านั้น ทั้งนี้แนวทางหนึ่งที่ขอแนะนำคือ การทำกรงเหล็กหุ้มเสา ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (ดูรูปที่ 7.6 (ก) และรูปที่ 7.7)

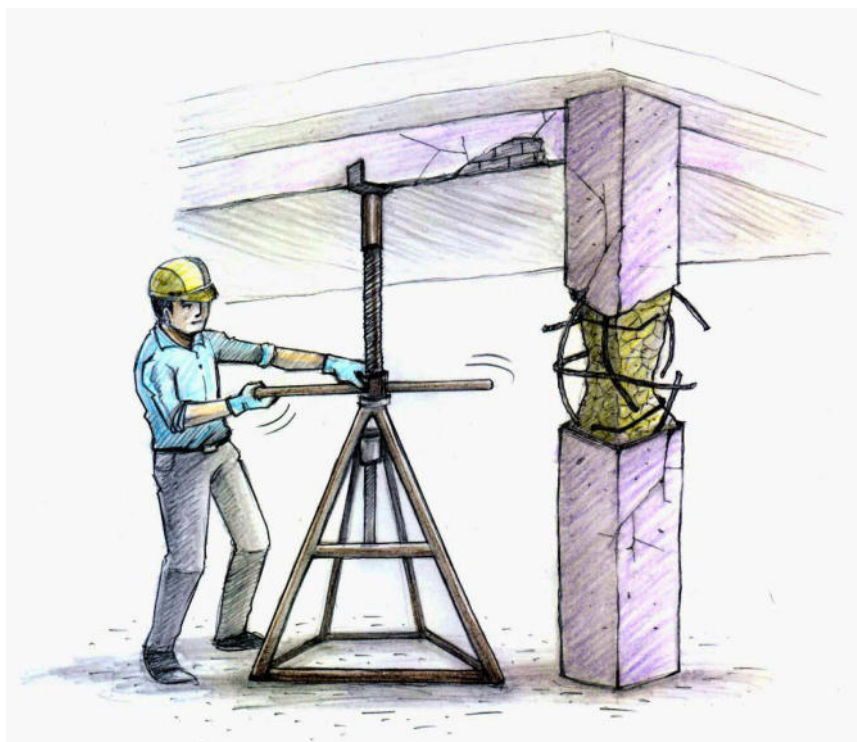
1. ค้ายันโครงสร้างบริเวณที่ต้องการซ่อม
2. สกัดปูนฉาบที่ผิวและคอนกรีตที่แตกร้าวด้านในออกมาให้เหลือเฉพาะเนื้อคอนกรีตส่วนที่แข็งแรง
3. เจาะรูในเสาคอนกรีต สำหรับเจาะเสียบเหล็ก
4. เสริมเหล็กแกนเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนเหล็กแกนในเสาเดิมโดยขนาดของเหล็กแกนที่เสริมใหม่นี้ไม่ควรเล็กกว่าเหล็กแกนเดิม การเสริมเหล็กแกนให้ดัดปลายเหล็กแกนงอฉากแล้วเสียบปลายเข้าไปในรูเจาะ โดยใช้กาวอีพอกซียึดระหว่างเหล็กและคอนกรีต
5. เสริมเหล็กปลอกขนาด 6 มม. หรือ 9 มม. ระยะเรียงไม่เกิน 75 มม. ตลอดความยาวเหล็กแกนที่เสริมเข้าไป การเสริมเหล็กปลอกควรดัดเหล็กปลอกเป็นรูปตัวยู แล้วนำมาประกบกันทั้งสองด้าน และใช้ลวดผูกเหล็กยึดเข้าด้วยกัน (ดูรูปที่ 7.6 (ข))
6. ตั้งแบบแล้วเทคอนกรีตหุ้มเสาเดิมให้ใหญ่ขึ้น หรือใช้แผ่นเหล็กทำเป็นแบบหล่อแล้วเทคอนกรีตลงไป
7. ให้คงค้ายันไว้ จนกว่าคอนกรีตจะแข็งตัวดี จึงถอดค้ายันออก



รูปที่ 7.5 (ก) กรณีเสาใต้ฐานบ้านขาดจากกัน



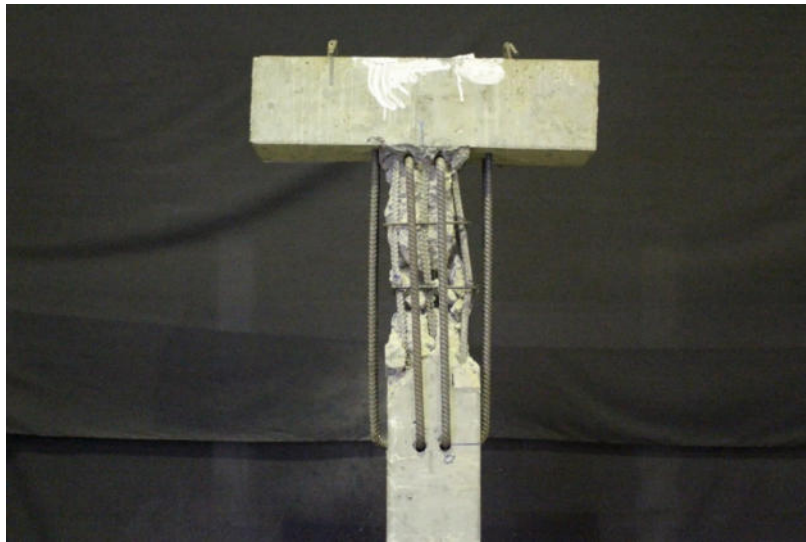
รูปที่ 7.5 (ข) การซ่อมเสาต่อม่อ ต้องมีการคำนวณเสียก่อน โดยรูปทางซ้ายแสดงการติดตั้งแม่แรงไฮดรอลิคเพื่อใช้ในการซ่อมแซมเสา และรูปทางขวามือ คือ กรณีที่ทำการซ่อมแซมและคืนสภาพให้อาคารแล้ว



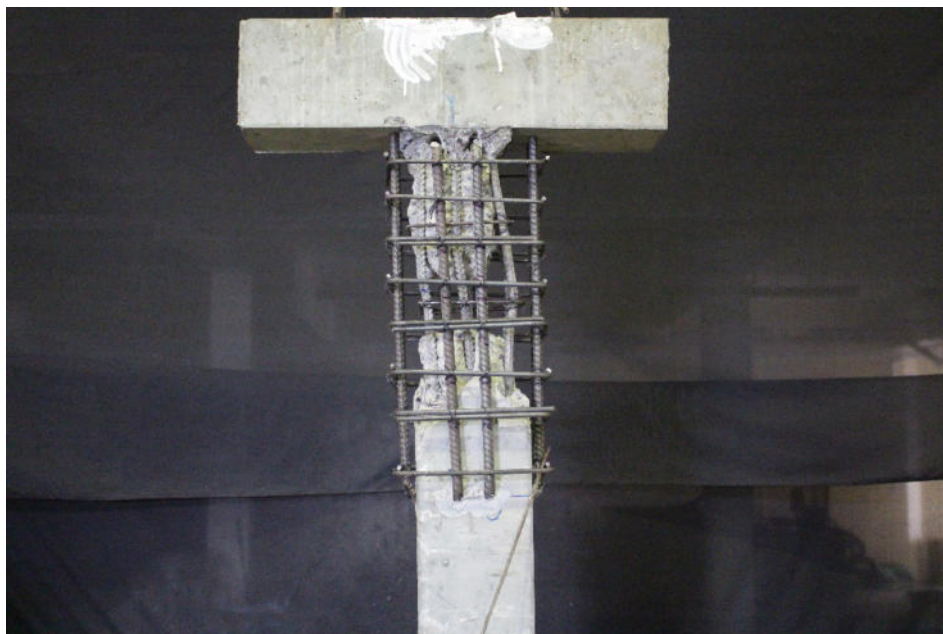
รูปที่ 7.5 (ค) การใช้แม่แรงไฮดรอลิค ปรับระดับบ้านก่อนการซ่อมแซมเสา



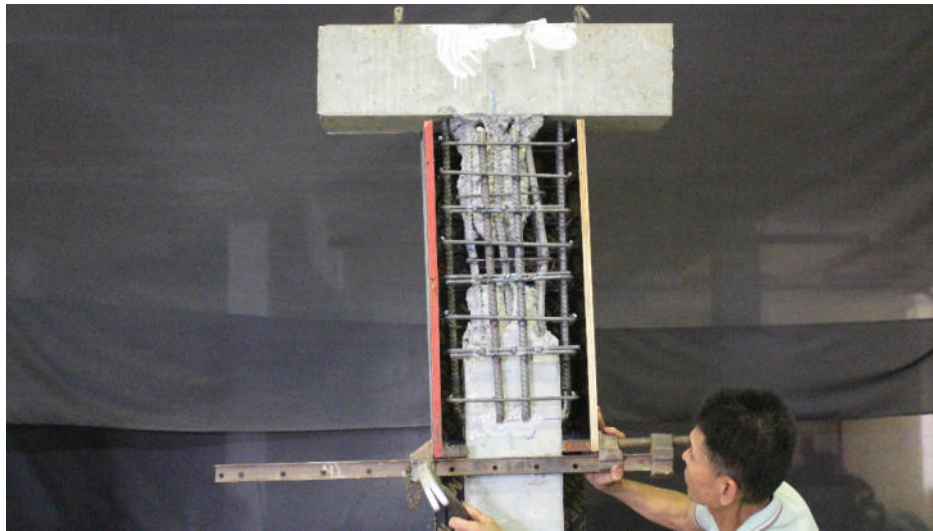
รูปที่ 7.6 (ก) ตัวอย่างเสาที่ได้รับ ความเสียหายที่หัวเสา



รูปที่ 7.6 (ข) การเสริมเหล็กแกนโดยใช้วิธีเจาะเสียบ



รูปที่ 7.6 (ค) การเสริมเหล็กปลอกกรอบเหล็กแกน



รูปที่ 7.6 (ง) การเข้าแบบเพื่อเตรียมเทคอนกรีต



รูปที่ 7.6 (จ) เสาคือเทคอนกรีตหุ้มกรงเหล็กแล้ว

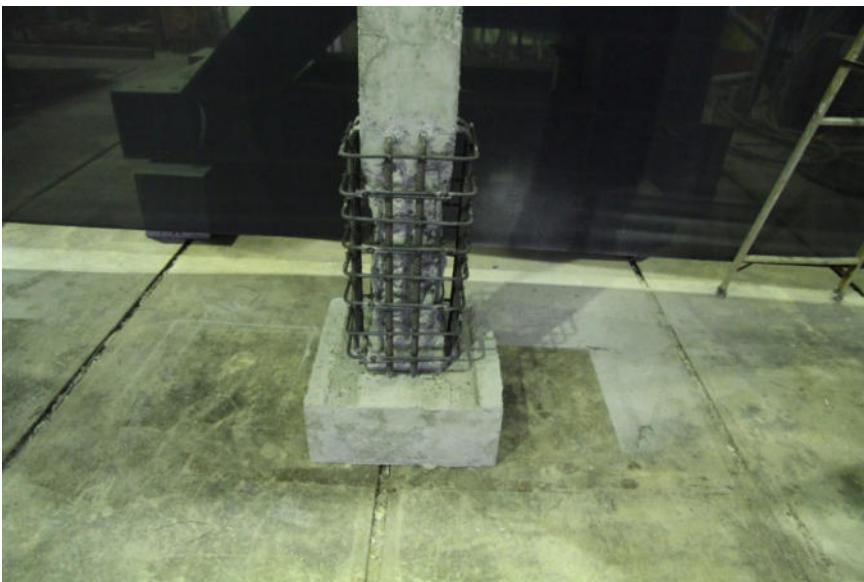
รูปที่ 7.6 ขั้นตอนการซ่อมและเสริมหัวเสาที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินไหว

การซ่อมและเสริมเหล็กตามขั้นตอนทั้ง 7 ข้างต้นนั้น สามารถทำเฉพาะบริเวณที่เสียหายหรือ หากเสริมเสาทั้งต้นเลยก็ได้ นอกจากวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นยังมีวิธีอื่นๆอีกที่ใช้ได้ เช่น การเสริมค้ำ

ยันทแยงด้วยเหล็กหรือไม้ การหุ้มด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ เป็นต้น ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีใดควรปรึกษาวิศวกรด้วย



รูปที่ 7.7 (ก) การเสริมกรงเหล็กรอบเสา



รูปที่ 7.7 (ข) กรงเหล็กที่เสริมรอบเสาเสร็จแล้ว



รูปที่ 7.7 (ค) เสาที่ทดสอบกรีดหุ้มกรงเหล็กแล้ว

รูปที่ 7.7 การเสริมกรงเหล็กหุ้มโคนเสา



บทที่ 8

ข้อเสนอแนะ (RECOMMENDATIONS)

ในบทนี้จะสรุปข้อเสนอแนะสำหรับประชาชนผู้อยู่อาศัยในอาคารบนพื้นที่ๆเสี่ยงต่อภัยแผ่นดินไหว โดยข้อสรุปที่นำมาเรียบเรียงล้วนแต่เป็นในความสำคัญที่ได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 1 ถึง 7 ของเอกสารฉบับนี้นั่นเอง

สำหรับในบทนี้ ผู้เขียนขอแนะนำ 10 แนวทางการออกแบบบ้านในเขตเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นแนวทางที่ทำได้ไม่ยาก และเหมาะกับการก่อสร้างในบ้านเรา ดังนี้

1. วัสดุก่อสร้างต้องได้มาตรฐาน คอนกรีตต้องมีกำลังรับน้ำหนักไม่น้อยกว่า 24 กิโลพาสคาล หรือมากกว่านั้น เหล็กเส้นต้องเป็นเหล็กได้มาตรฐาน มี มอก. รองรับ การใช้คอนกรีตที่ด้อยคุณภาพหรือเหล็กไม่เต็มเส้นจะทำให้โครงสร้างไม่แข็งแรง

2. เสาบ้านควรมีขนาดไม่ต่ำกว่า 200 มิลลิเมตร เสาที่มีขนาดใหญ่สามารถต้านแผ่นดินไหวได้ดี เพราะเสาเป็นโครงสร้างหลักที่ต้องต้านแผ่นดินไหว หากเสาเล็กเกินไป อาจทำให้โครงสร้างอาคารไม่แข็งแรงและพังถล่มได้โดยง่าย

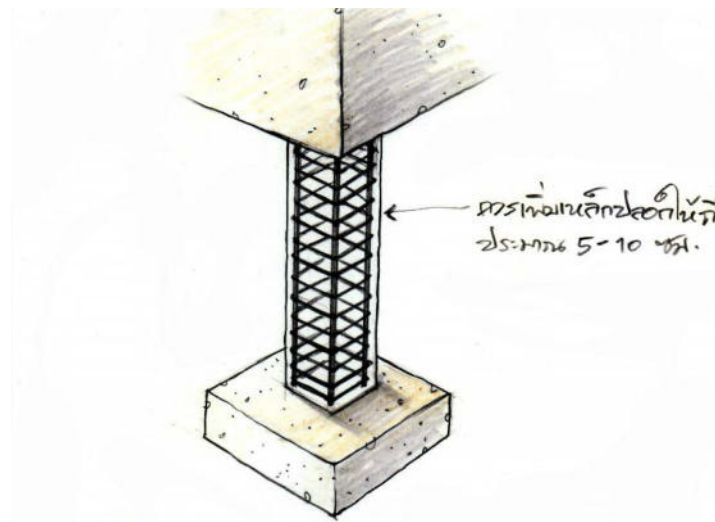
3. เหล็กเส้นในเสาต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่า 4 เส้น และมีขนาดไม่ต่ำกว่า 12 มม. (ดูรูปที่ 8.1)



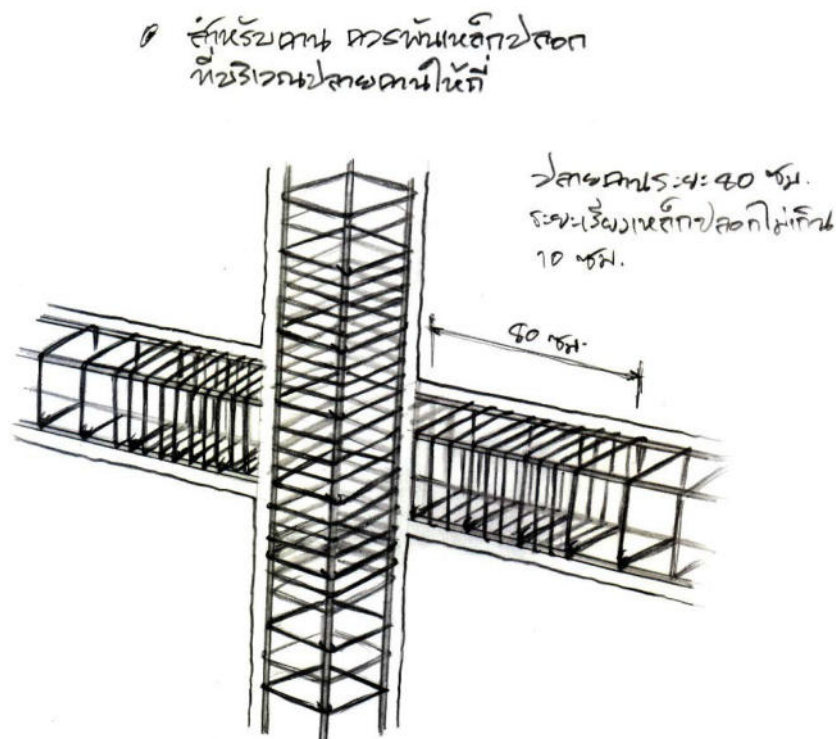
รูปที่ 8.1 การเสริมเหล็กในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

4. เสาทุกต้นต้องเสริมเหล็กปลอก โดยเหล็กปลอกต้องพันเป็นวงรอบเหล็กแกน เหล็กปลอกที่ใช้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. หากใช้เหล็กขนาด 9 มม. ได้ยิ่งดี และต้องพันเหล็กปลอกให้ถี่โดยเฉพาะที่โคนเสาและปลายเสาด้านบน โดยแนะนำให้เสริมเหล็กปลอกจำนวนอย่างน้อย 8-10 วงในระยะ 500 มม. วัดจากปลายด้านบนและปลายด้านล่างของเสาทุกต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเสาชั้นล่างสุดต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ (ดูรูปที่ 8.2)

5. ข้อต่อคือบริเวณที่คานและเสามาบรรจบกันจะต้องเสริมเหล็กปลอกเช่นกัน โดยต้องใช้เหล็กปลอกขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. จำนวน ไม่น้อยกว่า 4 เส้นพันรอบเหล็กแกนในบริเวณข้อต่อ (ดูรูปที่ 8.3)



รูปที่ 8.2 การเสริมเหล็กปลอกถี่ๆในเสา โดยเฉพาะเสาชั้นใต้ถุน



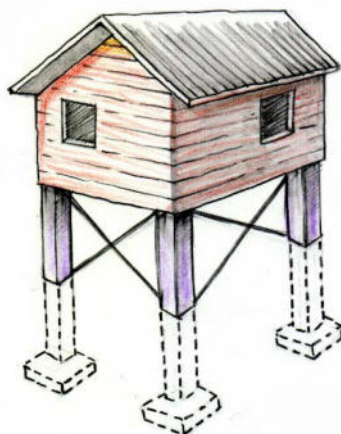
รูปที่ 8.3 การเสริมเหล็กปลอกในเสาและคาน เพื่อต้านแผ่นดินไหว โดยในพื้นที่วิกฤติจะพบปริมาณการเสริมเหล็กเป็นพิเศษ

6. สำหรับคาน ควรพันเหล็กปลอกที่บริเวณปลายคานให้ถี่เช่นกัน (ดูรูปที่ 8.3)

7. หลีกเลี่ยงการต่อเติมส่วนต่างๆของโครงสร้างเอง เช่น การต่อเติมชั้นลอยอาจทำให้เสาปกติกลายเป็นเสาสั้นและอาจทำให้ถูกเฉือนขาดได้ง่าย

8. ต้องระวังการก่อสร้างบ้านที่ชั้นล่างเปิดโล่ง แนวทางป้องกันควรทำค้ำยันไม้หรือเหล็กจากมุมล่างของเสาต้นหนึ่งไปยังมุมบนของเสาต้นถัดไปเป็นรูปกากบาท ดังรูปที่ 8.4 จะทำให้ชั้นที่เปิดโล่งนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นไม่พังถล่มลงมา

• แนวทางป้องกันควรทำไม้ค้ำยันเป็นรูปกากบาท

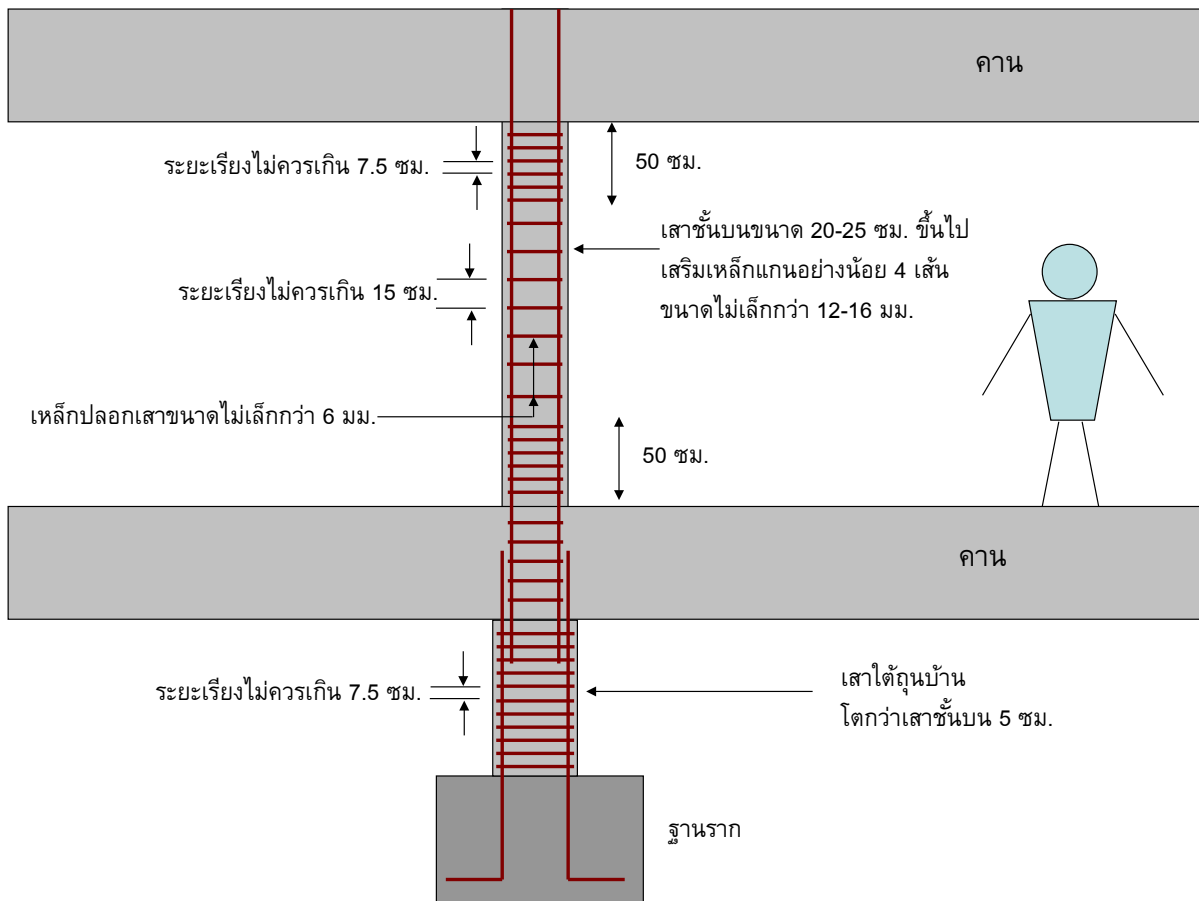


รูปที่ 8.4 การเสริมเหล็กค้ำยันสำหรับเสาใต้ถุนบ้าน

9. การก่อกำแพงอิฐต้องก่อให้ตลอดความสูงของเสา หากปล่อยให้มีส่วนว่าง จะทำให้เกิดการเฉือนขาดได้ง่ายๆ

10. ในการก่อสร้างบ้านที่แข็งแรงนั้น ควรมีวิศวกรโยธาเป็นผู้ออกแบบและควบคุมการก่อสร้าง

ข้อเสนอแนะ จากการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้รับความเสียหาย พบว่า ปัจจัยที่สำคัญต่อความแข็งแรงของโครงสร้างบ้านปูน คือเสาอาคาร ดังนั้น ผู้เขียนจึงขอแนะนำกฎ 4 ข้อสำหรับการก่อสร้างเสاب้านปูนในเขตเสี่ยงแผ่นดินไหว ดังนี้ (รูปที่ 8.5)



รูปที่ 8.5 ตัวอย่างการเสริมเหล็กเสาบ้านปูนหลังเล็ก ๆ สูงไม่เกิน 2 ชั้น

1. เสาของบ้านปูนที่มีความสูง 2 ชั้นควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 200-250 มม. แนะนำให้ใช้ 250 มม.
2. เหล็กแกนในเสาต้องไม่น้อยกว่า 4 เส้น หากใช้ 6 เส้นหรือ 8 เส้นจะดีมาก และขนาดของเหล็กแกนควรไม่เล็กกว่า 12 มม. หากใช้เหล็ก 16 มม. ได้ยิ่งดี เพื่อให้เหล็กไม่คดงอได้ง่ายเมื่อคอนกรีตกะเทาะหลุดออก
3. เหล็กปลอก สำหรับบ้าน 2 ชั้นควรใช้ขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. พันรอบเหล็กแกนเสาให้มีระยะเรียงไม่เกิน 75 มม. ตำแหน่งที่พันเหล็กปลอกถี่ให้วัด 50 ซม. จากปลายบนและปลายล่างของเสา ส่วนตรงกลางเสาให้ใช้ระยะเรียงเหล็กปลอกเป็นสองเท่าหรือ 150 มม. ได้
4. สำหรับเสาดอม่อ หรือเสาใต้ถุนบ้าน ควรมีขนาดใหญ่กว่าเสาชั้นบนด้านละ 50 มม. และควรเสริมเหล็กปลอกให้ถี่ตามข้อ 3 ตลอดความสูงเสา
5. สำหรับเสาที่ก่อกำแพงไม่เต็มตลอดความสูงของเสา ควรเสริมเหล็กปลอกตลอดความยาวเสา ในบริเวณที่ไม่มีกำแพง

