มยผ. 1301-54

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคาร เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (ปรับปรุงครั้งที่ 1)

กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2554

มยผ. 1301-54
มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ส่วนที่ 1 ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนี้เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมจาก กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เพื่อให้การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎกระทรวง มีความมั่งคงแข็งแรงและปลอดภัย

1.2 ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงงานก่อสร้างถนน สะพาน เขื่อน อุโมงค์และงานก่อสร้างอาคารชั่วคราว

1.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับลักษณะและรูปทรงของโครงสร้างเป็นข้อกำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของอาคาร เพื่อให้สอดคล้องกับการกำหนดรูปทรงของอาคารในกฎกระทรวง

1.4 ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดในส่วนที่ 4 เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎกระทรวงที่ใช้โครงต้านแรงดัดเป็นโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง และเป็นข้อกำหนดที่นอกเหนือจากข้อกำหนดคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

1.5 ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดในส่วนที่ 4 ไม่ครอบคลุมถึงองค์อาคารที่ไม่ระบุให้เป็นส่วนของระบบรับแรงด้านข้าง (Members not Designated as Part of the Lateral-Force - Resisting System) ยกเว้นแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่เป็นส่วนของระบบรับแรงด้านข้างที่ผู้ออกแบบจะต้องปฏิบัติตามข้อ 4.7.4 และ 4.8 ตามมาตรฐานนี้ด้วย

1.6 หากไม่ได้มีการระบุเป็นอย่างอื่นแล้ว การรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combinations) ในมาตรฐานนี้ให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยให้แทนผลของแรงลมด้วยแรงแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวง

1.7 ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดในบริเวณเฝ้าระวังอย่างน้อยให้ปฏิบัติตามข้อ 4.4 และหากองค์อาคารเป็นแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานจะต้องปฏิบัติตามข้อ 4.8 ตามมาตรฐานนี้ด้วย

1.8 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลักและมีหน่วยเมตริกกำกับในวงเล็บต่อท้าย โดยการแปลงหน่วยของแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์

2. 1 นิยาม

"กฎกระทรวง" หมายถึง กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

"กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall)" หมายถึง กำแพงที่ได้รับการออกแบบให้ต้านแรงด้านข้างที่ขนานกับระนาบของตัวกำแพง

"โครงแกงแนง (Braced Frame)" หมายถึง ระบบที่ใช้โครงข้อหมุนในระนาบดิ่งทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้างโดยรอยต่อเป็นได้ทั้งแบบตรงศูนย์หรือเยื้องศูนย์

"โครงต้านแรงดัด (Moment-Resisting Frame)" หมายถึง โครงที่มีองค์อาคารและรอยต่อซึ่งสามารถต้านแรงโดยการดัดเป็นหลัก

"โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame)" หมายถึง โครงต้านแรงดัดของอาคารที่ได้รับการจัดระบบโครงสร้างที่ดี มีการออกแบบเพื่อให้การวิบัติเชิงดัด (Flexural Failure) เกิดขึ้นในคานเป็นสำคัญ โดยชิ้นส่วนทั้งเสาและคานมีความสามารถด้านความเหนียวเชิงโค้ง (Curvature Ductility Capacity) ณ ตำแหน่งที่อาจเกิดการวิบัติไม่น้อยกว่า 20

"โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile Moment-Resisting Frame with Limited Ductility)" หมายถึง โครงต้านแรงดัดที่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียวจำกัด โดยรายละเอียดการเสริมเหล็กของโครงต้านแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวดังกล่าวให้เป็นไปตามส่วนที่ 4 ของมาตรฐานนี้

"โครงสร้างลักษณะไม่สม่ำเสมอ (Irregular Structure)" หมายถึง โครงสร้างที่มีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง และมวลในแนวราบหรือในแนวดิ่งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

"โครงสร้างลักษณะสม่ำเสมอ (Regular Structure)" หมายถึง โครงสร้างที่ปราศจากความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง และมวลในแนวราบหรือในแนวดิ่งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

"ไดอะแฟรม (Diaphragm)" หมายถึง ระบบโครงสร้างที่วางตัวอยู่ในแนวราบหรือใกล้เคียงแนวราบทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงด้านข้างไปสู่ชิ้นส่วนในแนวดิ่งซึ่งเป็นส่วนของระบบต้านแรงด้านข้าง คำว่าไดอะแฟรมจะหมายรวมไปถึงระบบค้ำยันในแนวราบด้วย

"บริเวณที่ 1" หมายถึง บริเวณที่ 1 ตามกฎกระทรวง ซึ่งเป็นพื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

"บริเวณที่ 2" หมายถึง บริเวณที่ 2 ตามกฎกระทรวง ซึ่งเป็นพื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน

"บริเวณเฝ้าระวัง" หมายถึง บริเวณเฝ้าระวังตามกฎกระทรวง ซึ่งเป็นพื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

"ระบบต้านแรงด้านข้าง (Lateral-Force-Resisting System)" หมายถึง ระบบโครงสร้างหรือส่วนของระบบโครงสร้างที่ออกแบบให้ต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

"แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)" หมายถึง แรงบิดที่อาจจะเกิดขึ้นโดยบังเอิญจากผลของแรงเฉือนรวมในแต่ละชั้น (Story Shear) กระทำเยื้องศูนย์จากจุดศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) ของระบบต้านแรงด้านข้างในแต่ละชั้น โดยระยะเยื้องศูนย์ดังกล่าวจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของมิติอาคารที่มากที่สุดในระดับชั้นนั้น

2.2 สัญลักษณ์

A_g = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_j = พื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิผลของข้อต่อ หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_{sm} = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมล่างของแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คานที่วางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสา หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_v = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

b_0 = เส้นรอบรูปของหน้าตัดวิกฤตสำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้น หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

b_1 = ความกว้างของหน้าตัดวิกฤตที่วัดในทิศทางของช่วงที่ใช้หาโมเมนต์ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

b_2 = ความกว้างของหน้าตัดวิกฤตที่วัดในทิศทางตั้งฉากกับ b_1 หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

b_w = ความกว้างของตัวคาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

c_1 = มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

c_2 = มิติที่น้อยที่สุดของหน้าตัดเสา หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

d = ความลึกประสิทธิผลหรือระยะจากขอบนอกสุดด้านรับแรงอัดถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

d_b = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

f'_c = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต หาได้จากการทดสอบแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน $\varnothing$ 150×300 มิลลิเมตร หน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

f_{pc} = หน่วยแรงอัดเฉลี่ยในคอนกรีตที่เป็นผลจากการอัดแรงและมีการสูญเสียของการอัดแรงเกิดขึ้นแล้ว หน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

f_y = กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม หน่วยเป็นเมกาปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

h = ความลึกของคานหรือข้อต่อ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

H_c = ความสูงช่วงว่างของเสา หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

K = ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

l_0 = ความยาวน้อยสุดที่ต้องจัดให้มีเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกตามที่กำหนด โดยวัดจากขอบของข้อต่อไปตามแนวแกนขององค์อาคาร

L_1 = ความยาวช่วงของแผ่นพื้นในทิศทางที่ใช้หาโมเมนต์ วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของที่รองรับ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

L_2 = ความยาวช่วงตามขวางกับ L_1 วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของที่รองรับ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

L_c = ความยาวช่วงว่างของคาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

L_{dh} = ความยาวระยะฝังเพิ่ม (Development Length) ของของอมาตรฐานรับแรงดึง โดยวัดจากหน้าตัดวิกฤตไปยังริมนอกสุดของของอ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

M_s = สัดส่วนของโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จุดรองรับ หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)

M_n = โมเมนต์ดัดระบุ หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)

M_u = โมเมนต์ดัดปรับค่า หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)

s = ระยะเรียงของเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอก หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

s_0 = ระยะเรียงสูงสุดของเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกในเสา หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

s_1 = ระยะเรียงสูงสุดของเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกในคาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

t = ความหนาของแผ่นพื้น หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

V_c = กำลังต้านแรงเฉือนระบุที่รับโดยคอนกรีต หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_{col} = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสา ที่ใช้ในการออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_j = แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_n = กำลังต้านแรงเฉือนระบุ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_p = แรงเฉือนเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรงที่พิจารณา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)

V_u = แรงเฉือนปรับค่า

w_u = น้ำหนักบรรทุกปรับค่า

α_s = ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้น

β_c = อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของเสาหรือของพื้นที่รับน้ำหนักหรือแรงปฏิกิริยา

β_p = ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง

ϕ = ตัวคูณลดกำลัง

γ_f = สัดส่วนของโมเมนต์ดัดไม่สมดุลซึ่งถ่ายผ่านโดยแรงดัดที่จุดต่อระหว่างแผ่นพื้นและเสา

$$= \frac{1}{1+2/3\sqrt{b_1/b_2}}$$

ส่วนที่ 3 ลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง

3.1 เกณฑ์กำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง

การพิจารณาว่าอาคารมีลักษณะสม่ำเสมอตามกฎหมายควบคุมอาคารว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวนั้น ให้ใช้เกณฑ์ดังนี้

3.1.1 บริเวณที่ 1

อาคารในบริเวณที่ 1 จะถือว่ามีลักษณะไม่สม่ำเสมอหากมีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของลักษณะหรือรูปทรงของโครงสร้างเป็นดังนี้

(1) อาคารที่มีประเภทกิจกรรมการใช้อาคารดังต่อไปนี้

(ก) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้า โรงผลิตและเก็บน้ำประปา

(ข) อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสี หรือวัตถุที่ระเบิดได้

(ค) อาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑสถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ และโรงแรม

(ง) สถานศึกษาที่รับนักเรียนหรือนักศึกษาได้ตั้งแต่สองร้อยห้าสิบคนขึ้นไป

จะถือว่ามีลักษณะไม่สม่ำเสมอหากมีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของลักษณะหรือรูปทรงของโครงสร้างในแนวดิ่งหรือในแนวราบเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งในตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2

(2) อาคารที่มีประเภทกิจกรรมการใช้อาคารอื่นนอกเหนือจาก (1) และมีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไปจะถือว่ามีลักษณะไม่สม่ำเสมอหากมีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของลักษณะหรือรูปทรงของโครงสร้างในแนวดิ่งเป็นไปตามข้อ 5 ในตารางที่ 1 หรือในแนวราบเป็นไปตามข้อ 1 ในตารางที่ 2

(3) อาคารที่มีประเภทกิจกรรมการใช้อาคารอื่นนอกเหนือจาก (1) และมีความสูงน้อยกว่า 23 เมตรจะถือว่ามีลักษณะไม่สม่ำเสมอหากมีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของลักษณะหรือรูปทรงของโครงสร้างในแนวดิ่งเป็นไปตามข้อ 5 ในตารางที่ 1

3.1.2 บริเวณที่ 2

อาคารในบริเวณที่ 2 จะถือว่ามีลักษณะไม่สม่ำเสมอหากมีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของลักษณะหรือรูปทรงของโครงสร้างในแนวดิ่งหรือในแนวราบเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งในตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2

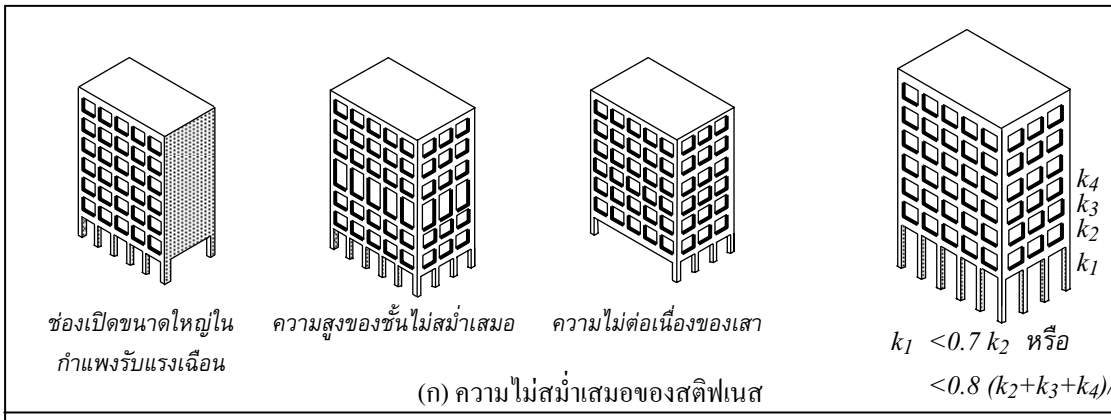
3.2 ในการพิจารณาความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอาคารในข้อ 3.1 ให้ผู้ออกแบบคำนึงถึงสติฟเนสและกำลังขององค์อาคารและส่วนประกอบต่างๆ ของอาคาร เช่น ผนังก่ออิฐในอาคารขนาดเล็ก ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ตารางที่ 1 ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง (Vertical Structural Irregularities)

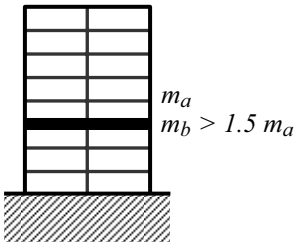
(ข้อ 3.1)

รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
1. ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส (Stiffness irregularity) หรือชั้นที่อ่อน (Soft Story) ชั้นที่อ่อน หมายถึง ชั้นที่มีสติฟเนสทางด้านข้าง (Lateral Stiffness) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 70 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไปหรือน้อยกว่าร้อยละ 80 ของสติฟเนสเฉลี่ยของสามชั้นที่เหนือขึ้นไป	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ก)
2. ความไม่สม่ำเสมอของมวล (Mass Irregularity) ความไม่สม่ำเสมอของมวล หมายถึง มวลประสิทธิผล (Effective Mass) ของชั้นใดๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 150 ของชั้นที่ติดกัน (หลังคาที่มีมวลน้อยกว่าพื้นชั้นถัดลงมาไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา)	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ข)
3. ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง (Vertical Geometrical Irregularity) ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง หมายถึง มิติในแนวราบของระบบต้านแรงทางด้านข้างของชั้นใด ๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 130 ของชั้นที่ติดกัน ยกเว้น Penthouse ที่สูง 1 ชั้น ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ค)
4. ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างในแนวดิ่ง (In-Plane Discontinuity in Vertical Lateral-Force-Resisting Element) ความไม่ต่อเนื่องในระนาบขององค์อาคารในแนวดิ่งจะพิจารณาเมื่อระยะเยื้องในระนาบขององค์อาคารต้านแรงด้านข้างมีค่ามากกว่าความยาวขององค์อาคารนั้นๆ	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (ง)
5. ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง (Discontinuity in Capacity) หรือชั้นที่อ่อนแอ (Weak Story) ชั้นที่อ่อนแอ หมายถึง ชั้นที่มีผลรวมกำลังของชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ร่วมกันรับแรงแผ่นดินไหวในทิศทางที่พิจารณาทั้งหมด มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป	ดูตัวอย่างในรูปที่ 1 (จ)

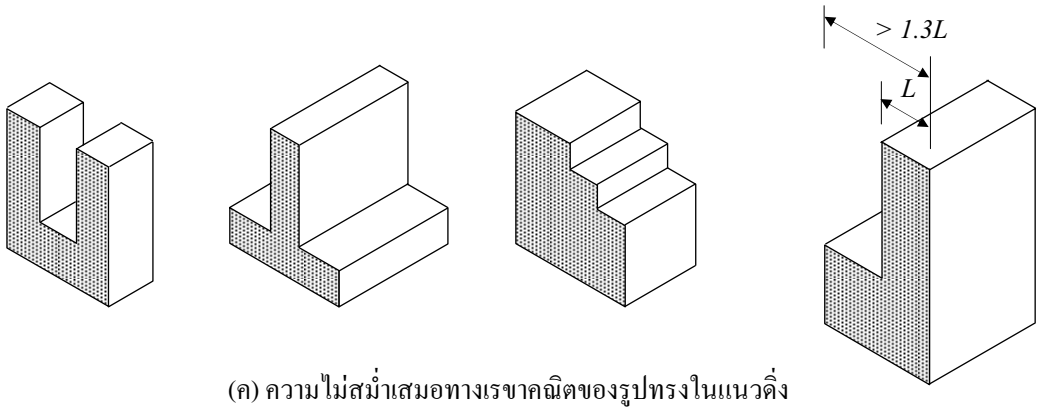
ข้อยกเว้น: โครงสร้างจะไม่จัดอยู่ในรูปทรงแบบที่ 1 หรือ 2 ตามตารางที่ 1 เมื่อมีค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นของชั้นใด ๆ ภายใต้แรงด้านข้างสถิตเทียบเท่าไม่เกินกว่า 1.3 เท่าของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป ทั้งนี้ค่าอัตราส่วนดังกล่าวของสองชั้นบนสุดไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา รวมถึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของการบิดในการคำนวณการเคลื่อนตัวดังกล่าวด้วย



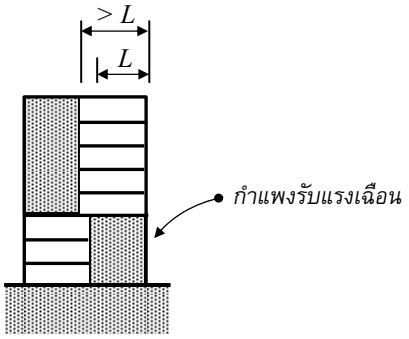
(ก) ความไม่สม่ำเสมอของสติฟเนส



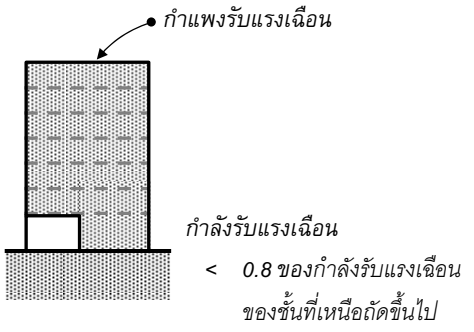
(ข) ความไม่สม่ำเสมอของมวล



(ค) ความไม่สม่ำเสมอทางเรขาคณิตของรูปทรงในแนวดิ่ง



(ง) ความไม่ต่อเนื่องในระนาบ



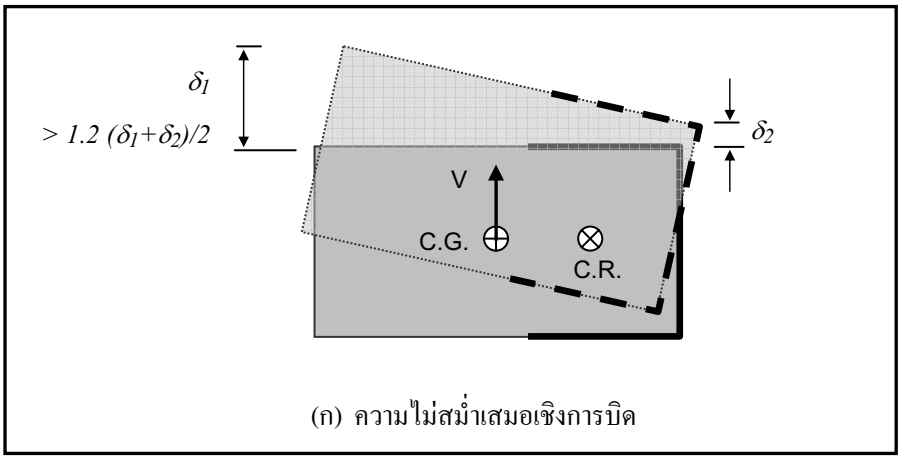
(จ) ความไม่ต่อเนื่องของกำลัง

รูปที่ 1 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวดิ่ง

ตารางที่ 2 ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (Plan Structural Irregularities)

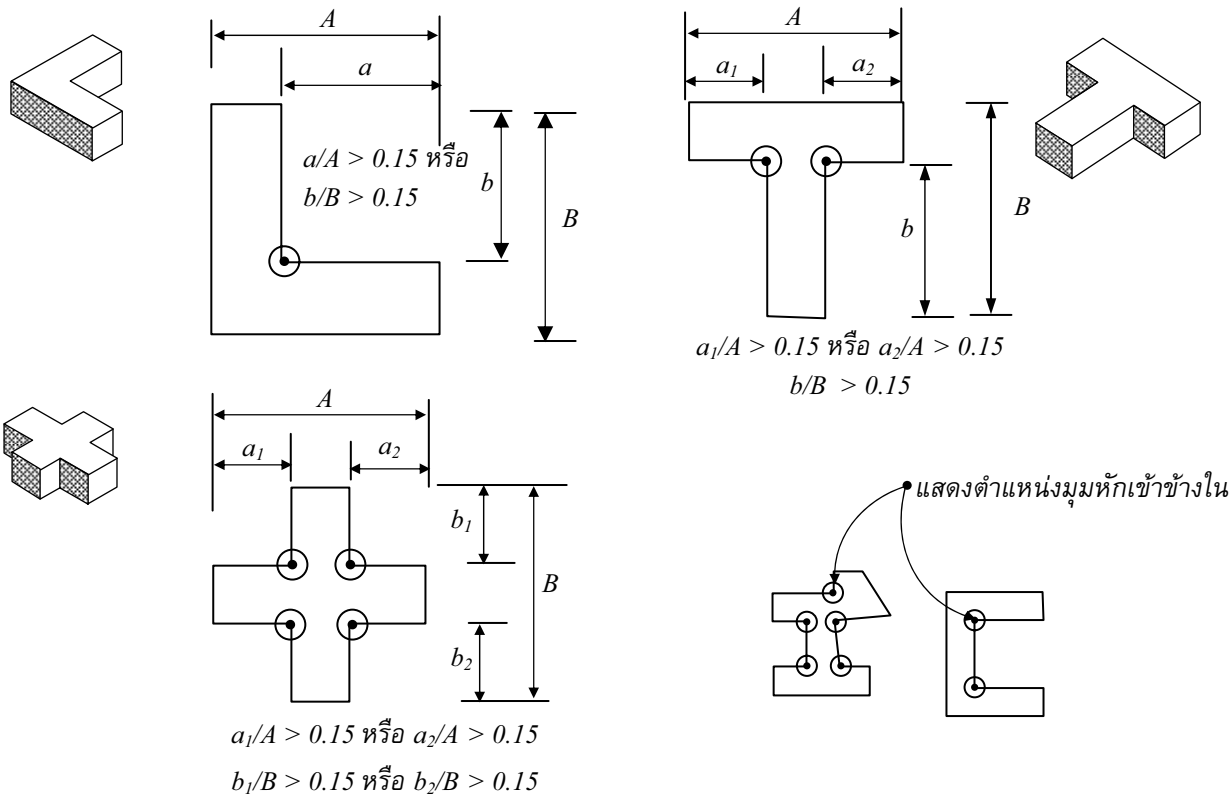
(ข้อ 3.1)

รูปแบบความไม่สม่ำเสมอและคำจำกัดความ	หมายเหตุ
1. ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด (Torsional Irregularity) พิจารณากรณีที่ไดอะแฟรมเป็นประเภทไม่อ่อนตัว (Not Flexible) โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิดเมื่อค่าสูงสุดของการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นในแนวตั้งฉากกับแนวแกน [คำนวณจากแรงด้านข้างที่รวมผลของแรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)] ที่ปลายด้านหนึ่งของโครงสร้างมีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยที่ปลายทั้งสองด้าน	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ก)
2. ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน (Re-Entrant Corners) โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน เมื่อผังโครงสร้างและระบบต้านแรงด้านข้างมีลักษณะหักเข้าข้างใน ทำให้เกิดส่วนยื่น โดยที่ส่วนยื่นนั้นมีระยะฉายในแต่ละทิศทางมากกว่าร้อยละ 15 ของมิติของผังในทิศทางนั้น	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ข)
3. ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม (Diaphragm Discontinuity) โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม เมื่อไดอะแฟรมมีความไม่ต่อเนื่องหรือมีการเปลี่ยนค่าสติฟเนสอย่างทันทีทันใด รวมถึงการเจาะช่องหรือมีช่องเปิดมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ไดอะแฟรมหรือสติฟเนสประสิทธิผลของไดอะแฟรมของชั้นใดชั้นหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับชั้นถัดไป	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ค)
4. การเยื้องออกนอกระนาบ (Out-of-Plane Offsets) โครงสร้างจะถือว่ามีความไม่สม่ำเสมอจากการเยื้องออกนอกระนาบเมื่อเส้นทาง การถ่ายแรงของแรงด้านข้างมีความไม่ต่อเนื่อง เช่น กรณีมีการเยื้องระหว่างระนาบของกำแพงรับแรงด้านข้าง	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (ง)
5. ระบบที่ไม่ขนานกัน (Nonparallel Systems) ระบบที่ไม่ขนานกัน ได้แก่ ระบบที่มีชิ้นส่วนแนวดิ่งที่ต้านแรงด้านข้างวางตัวในแนวที่ไม่ขนานกัน หรือไม่สมมาตรกัน เมื่อเทียบกับแกนหลักของระบบต้านแรงด้านข้าง	ดูตัวอย่างในรูปที่ 2 (จ)

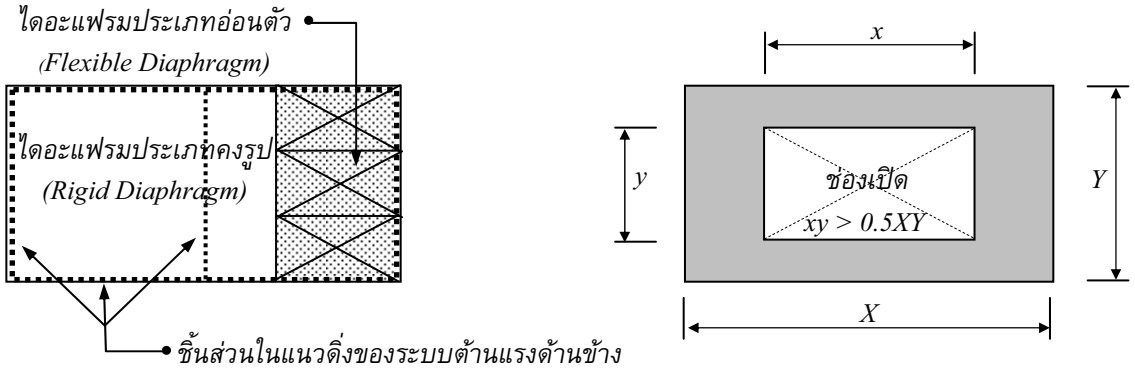


(ก) ความไม่สม่ำเสมอเชิงการบิด

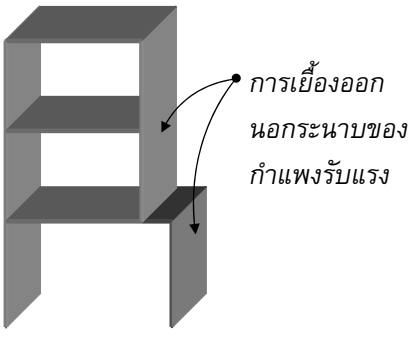
รูปที่ 2 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง



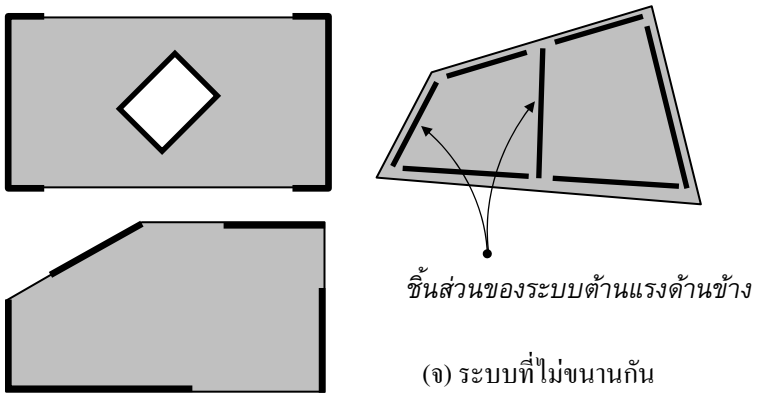
(ข) ความไม่สม่ำเสมอจากการมีมุมหักเข้าข้างใน



(ค) ความไม่ต่อเนื่องของไดอะแฟรม



(ง) การเยื้องออกนอกระนาบ



(จ) ระบบที่ไม่ขนานกัน

รูปที่ 2 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (ต่อ)

ส่วนที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.1 คานและเสา คานในมาตรฐานนี้ หมายความถึง องค์อาคารของโครงต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่า (Factored Axial Load) ไม่มากกว่า $0.10 A_g f_c'$ และเสาในมาตรฐานนี้หมายถึงองค์อาคารของโครงต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่ามากกว่าค่าดังกล่าว

4.2 กำลังต้านแรงเฉือน กำลังต้านแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบ คาน เสา และแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน สำหรับต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวจะต้องไม่น้อยกว่าค่าแรงเฉือนในข้อ 4.2.1 หรือข้อ 4.2.2 ข้อใดข้อหนึ่ง

4.2.1 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองถึงค่าโมเมนต์กำลังระบุรวมกับแรงเฉือนจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ถ้ามี) (รูปที่ 3)

4.2.2 แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Design Load Combinations) ที่พิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคารว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

4.3 การเสริมเหล็กในคาน ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในคานของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 4)

4.3.1 กำลังต้านโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกำลังต้านโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน นอกจากนี้กำลังต้านโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใดๆ ตลอดความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน

4.3.2 ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคานจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล

(2) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด

(3) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก

(4) 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะอยู่ห่างจากขอบของจุดรองรับเป็นระยะไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร

4.3.3 ระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณอื่นที่นอกเหนือจากข้อ 4.3.2 จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิผล

4.3.4 ควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมตามยาวทั้งบนและล่างภายในระยะ 2 เท่าของความลึกคาน เมื่อวัดจากขอบของจุดรองรับ

4.4 การเสริมเหล็กในเสา ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในเสาของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 5)

4.4.1 ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวที่มีระยะไม่มากกว่าระยะ s_0 ตลอดความยาว l_0 ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ s_0 จะต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด

(2) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก

(3) ครึ่งหนึ่งของมิติที่เล็กที่สุดของหน้าตัดเสา

(4) 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5\,s_0$

4.4.2 สำหรับความยาว l_0 ในข้อ 4.4.1 จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา

(2) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา

(3) 500 มิลลิเมตร

4.4.3 ในกรณีเหล็กปลอกเกลียว การเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

4.4.4 ข้อต่อระหว่างเสาและคานหรือระหว่างเสาและแผ่นพื้นในกรณีแผ่นพื้นไร้คานจะต้องมีการเสริมเหล็กปลอกเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_v = \frac{1}{3}\frac{c_1 s}{f_y} \qquad (4.4.4)$$

(หรือไม่น้อยกว่า $A_v = 3.5\dfrac{c_1 s}{f_y}$ สำหรับหน่วยเมตริก)

โดยที่เหล็กเสริมนี้จะต้องเสริมภายในเสาเป็นความลึกไม่น้อยกว่าความลึกของคานที่ลึกที่สุดที่ข้อต่อนั้น

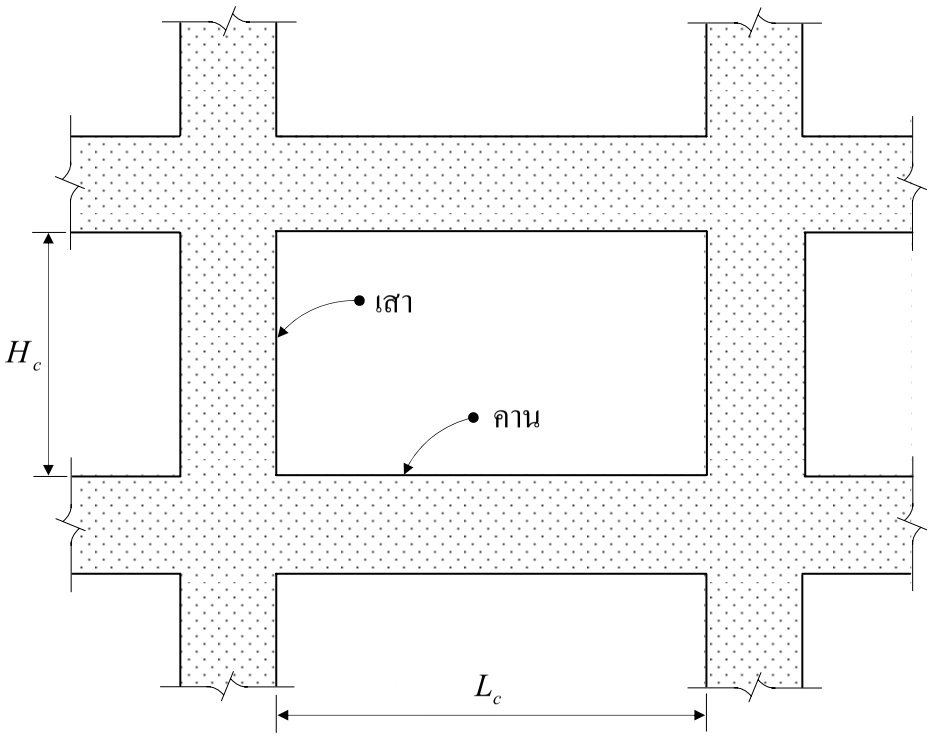
ข้อยกเว้น ข้อต่อระหว่างเสาและคานหรือระหว่างเสาและแผ่นพื้นไร้คาน ที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบรับแรงต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว และมีการยึดโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยคานหรือแผ่นพื้นที่มีความลึกเท่ากันโดยประมาณ

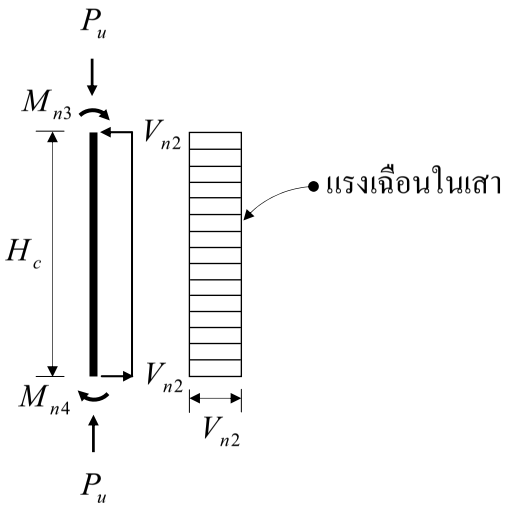
4.4.5 ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวในส่วนที่นอกเหนือจากข้อ 4.4.1 จะต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของระยะ s_0

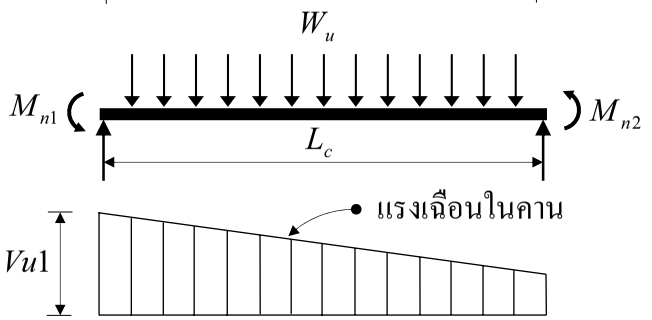
4.4.6 พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวของเสาจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่ควรมากกว่าร้อยละ 6 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

4.4.7 การต่อเหล็กเสริมในเสาควรต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา โดยวิธีการต่อเหล็กให้เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ

4.4.8 รอยต่อของเหล็กเสริมแต่ละเส้นที่อยู่ข้างเคียง ต้องไม่อยู่ในแนวเดียวกัน และควรเหลื่อมกันประมาณ 1.00 เมตร หากไม่จำเป็นจริงๆ แล้วไม่ควรต่อเหล็กเสริม



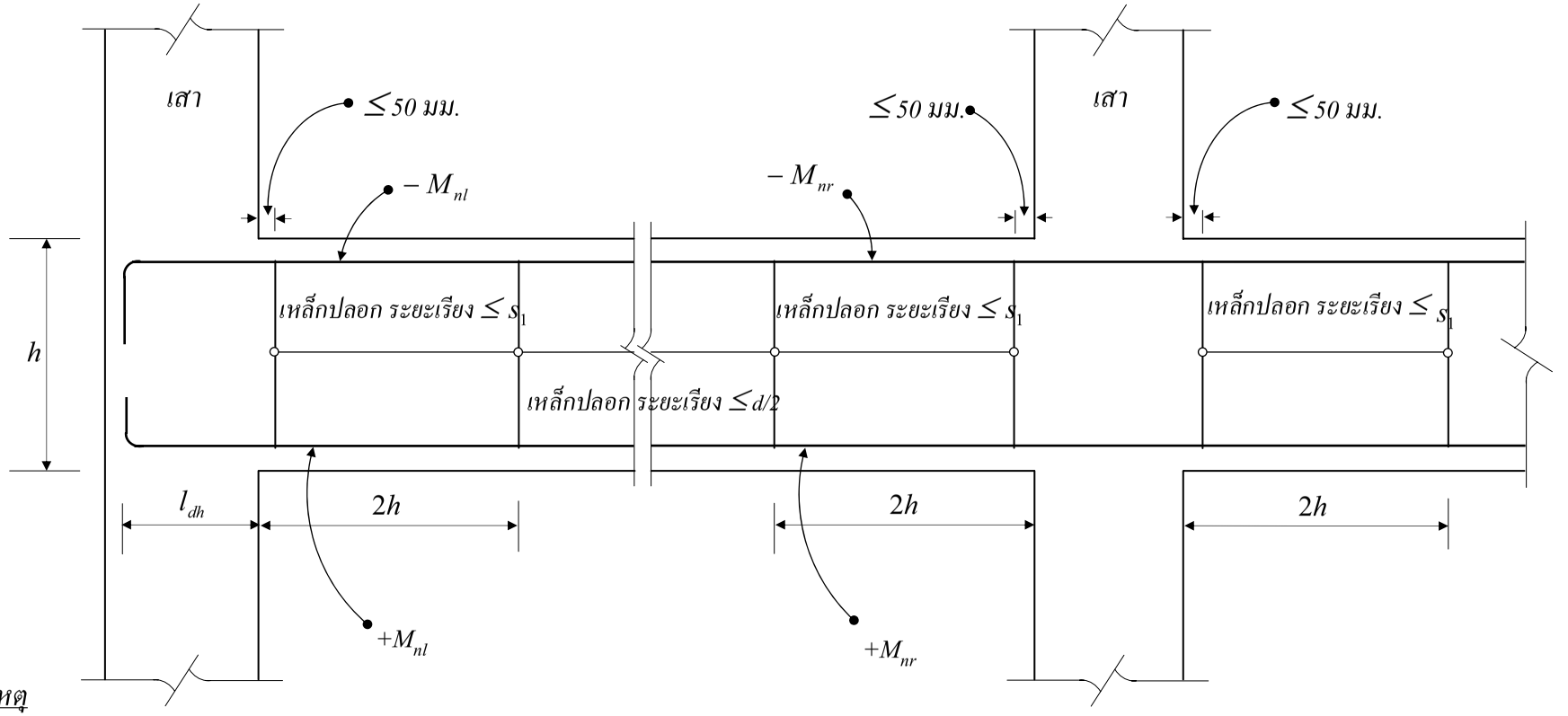




$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L_c} + \frac{1}{2} w_u L_c$$

<u>หมายเหตุ</u> น้ำหนักบรรทุกปรับค่า W_u และ P_u ให้คำนวณจากชุดน้ำหนักบรรทุกรวมระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

รูปที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนตามข้อ 4.2.1



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียงของเหล็กปลอก s_1 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยสุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิผล

(2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กสุด

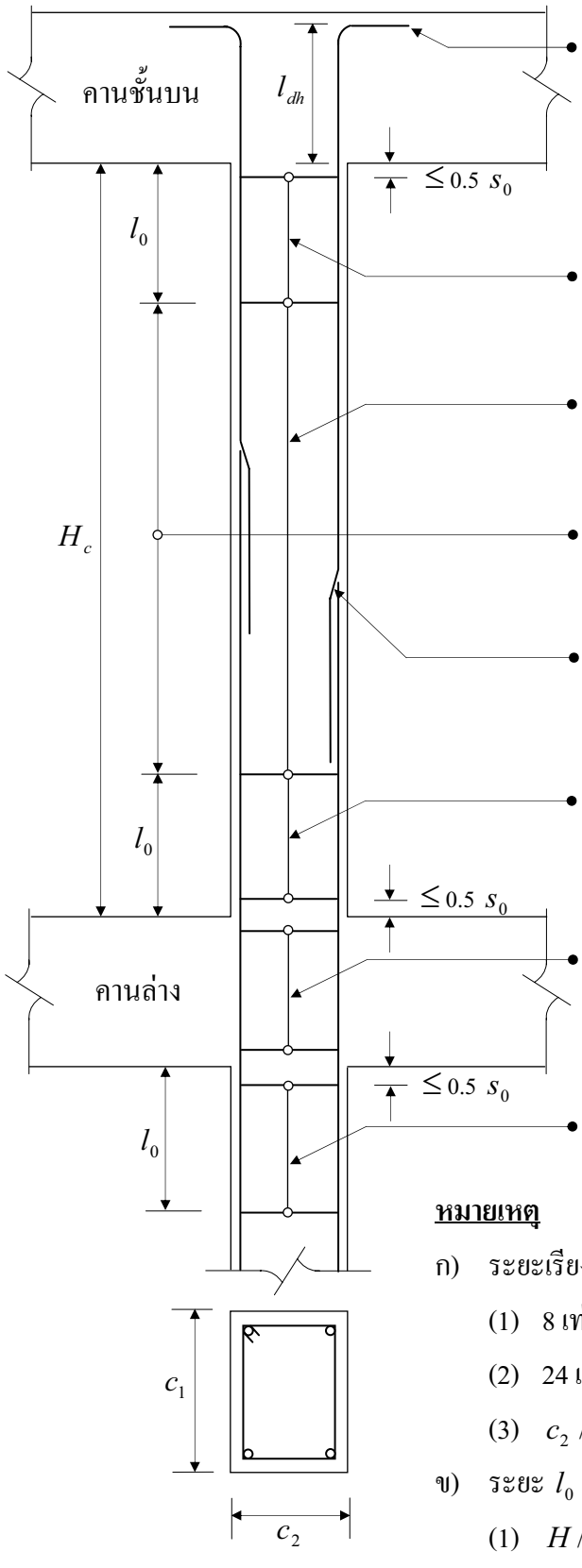
(3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก และ

(4) 300 มิลลิเมตร

ข) กำลังต้านโมเมนต์ของคานต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ (1) $+M_{nl} \geq (1/3)(-M_{nl})$ (2) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$ และ

(3) $+M_n$ และ $-M_n$ ที่หน้าตัดใดๆ $\geq (1/5)$ ของค่าสูงสุดระหว่าง $-M_{nl}$ และ $-M_{nr}$

รูปที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน



หมายเหตุ

ก) ระยะเรียง s_0 ต้องไม่มากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด

(2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก

(3) $c_2 / 2$ และ (4) 300 มิลลิเมตร

ข) ระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(1) $H/6$ (2) c_1 และ (3) 500 มิลลิเมตร

ค) การต่อเหล็กเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

ง) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_s / A_g ของเสา ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่ควรมากกว่าร้อยละ 6

รูปที่ 5 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา

4.5 การออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา

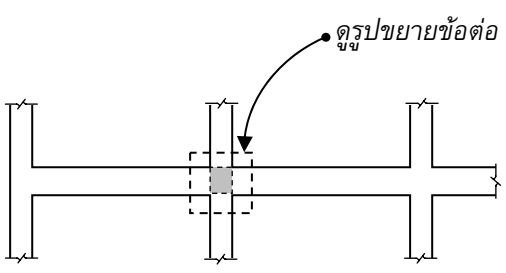
ข้อต่อระหว่างคานและเสาต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อมิให้แรงภายในข้อต่อมีค่าเกินกว่ากำลังของข้อต่อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.5.1 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ (V_j) จะต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) หรือ

$$V_j \leq \phi V_n \qquad (4.5.1)$$

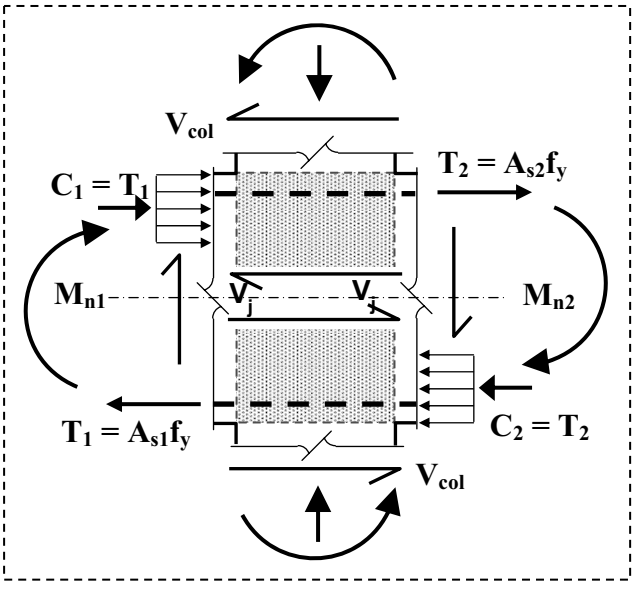
โดยที่ตัวคูณลดกำลังของข้อต่อ (ϕ) ให้ใช้เท่ากับ 0.85

4.5.2 แรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อเป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน้าตัดคานที่ปลายคานทั้งสองด้านของข้อต่อมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6



(ก) โครงต้านแรงดัด

$$\begin{aligned} V_j &= C_1 + T_2 - V_{col} \\ &= T_1 + T_2 - V_{col} \\ &= (A_{s1}f_y + A_{s2}f_y) - V_{col} \end{aligned}$$



(ข) รูปขยายข้อต่อ

รูปที่ 6 การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ

4.5.3 กำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อมีค่าดังต่อไปนี้

(1) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน [(รูปที่ 7 (ก)]

$$V_n = 1.7\sqrt{f_c'}\,A_j \qquad (4.5.3\text{-ก})$$

($V_n = 5.4\sqrt{f_c'}\,A_j$ ในหน่วยเมตริก)

(2) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน [รูปที่ 7 (ข)]

$$V_n = 1.25\sqrt{f_c'}\,A_j \qquad (4.5.3\text{-ข})$$

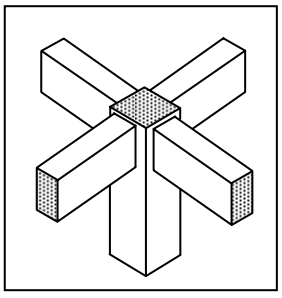
($V_n = 4.0\sqrt{f_c'}\,A_j$ ในหน่วยเมตริก)

(3) ข้อต่ออื่นๆ [รูปที่ 7 (ค)]

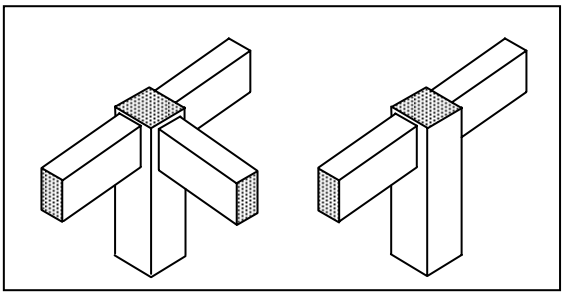
$$V_n = 1.0\sqrt{f_c'}\,A_j \qquad \text{(4.5.3-ค)}$$

$$(V_n = 3.2\sqrt{f_c'}\,A_j \quad \text{ในหน่วยเมตริก})$$

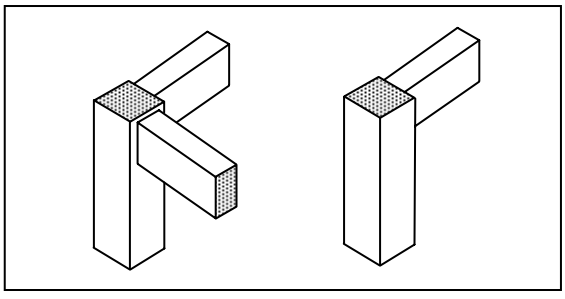
โดยที่ A_j เป็นพื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิผลของข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 8 และจะถือว่าข้อต่อได้รับการยึดรัดจากคานก็ต่อเมื่อคานที่เข้ามายึดรัดนั้นมีความกว้างไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความกว้างเสาด้านที่คานเข้ามาบรรจบ และมีความลึกไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความลึกคานตัวที่ลึกที่สุดที่เข้ามาบรรจบกันที่ข้อต่อ



(ก) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน

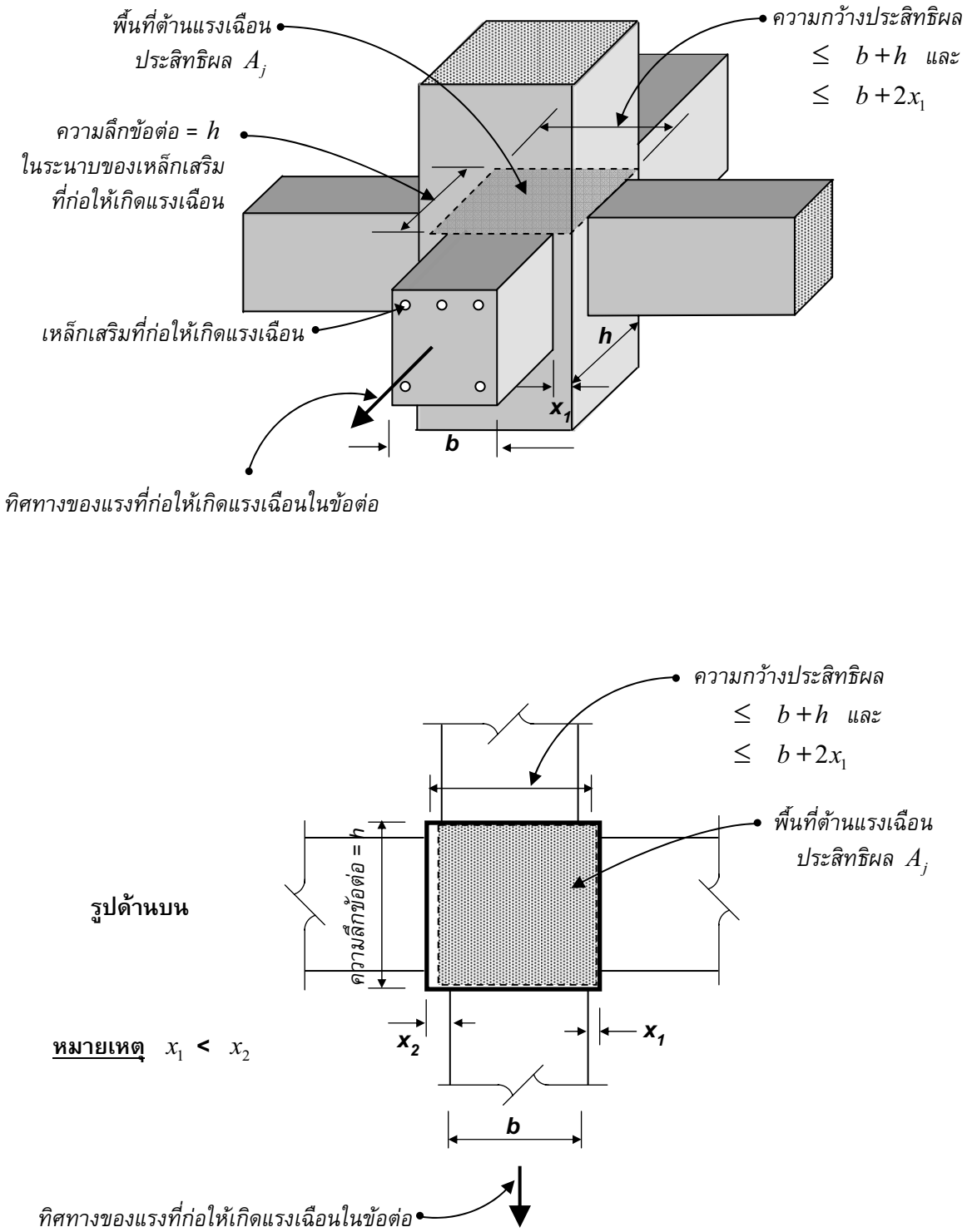


(ข) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน



(ค) ข้อต่ออื่นๆ

รูปที่ 7 ประเภทข้อต่อต่างๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n)



รูปที่ 8 พื้นที่ต้านแรงเฉือนประสิทธิผลของข้อต่อระหว่างคานและเสา

4.6 การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คาน

การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คานที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงต้านแรงดัดรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้เสริมเหล็กตามรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 9)

4.6.1 ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้สำหรับรับส่วนของโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จุดรองรับ (M_s) จะต้องวางอยู่ในแถบเสาทั้งหมด

4.6.2 ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับต้านทานสัดส่วนโมเมนต์ $\gamma_f \ M_s$ จะต้องอยู่ภายในความกว้างประสิทธิผล

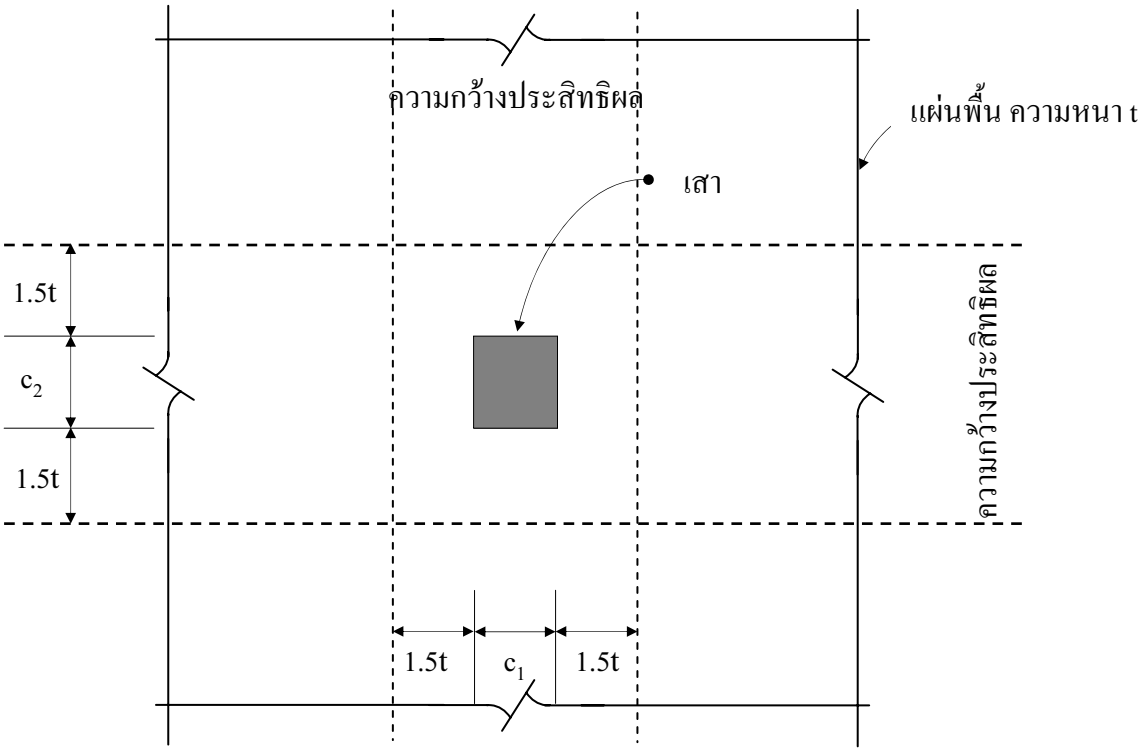
4.6.3 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องวางอยู่ภายในความกว้างประสิทธิผลของแผ่นพื้น

4.6.4 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องต่อเนื่องตลอดความยาวช่วง และจะต้องมีเหล็กเสริมบนไม่น้อยกว่า 2 เส้นวางผ่านแนวเสาในแต่ละทิศทาง

4.6.5 เหล็กเสริมล่างในแถบเสาที่มีความต่อเนื่องจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ

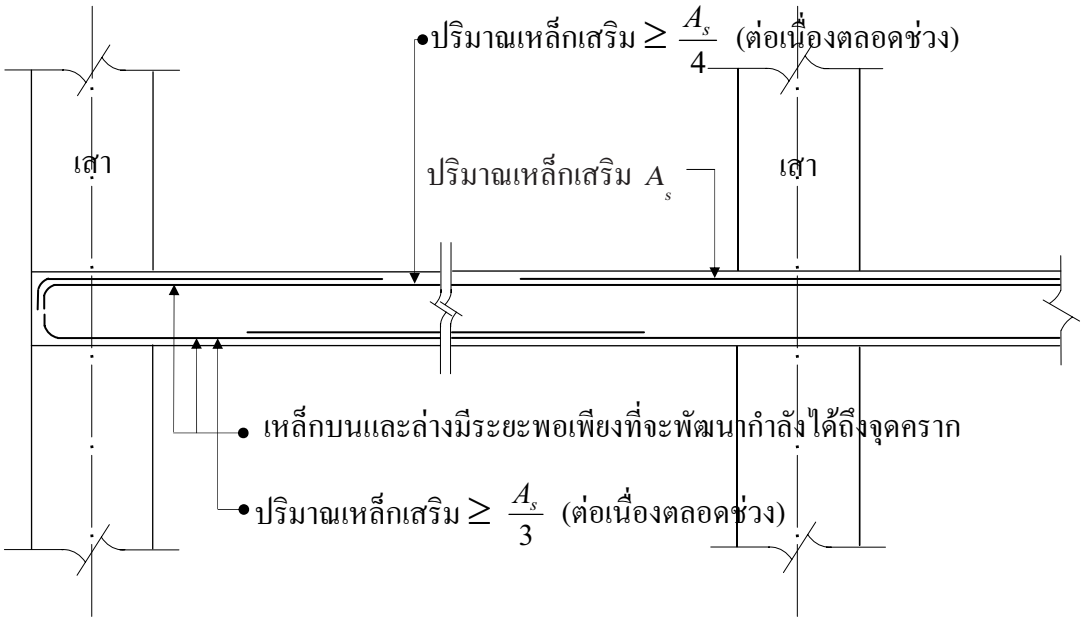
4.6.6 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมล่างที่กึ่งกลางช่วงจะต้องต่อเนื่องและสามารถพัฒนาให้เกิดกำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้

4.6.7 ที่ขอบของแผ่นพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เหล็กเสริมบนและล่างที่จุดรองรับจะต้องสามารถพัฒนากำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้

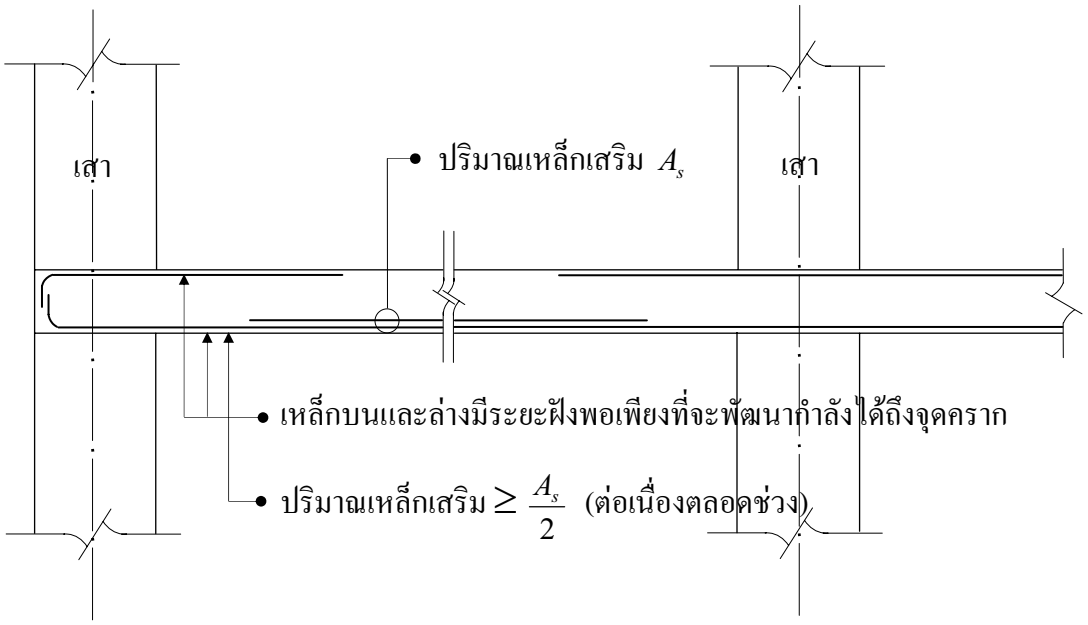


(ก) ความกว้างประสิทธิผล

รูปที่ 9 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน



(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบเสา



(ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบกลาง

รูปที่ 9 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน (ต่อ)

4.7 แรงเฉือนทะลุในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน

4.7.1 หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤติรอบเสาที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งร่วมกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์ไม่สมดุลที่ส่งถ่ายระหว่างเสาและพื้นจะต้องไม่เกินกำลังต้านแรงเฉือนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ

4.7.2 ค่าอัตราส่วนแรงเฉือน $V_u/\phi V_c$ ที่คำนวณได้จะต้องไม่เกิน 0.4 โดยที่ V_u เป็นแรงเฉือนปรับค่าบนหน้าตัดวิกฤตรอบเสาที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแนวดิ่งขนาดเท่ากับ $1.2D + 1.0L$ ซึ่งตัวคูณน้ำหนักบรรทุกในส่วนของหน่วยน้ำหนักบรรทุกจร (L) สามารถลดจาก 1.0 เป็น 0.5 ได้ หากหน่วยน้ำหนักจรมีค่าน้อยกว่า 4.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) เว้นแต่อาคารนั้นเป็นที่อาคารจอดรถ หรือพื้นที่ที่ใช้เป็นส่วนของการชุมนุมคน ตัวคูณลดกำลัง ϕ ในที่นี้ให้ใช้เท่ากับ 0.75 และ V_c ให้คำนวณตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.7.2.1 สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก V_c ให้ใช้ค่าที่น้อยที่สุดของค่าดังต่อไปนี้

(ก) $$V_c = \left[1+\frac{2}{\beta_c}\right]\frac{\sqrt{f_c'}\,b_0 d}{6} \qquad (4.7.2.1\text{-ก})$$

(หรือ $V_c = 0.27\left[2+\frac{4}{\beta_c}\right]\sqrt{f_c'}\,b_0 d$ ในหน่วยเมตริก)

(ข) $$V_c = \left[\frac{\alpha_s d}{b_0}+2\right]\frac{\sqrt{f_c'}\,b_0 d}{12} \qquad (4.7.2.1\text{-ข})$$

(หรือ $V_c = 0.27\left[\frac{\alpha_s d}{b_0}+2\right]\sqrt{f_c'}\,b_0 d$ ในหน่วยเมตริก)

โดยที่ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายในเท่ากับ 30 สำหรับเสาขอบ และเท่ากับ 20 สำหรับเสามุม

(ค) $$V_c = \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}\,b_0 d \qquad (4.7.2.1\text{-ค})$$

(หรือ $V_c = 1.06\sqrt{f_c'}\,b_0 d$ ในหน่วยเมตริก)

4.7.2.2 สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง V_c ให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$V_c = \left[\beta_p\sqrt{f_c'}+0.3f_{pc}\right]b_0 d + V_p \qquad (4.7.2.2)$$

(หรือ $V_c = \left[0.27\beta_p\sqrt{f_c'}+0.3f_{pc}\right]b_0 d + V_p$ ในหน่วยเมตริก)

โดยที่ β_p เป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 0.29 และ $\left[\frac{\alpha_s d}{b_0}+1.5\right]/12$ (หรือค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 3.5 หรือ $\left[\frac{\alpha_s d}{b_0}+1.5\right]$ ในหน่วยเมตริก) และ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายใน เท่ากับ 30 สำหรับเสาขอบ และเท่ากับ 20 สำหรับเสามุม

4.7.3 ข้อกำหนดในข้อ 4.7.2 ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาหากหน่วยแรงเฉือนปรับค่าแบบสองทาง (Factored Two-Way Shear Stress) ณ ตำแหน่งที่ให้ค่าสูงสุดมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือน ϕv_n โดยหน่วยแรงเฉือนปรับค่าดังกล่าวเป็นส่วนของหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหวและส่งถ่ายโดยการเยื้องศูนย์ของแรงเฉือน (Eccentricity of Shear) และ ϕv_n ให้คำนวณดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับองค์อาคารที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

$$\phi v_n = \frac{\phi V_c}{b_0 d} \qquad (4.7.3\text{-ก})$$

(ข) สำหรับองค์อาคารที่เสริมเหล็กรับแรงเฉือนนอกเหนือจากเหล็กหมวกรับแรงเฉือน (Shearhead)

$$\phi v_n = \frac{\phi(V_c + V_s)}{b_0 d} \qquad (4.7.3\text{-ข})$$

4.7.4 สำหรับข้อต่อพื้นเสาในระบบแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง จะต้องจัดให้มีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนในแผ่นพื้นโดยที่กำลังต้านแรงเฉือนของเหล็กเสริม (V_s) จะต้องไม่น้อยกว่า $0.3\sqrt{f_c'}\,b_0 d$ (หรือไม่น้อยกว่า $0.93\sqrt{f_c'}\,b_0 d$ ในหน่วยเมตริก) และต้องวางเหล็กเสริมดังกล่าวออกไปจากขอบของที่รองรับเป็นระยะไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนาแผ่นพื้น แต่ข้อกำหนดข้างต้นอาจยกเว้นได้ หากการออกแบบเป็นไปตามข้อ (1) หรือข้อ (2) เพียงข้อหนึ่งข้อใด

(1) หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤตรอบเสาที่เกิดจากแรงเฉือนปรับค่า V_u ร่วมกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์ไม่สมดุลที่ส่งถ่ายระหว่างเสาและพื้นภายใต้การเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบจะต้องไม่เกินกำลังต้านแรงเฉือนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

(2) ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นออกแบบ (Design Story Drift) จะต้องไม่เกินกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง 0.005 ของความสูงระหว่างชั้น และ $[0.035 - 0.05(V_u / \phi V_c)]$

กรณีที่ใช้การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวง ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบให้คำนวณจากการเคลื่อนตัวในระบบรับแรงด้านข้างภายใต้แรงดังกล่าวคูณด้วยอัตราส่วน 3/K เมื่อ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ส่วนกรณีที่ใช้การคำนวณแรงสั่นสะเทือนในสถานะจำกัดด้านกำลัง (Strength Limit State) และใช้การวิเคราะห์แบบยืดหยุ่น (Elastic Analysis) ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบให้คำนวณจากการเคลื่อนตัวในระบบรับแรงด้านข้างภายใต้แรงดังกล่าวคูณด้วยตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัวที่เหมาะสม

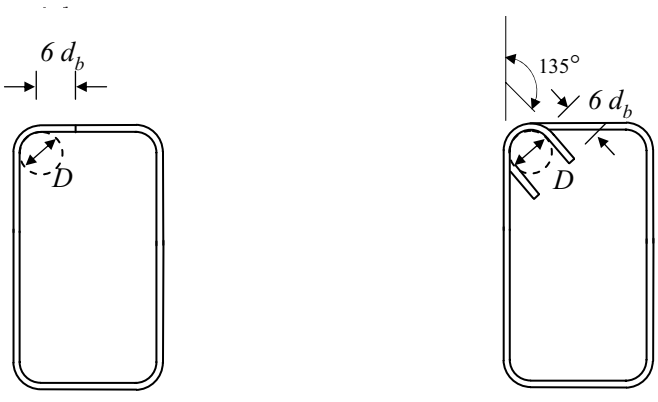
การคำนวณค่า V_u และ ϕV_c ให้เป็นไปตามข้อ 4.7.2

4.8 เพื่อป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) จุดรองรับภายในจะต้องมีเหล็กเสริมล่างวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาในแต่ละทิศทางเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_{sm} = \frac{0.5 w_u L_1 L_2}{0.9 f_y} \qquad (4.8)$$

โดยที่ w_u เป็นน้ำหนักบรรทุกปรับค่ากระจายอย่างสม่ำเสมอ แต่ทั้งนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน (Service Dead Load) สำหรับจุดรองรับที่ขอบและที่มุม เหล็กเสริมล่างที่จัดวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าสองในสามและหนึ่งในสองของปริมาณที่กำหนดไว้ในสมการข้างต้นตามลำดับ โดยที่เหล็กเสริมดังกล่าวจะต้องวางผ่านหรือฝังเข้าไปในเสา ทั้งนี้เหล็กเสริมในข้อ 4.6.5 สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม A_{sm} ได้

4.9 ของอสำหรับโครงสร้างรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ของอของเหล็กปลอกลูกตั้ง (Stirrup) และเหล็กปลอกรัดรอบ (Hoop) โดยทั่วไปอาจดัดเป็นมุม 90 องศา และมีส่วนปลายยื่นต่อไปอีกไม่น้อยกว่า 6 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก (รูปที่ 10) สำหรับอาคารสาธารณะ เช่น โรงมหรสพ หอประชุม โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา เป็นต้น ของอดังกล่าวควรมีการดัดเป็นมุม 135 องศา หรือในกรณีที่ทำเป็นของอ 90 องศา ควรยึดด้วยคลิปของอ (Hook - Clip) เพื่อรัดขาของอ 90 องศา ในบริเวณใกล้ข้อต่อ (ระยะ $2h$ ในรูปที่ 4 หรือ l_0 ในรูปที่ 5)



(ก) ของอ 90 องศา (สำหรับอาคารทั่วไป)

(ข) ของอ 135 องศา (สำหรับอาคารสาธารณะ)

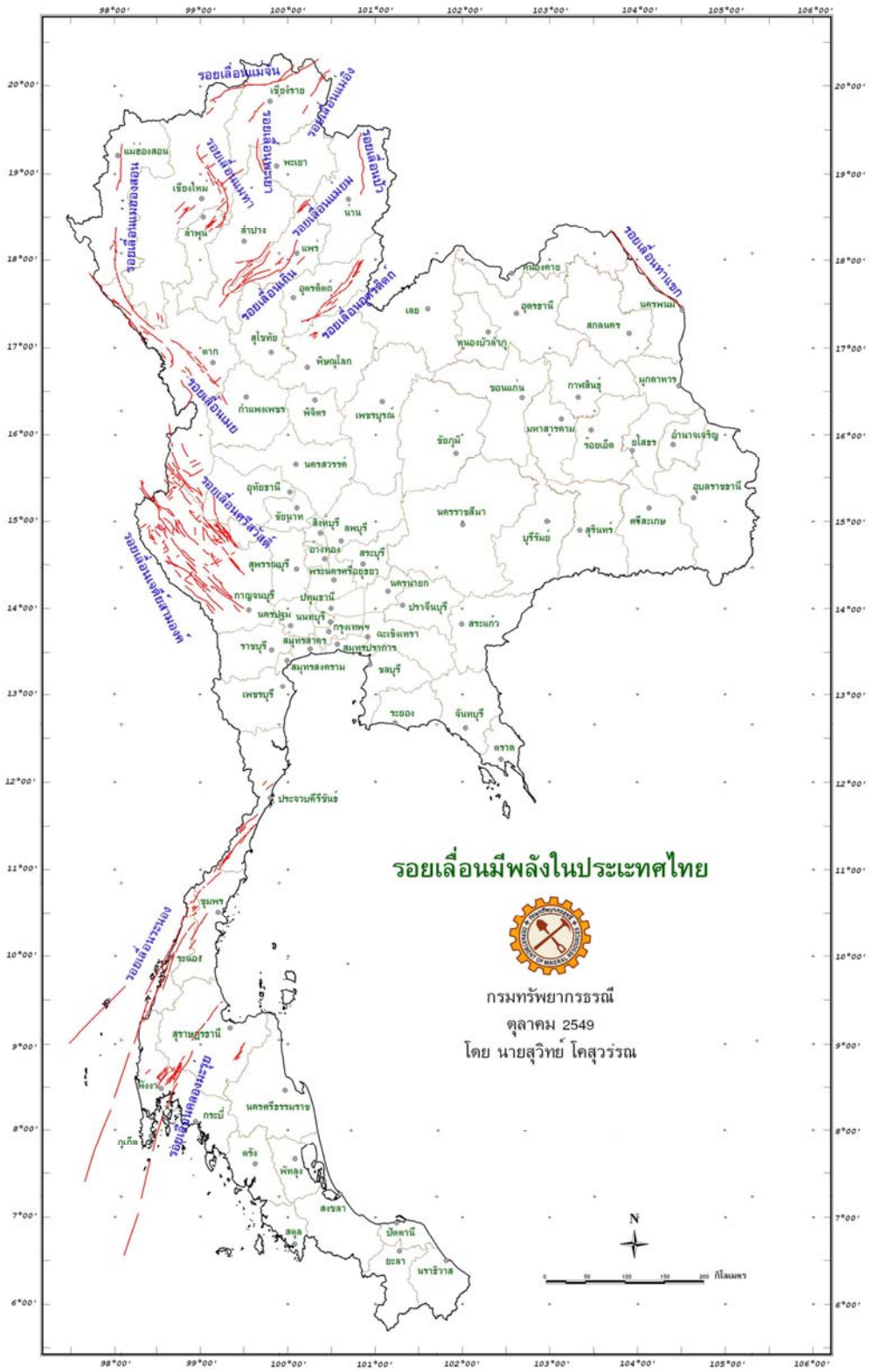
รปที่ 10 รายละเอียดของอสำหรับโครงสร้างรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

4.10 ฐานรากอาคาร ในการออกแบบฐานรากอาคาร ผู้ออกแบบและคำนวณจะต้องคำนึงถึงการส่งถ่ายแรงแผ่นดินไหวจากโครงสร้างอาคารส่วนบนเข้าสู่ฐานรากนอกเหนือจากแรงหรือน้ำหนักบรรทุกประเภทอื่นด้วย ในกรณีที่ฐานรากใช้ระบบเสาเข็มจะต้องคำนึงถึงการส่งถ่ายแรงแผ่นดินไหวจากฐานรากเข้าสู่เสาเข็มด้วย เช่น การกำหนดปริมาณเหล็กเสริมในเสาเข็มที่ฝังอยู่ในฐานราก การพิจารณาความสามารถในการรับแรงด้านข้างของเสาเข็มแต่ละต้น

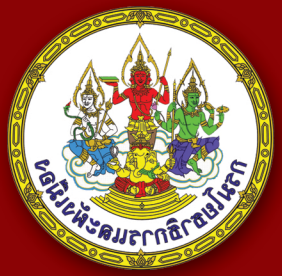
บรรณานุกรม

1. Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318M-99, American Concrete Institute, Michigan, 1999.
2. Lukkunaprasit, Panitan, *"Basic Concepts in Earthquake Resistant Design"*, International Seminar on Earthquake Resistant Design of Structures, Chiangmai, 1998.
3. Lukkunaprasit, P., and Sittipunt, C. *"Ductility Enhancement of Moderately Confined Concrete Tied Columns with Hook-Clips"*. ACI Structural Journal, 100(4), 422-429, 2003.
4. Uniform Building Code, 1991ed. International Conference of Building Officials, Whitter, California, 1991.
5. Uniform Building Code, 1997ed. International Conference of Building Officials, Whitter, California, 1997.
6. กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
7. กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
8. วิโรจน์ บุญญภิญโญ "*การเลือกรูปทรงของอาคารสำหรับการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว*" สัมมนาการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว ครั้งที่ 4, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2544
9. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2545
10. สุวิทย์ โคสุวรรณ แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2549

ภาคผนวก แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย



(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2549)



สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง
ถนนพระรามที่ 6 แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321