



**มาตรฐานประกอบกรอบการออกแบบอาคาร
เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว**

**มยพ. 1301-50
กรมทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
กระทรวงมหาดไทย**

คำนำ

ในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีเหตุการณ์แผ่นดินไหวเกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกประเทศหลายครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งได้ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ในประเทศไทยมาโดยตลอด และนับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในทะเลอันดามัน เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 ที่ก่อให้เกิดคลื่นสึนามิ และสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินในพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของประเทศอย่างรุนแรง นำความโศกเศร้ามาสู่ผู้ที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เป็นสิ่งย้ำเตือนว่าภัยแผ่นดินไหวไม่ใช่สิ่งที่ไกลตัวสำหรับประเทศไทยอีกต่อไป กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการกำหนดมาตรฐานการก่อสร้างอาคาร จึงได้จัดทำมาตรฐานประกอบกรอกแบบอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวขึ้น ให้หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ปฏิบัติให้การออกแบบและก่อสร้างอาคารเป็นไปตามหลักวิชาการ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดโดยไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากนัก รวมทั้งเป็นการสอดคล้องกับประมวลข้อบังคับอาคาร (Building Code) ประจำชาติที่กำลังดำเนินการจัดทำอยู่และจะมีบทบาทต่อการควบคุมอาคารในอนาคตด้วย

มาตรฐานประกอบกรอกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว หรือ มยผ.1301-50 นี้ เป็นมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมืองที่จัดทำขึ้นเพื่อเพิ่มเติมรายละเอียดการคำนวณกรอกแบบอาคารในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวให้มีความสมบูรณ์และชัดเจนยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้ปฏิบัติในการก่อสร้างอาคารได้อย่างเหมาะสม โดยเนื้อหาของมาตรฐานดังกล่าวประกอบด้วย เกณฑ์กำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง และรายละเอียดการเสริมเหล็กโครงสร้างดัดคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีความเหนียวจำกัด

ท้ายนี้ กรมโยธาธิการและผังเมืองขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรมแผ่นดินไหวในคณะทำงานทุกท่านที่ได้อุทิศเวลาอันมีค่าช่วยจัดทำมาตรฐาน มยผ. 1301-50 จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การปฏิบัติตามมาตรฐานดังกล่าวจะทำให้การก่อสร้างอาคารในพื้นที่เสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวมีความมั่นคงแข็งแรงยิ่งขึ้น อันจะนำมาซึ่งความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนสืบไป

(นายฐิระวัตร กุลละวณิชย์)
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

บทนำ

กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับหลักการกว้างๆ และการคำนวณแรงจากแผ่นดินไหวแต่ไม่มีรายละเอียดบางอย่างที่จำเป็น เช่น ลักษณะของอาคารที่จัดว่ามีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ การให้รายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อให้อาคารมีความเหนียวเป็นต้น ดังที่ทราบกันดี การออกแบบอาคารให้มีความต้านทานผลจากแผ่นดินไหวจะพิจารณาเฉพาะแรงอย่างเดียวไม่ได้ หากอาคารไม่ได้รับการออกแบบรายละเอียดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม จะไม่สามารถมีพฤติกรรมที่ดีได้เมื่อถูกสั่นไหวกลับไปกลับมาจากแผ่นดินไหว

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนี้ จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดข้อพึงปฏิบัติสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้ผลของแผ่นดินไหวที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) โดยอิงข้อกำหนดใน Uniform Building Code 1997 (UBC 1997) เป็นหลัก โดยทั่วไปข้อกำหนดที่ให้เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำ ในกรณีที่มาตรฐานระบุว่า ควรกระทำสิ่งใด หมายความว่าสิ่งที่กล่าวนั้นเป็นข้อแนะนำจากคณะผู้ทำงานจัดทำมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจะเป็นการปฏิบัติที่ให้ระดับพฤติกรรมอาคารที่ดีกว่าที่กำหนดใน UBC 1997 จึงเป็นวิจักษณ์ของวิศวกรที่จะเลือกปฏิบัติได้ตามความเหมาะสม

ในฐานะประธานคณะทำงานจัดทำมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กและพิจารณาแก้ไขสูตรการคำนวณสำหรับการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว ขอขอบคุณกรรมการทุกท่านที่เสียสละในการดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ได้แก่ ดร.เสถียร เจริญเหรียญ นายศักดิ์รัตน์ แก้วอุ่นเรือน และนายกิตติ เหลืองจิรโนทัย ที่ได้มีส่วนร่วมในการจัดการประชุมและจัดทำต้นฉบับของมาตรฐานนี้อย่างดียิ่ง



(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักกณะประสิทธิ์)
ประธานคณะทำงานจัดทำมาตรฐาน

คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

■ ที่ปรึกษา

วิศวกรใหญ่ สุรพล พงษ์ไทยพัฒนา
กรมโยธาธิการและผังเมือง

นายอดิศร มโนมัยธำรงกุล
กรมโยธาธิการและผังเมือง

■ ประธานคณะกรรมการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

■ คณะทำงานผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชูชีพสกุล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.เป็นหนึ่ง วานิชชัย
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.อมร พิमानมาศ
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

■ คณะทำงานและเลขานุการ

ดร.เสถียร เจริญเหรียญ
กรมโยธาธิการและผังเมือง

■ คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

นายศักดิ์รัตน์ แก้วอุ้นเรือน
กรมโยธาธิการและผังเมือง
นายกิตติ เหลืองจิรโณทัย
กรมโยธาธิการและผังเมือง

ISBN 974 -

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดย สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร
กรมโยธาธิการและผังเมือง

ถ.พระราม 6 แขวงสามเสนใน

เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทร 0-2299-4351 โทรสาร 0-2299-4366

สารบัญ

ส่วนที่	หน้า
1. ขอบข่าย	1
2. นิยามและสัญลักษณ์	1
3. ลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง	4
4. รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	8
บรรณานุกรม	18
ภาคผนวก	19

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวตั้ง	4
2. ความไม่สม่ำเสมอของฝั่งโครงสร้าง	6

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1. ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวตั้ง	5
2. ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของฝั่งโครงสร้าง	6-7
3. ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน	9
4. รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน	10
5. รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา	11
6. การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนที่กระทำต่อข้อต่อ	12
7. ประเภทข้อต่อต่าง ๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ	13
8. แสดงพื้นที่ต้านแรงเฉือนประสิทธิผลของข้อต่อระหว่างคานและเสา	14
9. รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางไร้คาน	15-16
10. รายละเอียดของข้อต่อสำหรับโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว	18

มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

ส่วนที่ 1 ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนี้เป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมจากกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เพื่อให้การออกแบบโครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎหมายกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ๕ มีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัย
- 1.2 ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงงานก่อสร้างถนน สะพาน เขื่อน อุโมงค์และงานก่อสร้างอาคารชั่วคราว
- 1.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับลักษณะและรูปทรงของโครงสร้างเป็นข้อกำหนดสำหรับการจำแนกอาคารตามลักษณะและรูปทรงของอาคาร เพื่อให้สอดคล้องกับการกำหนดรูปทรงของอาคารในกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ๕ ซึ่งข้อกำหนดนี้ได้มาจากข้อกำหนดว่าด้วยลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง (Configuration Requirements) ของ Uniform Building Code พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2540
- 1.4 ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวจำกัดในส่วนที่ 4 เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำสำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารควบคุมตามกฎหมายกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ๕ ที่ใช้โครงสร้างดัดเป็นโครงสร้างต้านแรงด้านข้าง และเป็นข้อกำหนดที่นอกเหนือจากข้อกำหนดคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ซึ่งข้อกำหนดส่วนใหญ่เป็นไปตามข้อกำหนดการเสริมเหล็กสำหรับรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวในเขตพื้นที่รุนแรงปานกลางของ Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318)
- 1.5 ข้อกำหนดการเสริมเหล็กของโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวจำกัดในส่วนที่ 4 ไม่ครอบคลุมถึงองค์อาคารที่ไม่ระบุให้เป็นส่วนของระบบรับแรงด้านข้าง (Members not Designated as Part of the Lateral-Force-Resisting System) ยกเว้นแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้างจะต้องปฏิบัติตามข้อ 4.7.2 และ 4.8 ตามมาตรฐานนี้ด้วย
- 1.6 หากไม่ได้มีการระบุเป็นอย่างอื่นแล้ว การรวมน้ำหนักบรรทุก (Load Combinations) ในมาตรฐานนี้ให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยให้แทนผลของแรงลมด้วยแรงแผ่นดินไหวตามกฎหมายกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ๕
- 1.7 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System units) เป็นหลักและมีหน่วยเมตริกกำกับในวงเล็บต่อท้าย โดยการแปลงหน่วยของแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

ส่วนที่ 2 นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall)” หมายถึง กำแพงที่ได้รับการออกแบบให้ต้านแรงด้านข้างที่ขนานกับระนาบของตัวกำแพง

“โครงแกงแวง (Braced Frame)” หมายถึง ระบบที่ใช้โครงข้อหมุนในระนาบตั้งทำหน้าที่ต้านแรงด้านข้างโดยรอยต่อเป็นได้ทั้งแบบตรงศูนย์หรือเอียงศูนย์

“โครงสร้างดัด (Moment-Resisting Frame)” หมายถึง โครงที่มีองค์อาคารและรอยต่อซึ่งสามารถต้านแรงโดยการดัดเป็นหลัก

“โครงสร้างดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame)” หมายถึง โครงสร้างดัดของอาคารที่ได้รับการจัดระบบโครงสร้างที่ดี มีการออกแบบเพื่อให้การวิบัติเชิงดัด (Flexure Failure) เกิดขึ้นในคานเป็นสำคัญ

โดยที่ชั้นส่วนทั้งเสาและคานมีความสามารถด้านความเหนียวเชิงโค้ง (Curvature Ductility Capacity) ณ ตำแหน่งที่อาจเกิดการวิบัติไม่น้อยกว่า 20

“**โครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด (Ductile Moment-Resisting Frame with Limited Ductility)**”

หมายถึง โครงสร้างแรงดัดที่มีรายละเอียดการเสริมเหล็กเพื่อให้โครงสร้างมีความเหนียวจำกัด โดยรายละเอียดการเสริมเหล็กของโครงสร้างแรงดัดคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความเหนียวดังกล่าวให้เป็นไปตามส่วนที่ 4 ของมาตรฐานนี้

“**โครงสร้างลักษณะไม่สม่ำเสมอ (Irregular Structure)**” หมายถึง โครงสร้างที่มีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง และมวลในแนวราบหรือในแนวตั้งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

“**โครงสร้างลักษณะสม่ำเสมอ (Regular Structure)**” หมายถึง โครงสร้างที่ปราศจากความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง และมวลในแนวราบหรือในแนวตั้งหรือความไม่ต่อเนื่องในระบบต้านแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ ตามรายละเอียดที่ระบุในข้อ 3.1

“**ไดอะแฟรม (Diaphragm)**” หมายถึง ระบบโครงสร้างที่วางตัวอยู่ในแนวราบหรือใกล้เคียงแนวราบ ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงด้านข้างไปสู่ชั้นส่วนในแนวตั้งซึ่งเป็นส่วนของระบบต้านแรงด้านข้าง คำว่าไดอะแฟรมจะหมายรวมไปถึงระบบค้ำยันในแนวราบด้วย

“**ระบบต้านแรงด้านข้าง (Lateral-Force-Resisting System)**” หมายถึง ระบบโครงสร้างหรือส่วนของระบบโครงสร้างที่ออกแบบให้ต้านแรงแผ่นดินไหว

“**แรงบิดโดยบังเอิญ (Accidental Torsion)**” หมายถึง แรงบิดที่อาจจะเกิดขึ้นโดยบังเอิญจากผลของแรงเฉือนรวมในแต่ละชั้น (Story Shear) กระทำเยื้องศูนย์กลางจากจุดศูนย์กลางของความแข็งเกร็ง (Center of Rigidity) ของระบบต้านแรงด้านข้างในแต่ละชั้น โดยระยะเยื้องศูนย์กลางดังกล่าวจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของมิติอาคารที่มากที่สุดในระดับชั้นนั้น

2.2 สัญลักษณ์

A_g = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (ตารางเซนติเมตร)

A_j = พื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวนอนประสิทธิภาพของข้อต่อ 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)

d = ความลึกประสิทธิภาพหรือระยะจากขอบบนสุดด้านรับแรงอัดถึงจุดศูนย์กลางถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

d_b = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)

- f_c' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต หาได้จากการทดสอบแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน $\varnothing 150 \times 300$ มิลลิเมตร หน่วยเป็นเมกะปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)
- f_{pc} = หน่วยแรงอัดเฉลี่ยในคอนกรีตที่เป็นผลจากการอัดแรงและมีการสูญเสียของการอัดแรงเกิดขึ้นแล้ว หน่วยเป็นเมกะปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)
- f_y = กำลังที่จุดครากของเหล็กเสริม หน่วยเป็นเมกะปาสกาล (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)
- h = ความลึกของคานหรือข้อต่อ หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- H_c = ความสูงช่วงว่างของเสา หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- L_1 = ความยาวช่วงของแผ่นพื้นในทิศทางที่ใช้หาโมเมนต์ วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของที่รองรับ
- L_2 = ความยาวช่วงตามขวางกับ L_1 วัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของที่รองรับ
- L_c = ความยาวช่วงว่างของคาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- M_s = สัดส่วนของโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จตุรรองรับ หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)
- M_n = โมเมนต์ดัดระบุ หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)
- M_u = โมเมนต์ดัดปรับค่า หน่วยเป็นนิวตัน-มิลลิเมตร (กิโลกรัมแรง-เซนติเมตร)
- s = ระยะเรียงของเหล็กปลูกตั้งหรือเหล็กปลอก หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- t = ความหนาของแผ่นพื้น หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เซนติเมตร)
- U = กำลังที่ต้องการ
- V_c = กำลังต้านแรงเฉือนระบุที่รับโดยคอนกรีต หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)
- V_{col} = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสา ที่ใช้ในการออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)
- V_j = แรงเฉือนในแวนอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)
- V_n = กำลังต้านแรงเฉือนระบุ หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)
- V_p = แรงเฉือนเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผลของเหล็กเสริมอัดแรงที่พิจารณา หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมแรง)
- w_u = น้ำหนักบรรทุกปรับค่า
- α_s = ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือน V_c ในแผ่นพื้น
- β_c = อัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นของเสา
- 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

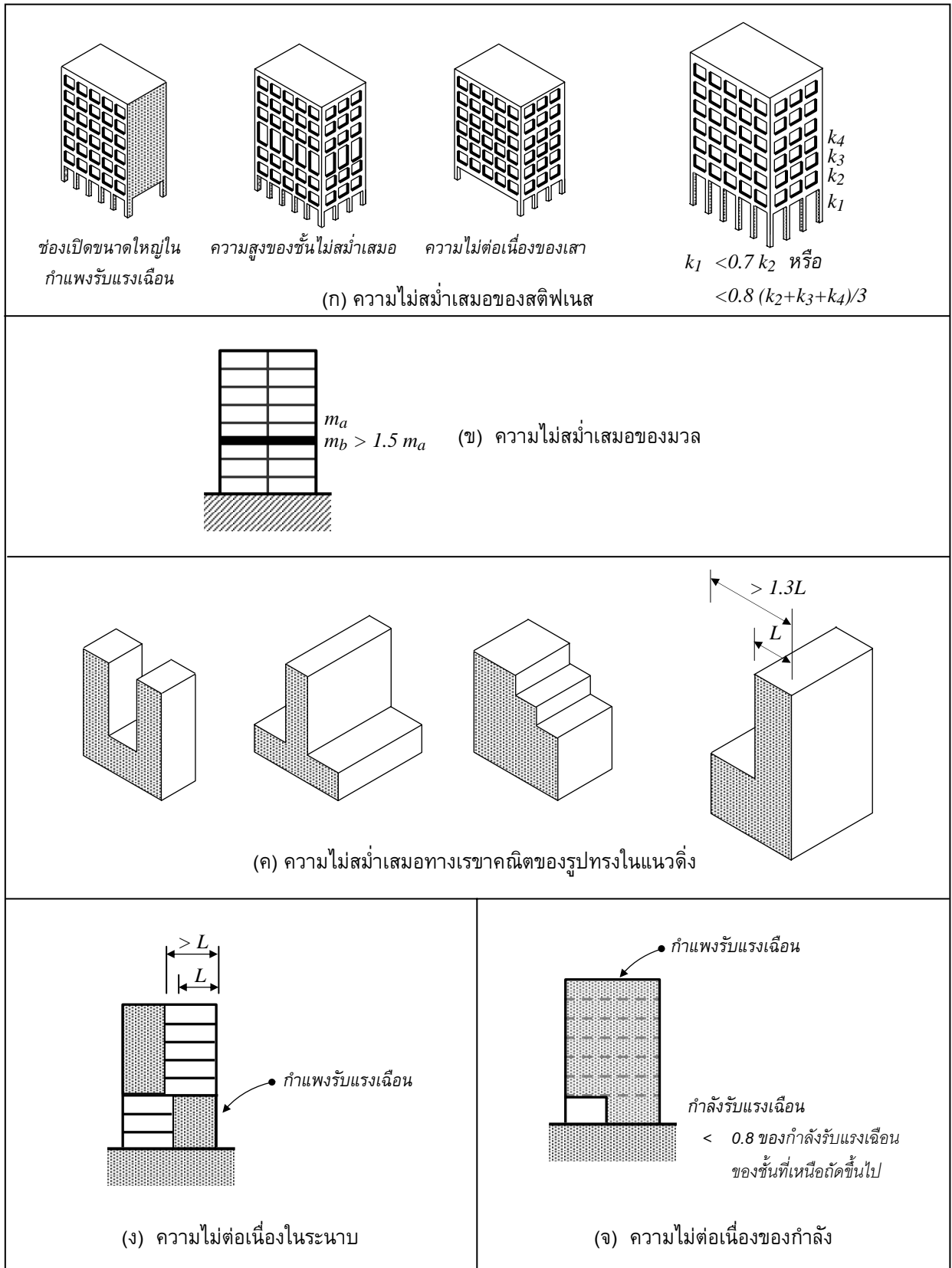
อาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ฯ จะถือว่าไม่ลักษณะไม่สม่ำเสมอหากมีความไม่ต่อเนื่องทางกายภาพของลักษณะหรือรูปทรงของโครงสร้างในแนวดิ่งหรือในแนวราบเป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งในตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2

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) ของชั้นใด ๆ 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 เมื่อไม่มีค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวด้านข้างระหว่างชั้นของชั้นใด ๆ ภายใต้อัตราส่วนด้านข้างสถิตเทียบเท่าที่สูงกว่า 1.3 เท่าของชั้นที่เหนือถัดขึ้นไป ทั้งนี้ค่าอัตราส่วนดังกล่าวของสองชั้นบนสุดไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา รวมถึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของการบิดในการคำนวณการเคลื่อนตัวดังกล่าวด้วย

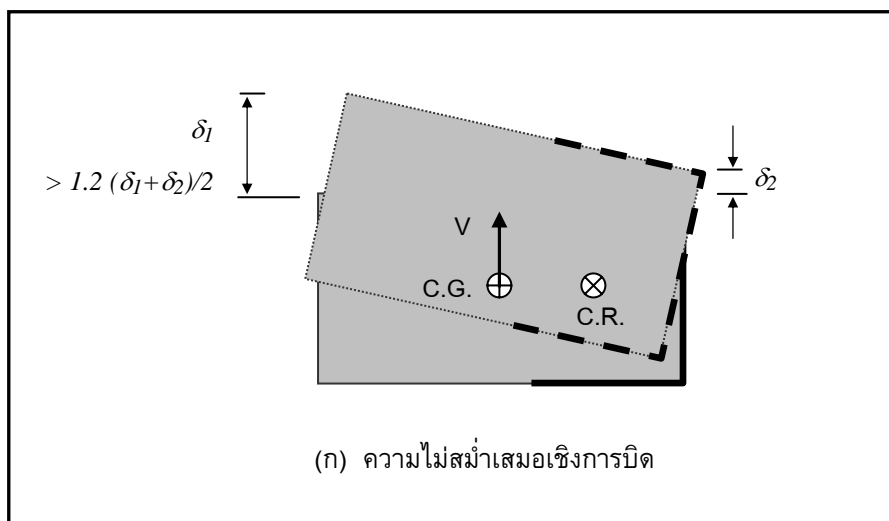


รูปที่ 1 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในแนวตั้ง

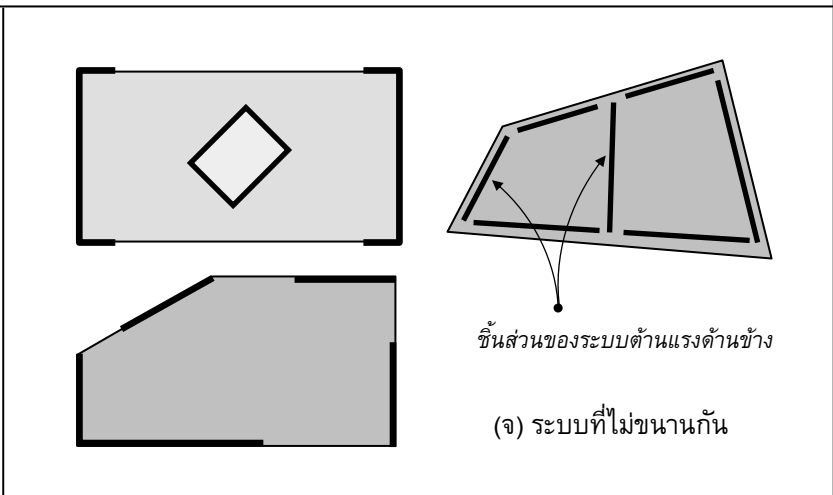
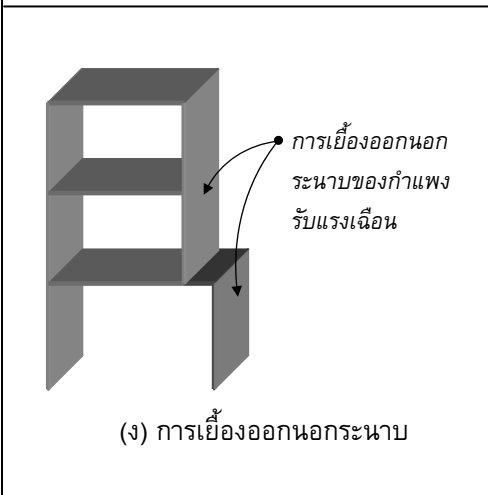
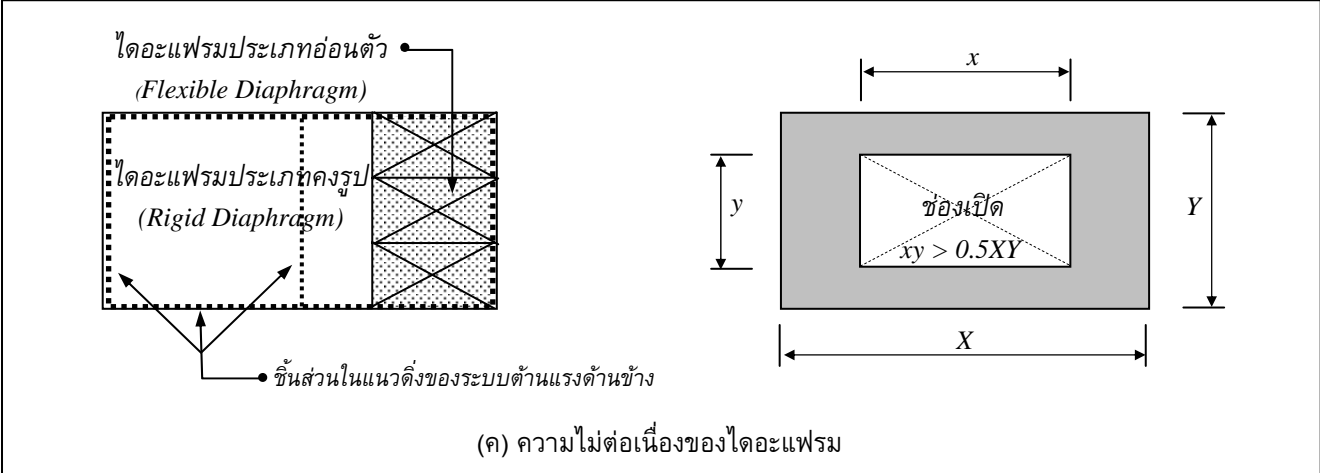
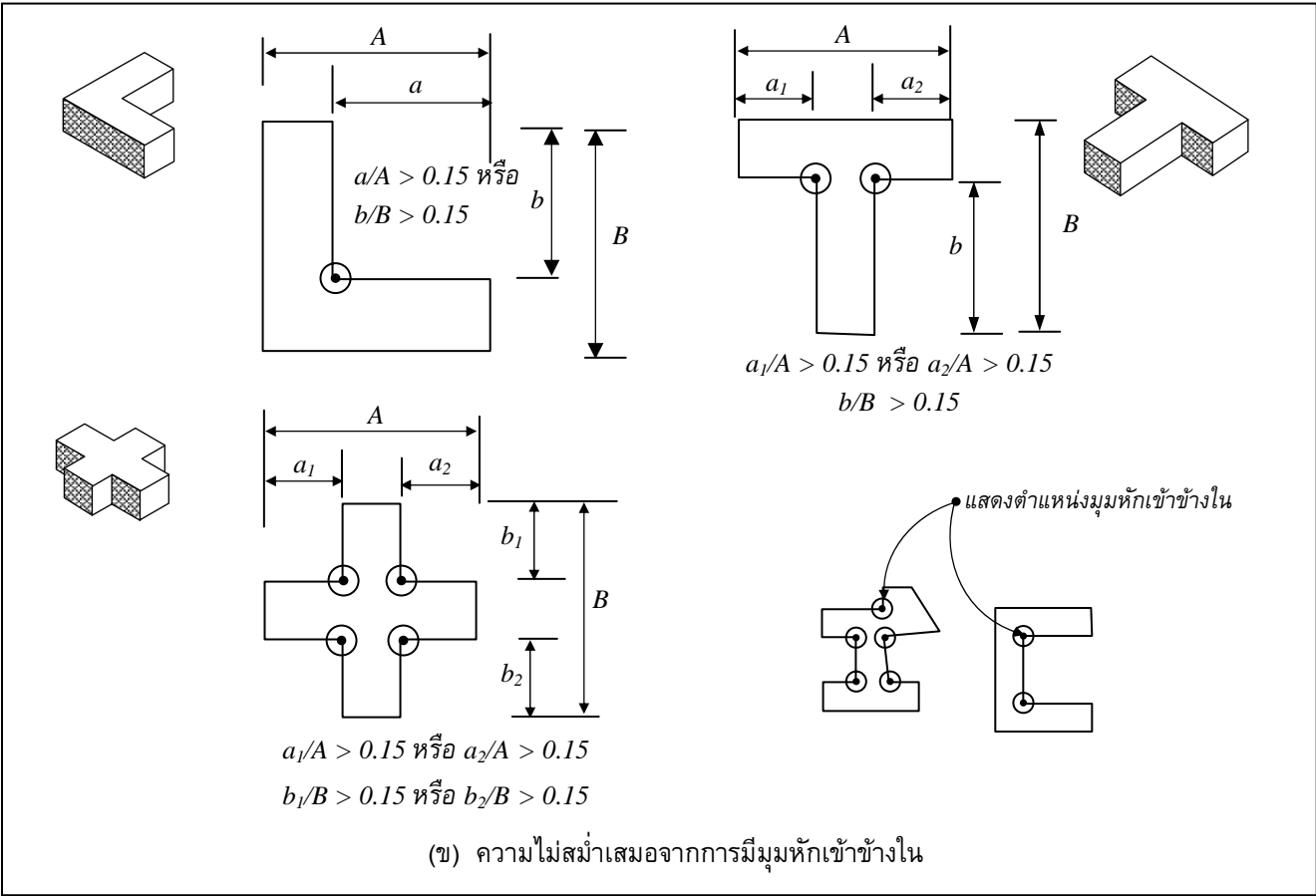
ตารางที่ 2 ความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (Plan Structural Irregularities)

(ข้อ 3.1)

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



รูปที่ 2 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง



รูปที่ 2 ตัวอย่างความไม่สม่ำเสมอของผังโครงสร้าง (ต่อ)

ส่วนที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

4.1 คานและเสา คานในมาตรฐานนี้หมายความว่าถึง 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

4.2.1 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองถึงค่าโมเมนต์กำลังรวมกับแรงเฉือนจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ถ้ามี) (รูปที่ 3)

4.2.2 แรงเฉือนสูงสุดที่ได้จากการรวมน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบ (Design Load Combinations) ที่พิจารณาแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงที่กำหนดในกฎหมายควบคุมอาคารว่าด้วยการก่อสร้างอาคารในเขตที่อาจได้รับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

4.3 การเสริมเหล็กในคาน ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในคานของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 4)

4.3.1 กำลังต้านโมเมนต์บวกที่ขอบของข้อต่อจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกำลังต้านโมเมนต์ลบที่ขอบของข้อต่อเดียวกัน นอกจากนี้กำลังต้านโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบที่หน้าตัดใดๆ ตลอดความยาวคานจะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในห้าของกำลังต้านโมเมนต์สูงสุดที่ขอบของข้อต่อที่ปลายทั้งสองของคาน

4.3.2 ภายในบริเวณปลายคานที่ห่างจากขอบของจตุรรองรับเป็นระยะ 2 เท่าของความลึกคานจะต้องเสริมเหล็กปลอกที่มีระยะเรียงของเหล็กปลอกไม่มากกว่าค่าดังต่อไปนี้

- (1) 1 ใน 4 ของความลึกประสิทธิภาพ
- (2) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด
- (3) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- (4) 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะอยู่ห่างจากขอบของจตุรรองรับเป็นระยะไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร

4.3.3 ระยะเรียงของเหล็กปลอกในบริเวณอื่นที่นอกเหนือจากข้อ 4.3.2 จะต้องไม่มากกว่าครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิภาพ

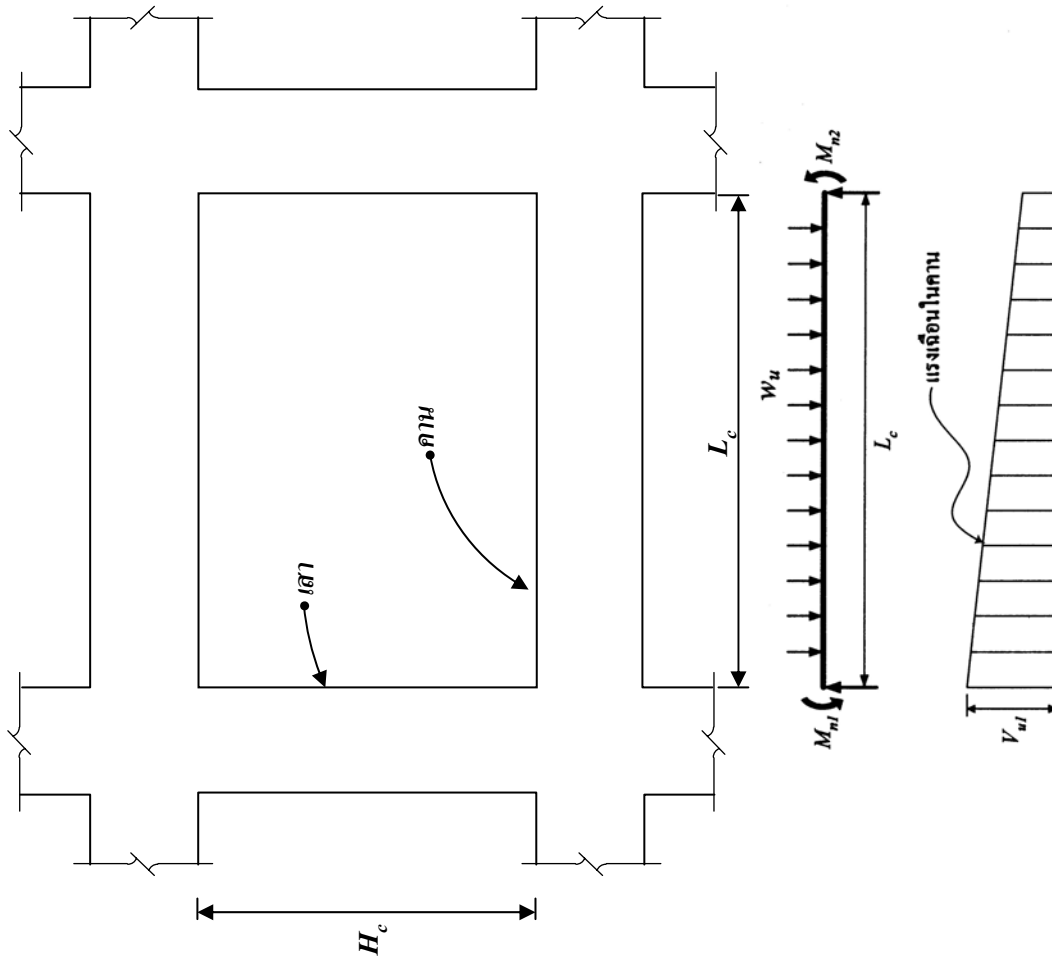
4.3.4 ควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมตามยาวทั้งบนและล่างภายในระยะ 2 เท่าของความลึกคาน เมื่อวัดจากขอบของจตุรรองรับ

4.4 การเสริมเหล็กในเสา ข้อกำหนดการเสริมเหล็กในเสาของโครงต้านแรงดัดมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 5)

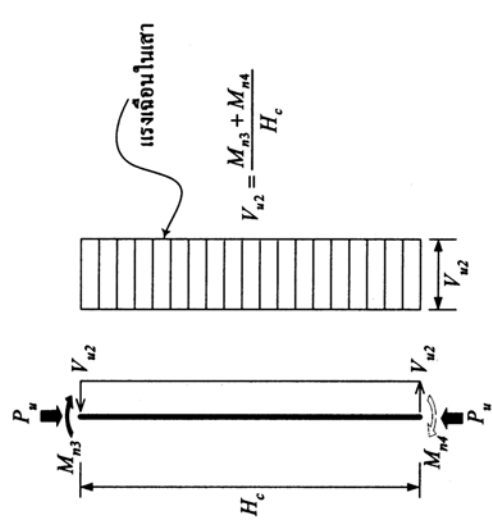
4.4.1 ในกรณีเหล็กปลอกเดี่ยว จะต้องเสริมเหล็กปลอกเดี่ยวที่มีระยะไม่มากกว่าระยะ s_0 ตลอดความยาว l_0 ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสา โดยที่ระยะ s_0 จะต้องไม่มากกว่าระยะดังต่อไปนี้

- (1) 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กที่สุด
- (2) 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก
- (3) ครึ่งหนึ่งของมิติที่เล็กที่สุดของหน้าตัดเสา
- (4) 300 มิลลิเมตร

และเหล็กปลอกแรกจะต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5 s_0$



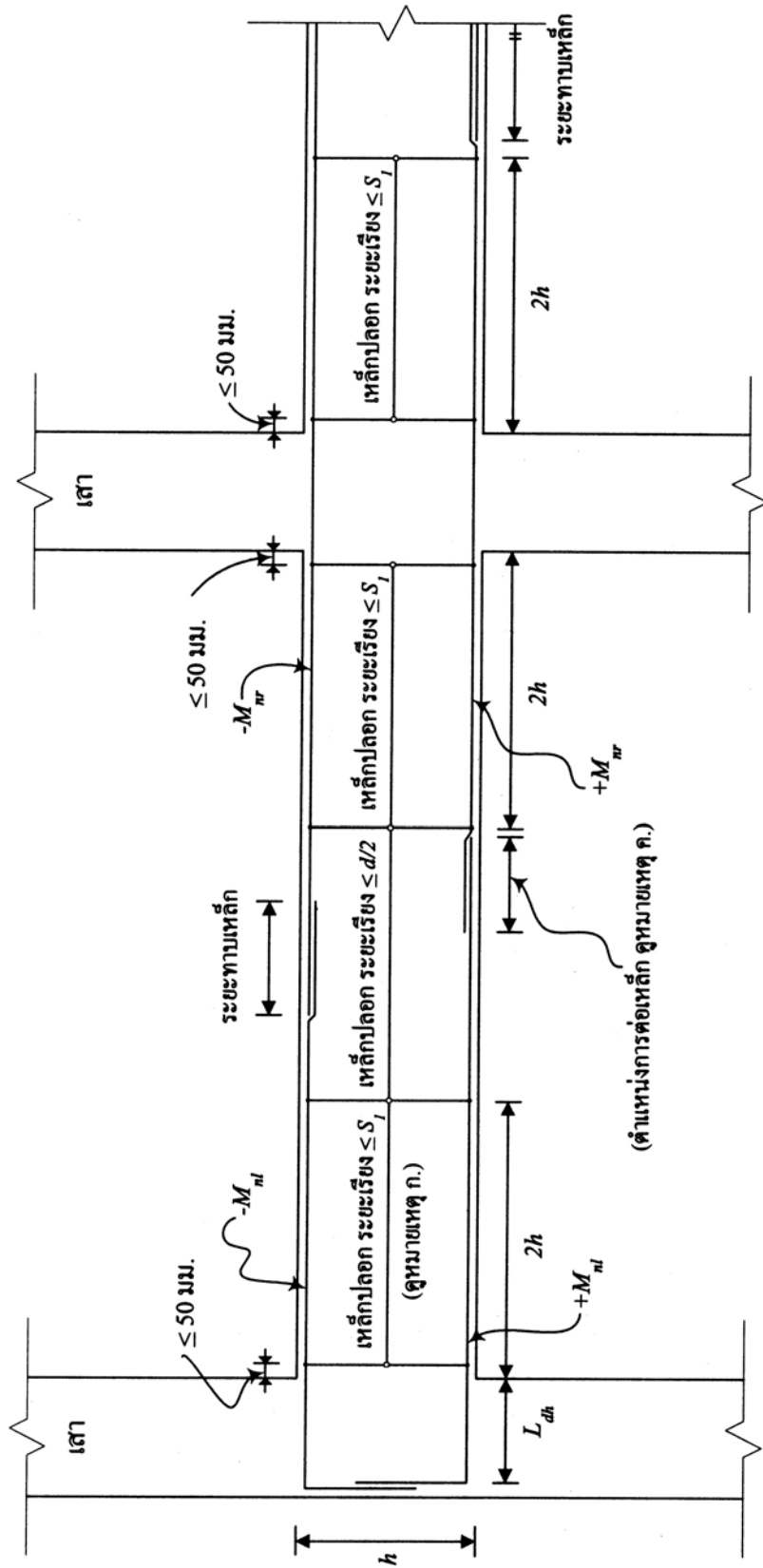
$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L_c} + \frac{1}{2} W_u L_c$$



$$V_{u2} = \frac{M_{n3} + M_{n4}}{H_c}$$

หมายเหตุ นำหนักบรรทุกปรับค่า w_u และ P_u ให้คำนวณจากชุดน้ำหนักบรรทุกรวมระหว่างน้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร และแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว

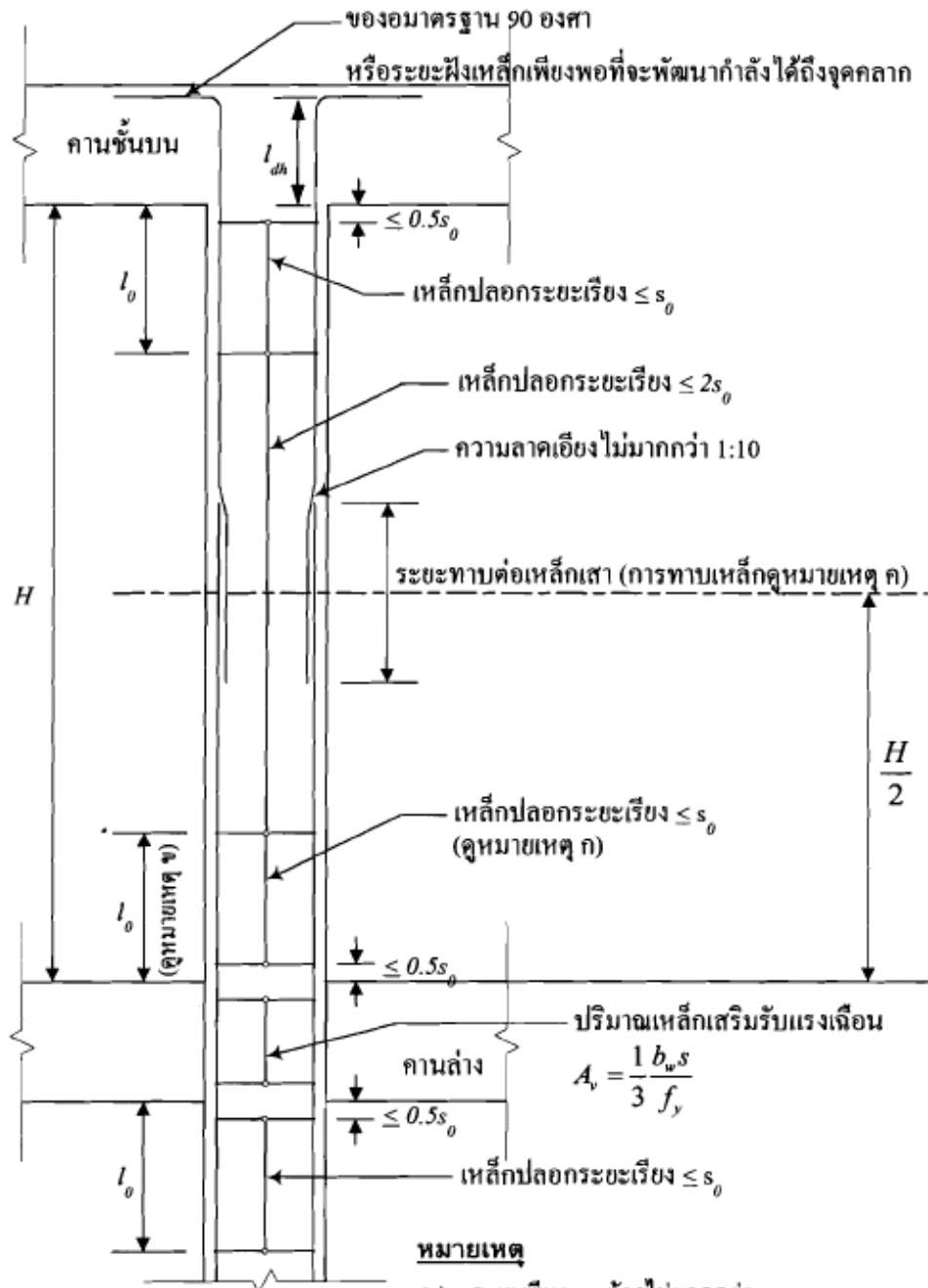
รูปที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนตามข้อ 4.2.1



หมายเหตุ

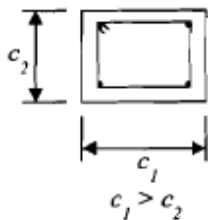
- ก.) ระยะเรียง S, ต้องไม่มากกว่า (1) 1 ใน 4 ของความลึกปริมิตริผล; (2) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามความยาวที่มีขนาดเล็กลงสุด; (3) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก; และ (4) 300 มิลลิเมตร
- ข.) ไม่นานต์ัดระบุ (1) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$; (2) $+M_{nr} \geq (1/3)(-M_{nr})$; และ (3) $-M_{nr}$ และ $-M_{nr}$
- ค.) ไม่ทาบเหล็กเสริมทั้งบนและล่างภายในระยะ 2h จากขอบของที่รองรับ
- ง.) L_{deh} = ระยะฝังเหล็ก (Development length)

รูปที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน



หมายเหตุ

- ก.) ระยะเรียง s_0 ต้องไม่มากกว่า
 - (1) 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด;
 - (2) 24 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก;
 - (3) $C/2$; และ (4) 300 มิลลิเมตร
- ข.) ระยะ l_0 ต้องไม่น้อยกว่า
 - (1) $H/6$; (2) c_1 ; และ (3) 500 มิลลิเมตร
- ค.) การต่อเหล็กเสา ให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา
- ง.) l_{db} = ระยะฝังเหล็ก (Development length)
- จ.) อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_v/A_0 ของเสา ต้องไม่น้อยกว่า



รูปที่ 5 รายละเอียดการเสริมเหล็กในเสา

4.4.2 สำหรับความยาว l_0 ในข้อ 4.4.1 จะต้องไม่น้อยกว่าความยาวดังนี้

- (1) 1 ใน 6 ของความสูงจากขอบถึงขอบของเสา
- (2) มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสา
- (3) 500 มิลลิเมตร

4.4.3 ในกรณีเหล็กปลอกเกลียว การเสริมเหล็กให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

4.4.4 ยกเว้นข้อต่อระหว่างเสาและคานที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบรับแรงแผ่นดินไหวและมีการยึดโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยแผ่นพื้นหรือคานที่มีความลึกเท่ากันโดยประมาณ ข้อต่อต้องมีการเสริมเหล็กปลอกเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

$$A_v = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y} \quad (4.4.4)$$

(หรือไม่น้อยกว่า $A_v = 3.5 \frac{b_w s}{f_y}$ สำหรับหน่วยเมตริก)

โดยที่เหล็กเสริมนี้จะต้องเสริมภายในเสาเป็นความลึกไม่น้อยกว่าความลึกของคานที่ลึกที่สุดที่ข้อต่อนั้น

4.4.5 ระยะเรียงของเหล็กปลอกเดี่ยวในส่วนที่นอกเหนือจากข้อ 4.4.1 จะต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของระยะ s_0

4.4.6 พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามยาวของเสาต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่มากกว่า 0.06 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

4.4.7 การต่อเหล็กเสริมในเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

4.5 การออกแบบข้อต่อระหว่างคานและเสา

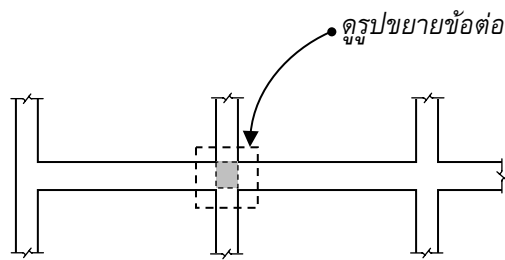
ข้อต่อระหว่างคานและเสาต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อมิให้แรงภายในข้อต่อมีค่าเกินกว่ากำลังของข้อต่อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.5.1 แรงเฉือนในแนวอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ (V_j) จะต้องไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) หรือ

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

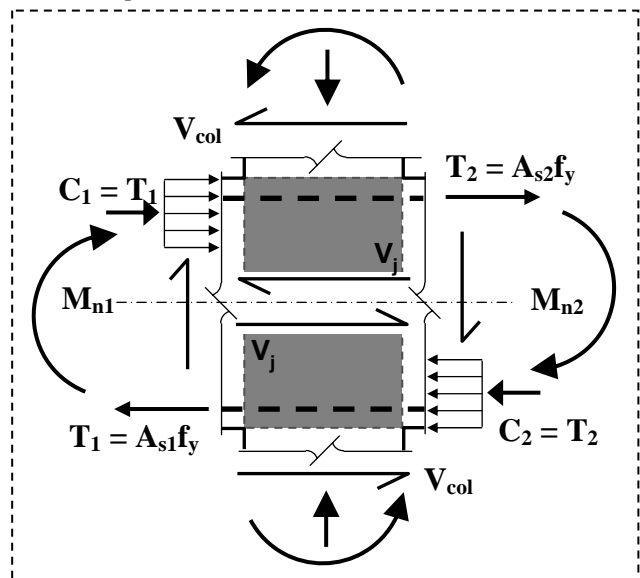
โดยที่ตัวคูณลดกำลังของข้อต่อ (ϕ) ให้ใช้เท่ากับ 0.85

4.5.2 แรงเฉือนในแนวอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อเป็นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน้าตัดคานที่ปลายคานทั้งสองด้านของข้อต่อมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัดระบุในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 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 การคำนวณแรงเฉือนในแนวอนสูงสุดที่กระทำต่อข้อต่อ

4.5.3 กำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อมีค่าดังต่อไปนี้

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

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

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

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

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

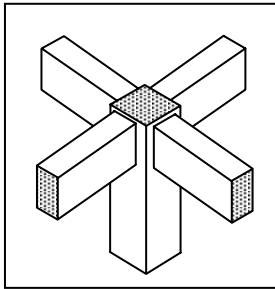
$$(V_n = 3.9\sqrt{f_c'}A_j \text{ ในหน่วยเมตริก})$$

- (3) ข้อต่ออื่นๆ [(รูปที่ 7 (ค))]

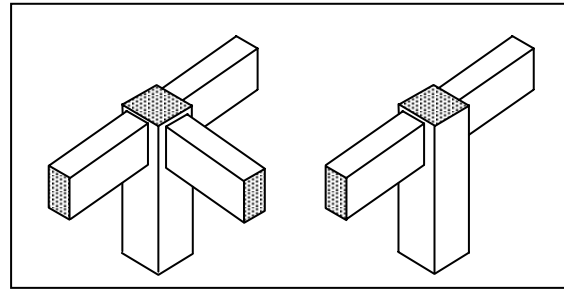
$$V_n = 1.0\sqrt{f_c'}A_j \quad (4.5.3-ค)$$

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

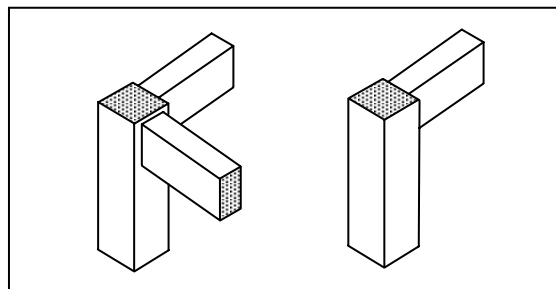
โดยที่ A_j เป็นพื้นที่ต้านแรงเฉือนในแนวอนประสิทธิผลของข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 8 และจะถือว่าข้อต่อได้รับการยึดรัดจากคานก็ต่อเมื่อคานที่เข้ามายึดรัดนั้นมีความกว้างไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความกว้างเสาด้านที่คานเข้ามาบรรจบ และมีความลึกไม่น้อยกว่าสามในสี่ของความลึกคานตัวที่ลึกที่สุดที่เข้ามาบรรจบกันที่ข้อต่อ



(ก) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคานทั้ง 4 ด้าน

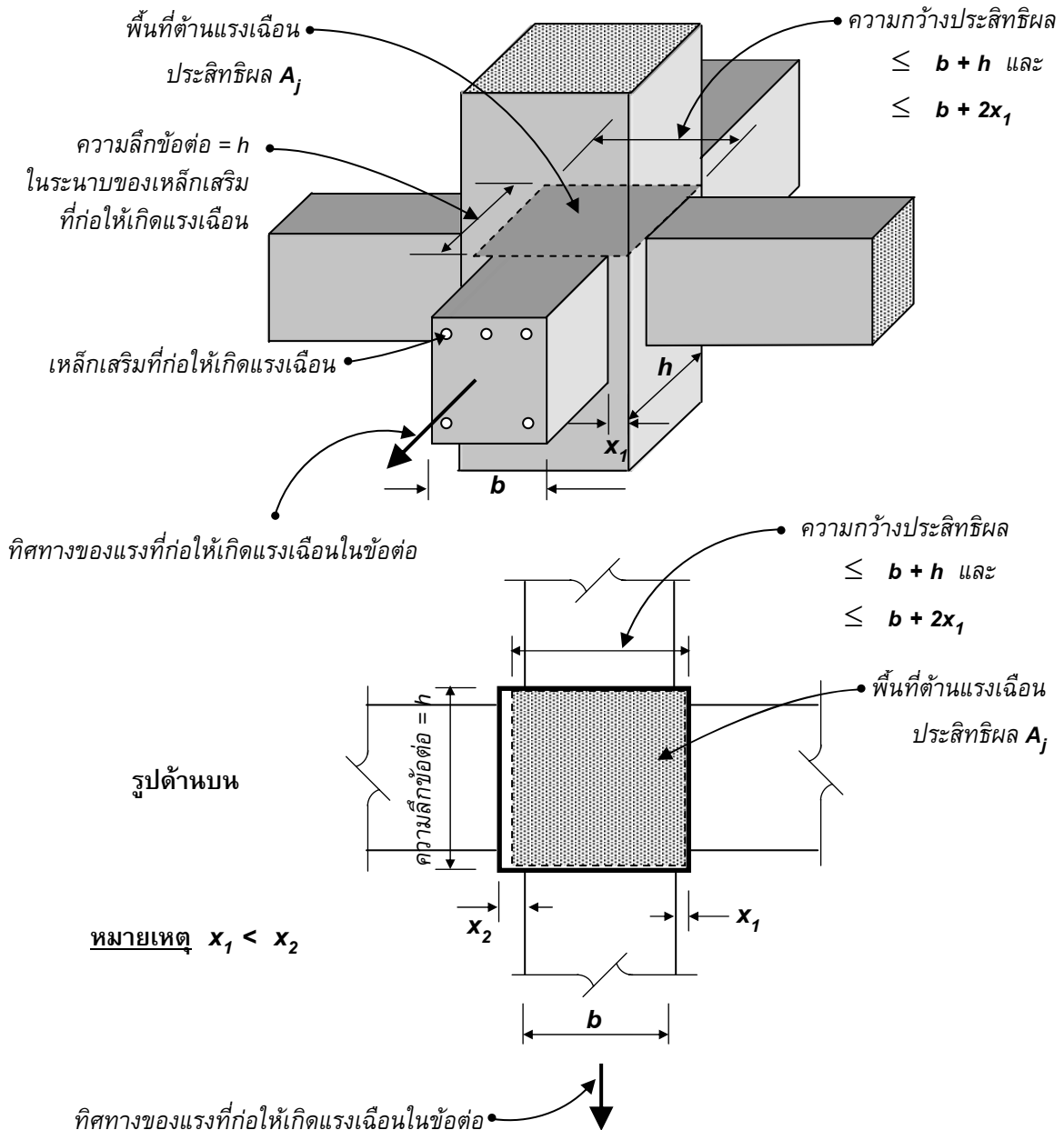


(ข) ข้อต่อที่ได้รับการยึดรัดจากคาน 3 ด้าน หรือคาน 2 ด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน



(ค) ข้อต่ออื่นๆ

รูปที่ 7 ประเภทข้อต่อต่างๆ สำหรับการคำนวณกำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n)



รูปที่ 8 พื้นที่ต้านแรงเฉือนประสิทธิภาพของข้อต่อระหว่างคานและเสา

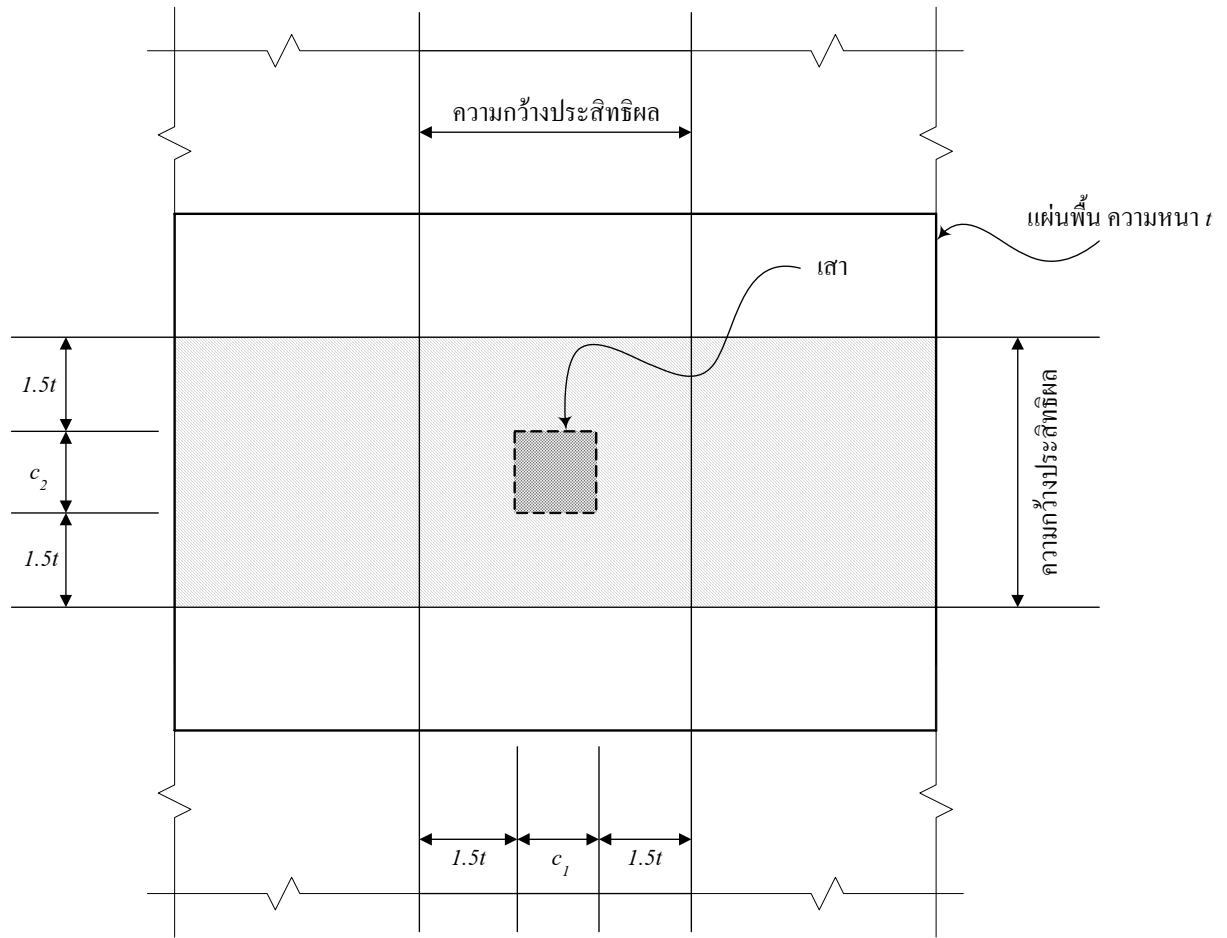
4.6 การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คาน

การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไร้คานที่พิจารณาว่าเป็นส่วนของโครงต้านแรงดัดรับแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้เสริมเหล็กตามรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 9)

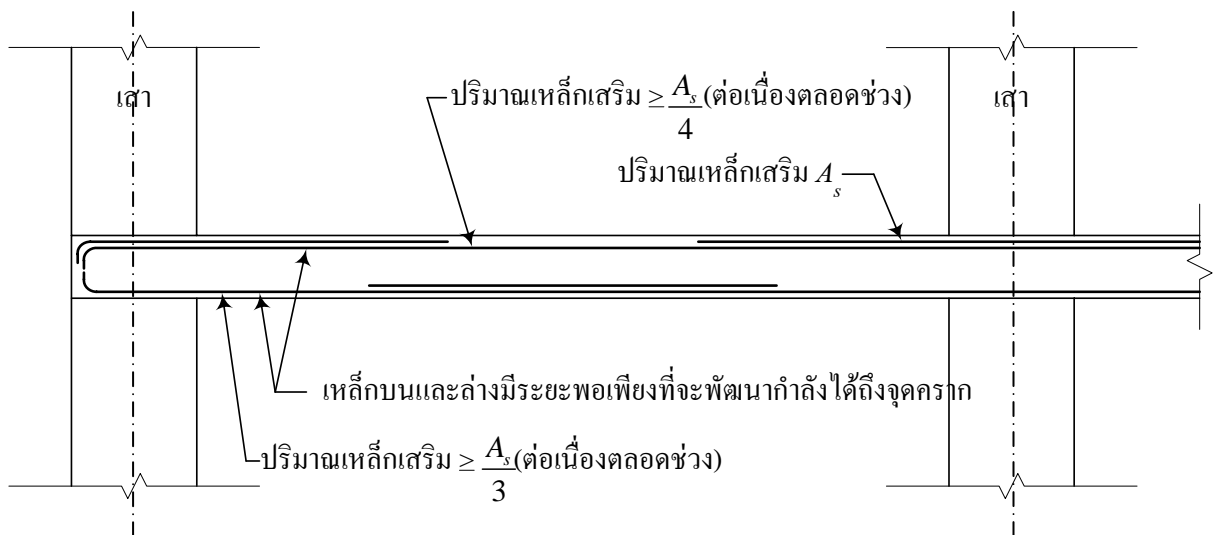
4.6.1 ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้สำหรับรับส่วนของโมเมนต์ดัดในแผ่นพื้นที่ถ่ายให้จตุรรองรับ (M_s) จะต้องวางอยู่ในแถบเสาทั้งหมด

4.6.2 ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับต้านทานสัดส่วนโมเมนต์ $\gamma_f M_s$ จะต้องอยู่ภายในความกว้างประสิทธิภาพ

4.6.3 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมในแถบเสาบริเวณจตุรรองรับจะต้องวางอยู่ภายในความกว้างประสิทธิภาพของแผ่นพื้น

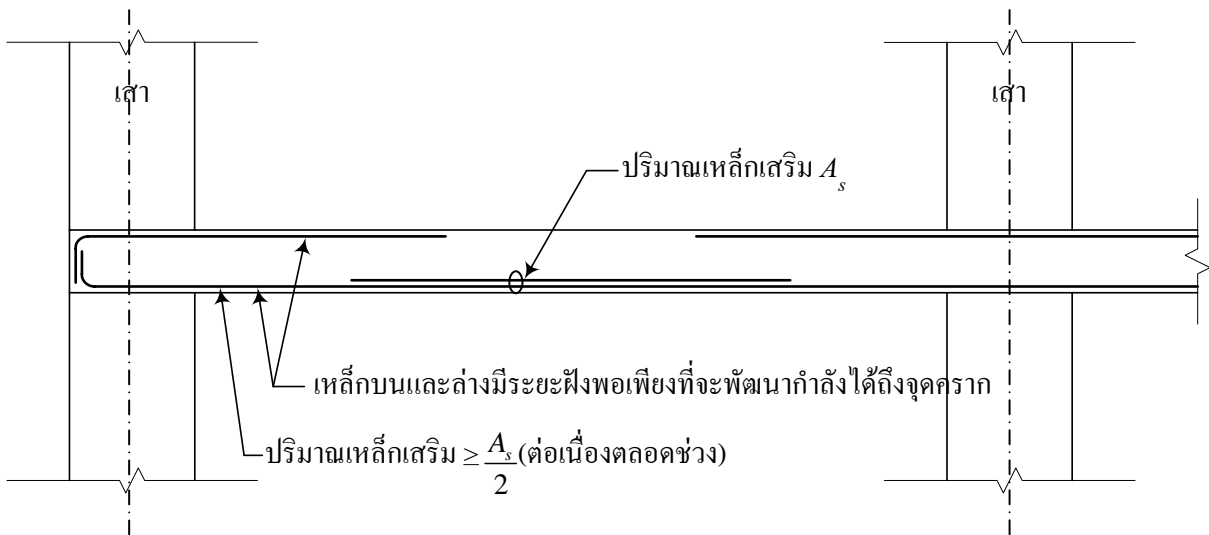


(ก) แสดงความกว้างประสิทธิภาพ



(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบเสา

รูปที่ 9 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางไร้คาน



(ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบกลาง

รูปที่ 9 รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางไร้คาน (ต่อ)

- 4.6.4 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจตุรรองรับจะต้องต่อเนื่องตลอดความยาวช่วง และจะต้องมีเหล็กเสริมบนไม่น้อยกว่า 2 เส้นวางผ่านแนวเสาในแต่ละทิศทาง
- 4.6.5 เหล็กเสริมล่างในแถบเสาที่มีความต่อเนื่องจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจตุรรองรับ
- 4.6.6 ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมล่างที่กึ่งกลางช่วงจะต้องต่อเนื่องและสามารถพัฒนาให้เกิดกำลังครากที่ขอบของจตุรรองรับได้
- 4.6.7 ที่ขอบของแผ่นพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เหล็กเสริมบนและล่างที่จตุรรองรับจะต้องสามารถพัฒนากำลังครากที่ขอบของจตุรรองรับได้

4.7 แรงเฉือนทะลุในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน

4.7.1 การคำนวณแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤติรอบเสาซึ่งเกิดจากการกระทำร่วมกันของแรงเฉือนโดยตรง และโมเมนต์ไม่สมดุลให้ใช้วิธีการตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และแรงเฉือนปรับค่าที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานดังกล่าว

4.7.2 แรงเฉือนบนหน้าตัดวิกฤติรอบเสาที่เกิดจากน้ำหนักแฉดซึ่งมีขนาดเท่ากับ $1.2 D + 1.0 L$ จะต้องไม่เกิน $0.4\phi V_c$ โดยตัวคูณน้ำหนักบรรทุกทุกในส่วนของหน่วยน้ำหนักบรรทุกจร (L) สามารถลดจาก 1.0 เป็น 0.5 ได้ ยกเว้นกรณีเป็นที่จอดรถ พื้นที่ที่เป็นส่วนของการชุมนุมคน และทุกพื้นที่ที่มีหน่วยน้ำหนักจรถเกินกว่า 4.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (500 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) ตัวคูณลดกำลัง ϕ ในที่นี้ให้ใช้เท่ากับ 0.75 และ V_c ให้คำนวณดังต่อไปนี้

4.7.2.1 สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก V_c ให้ใช้ค่าที่น้อยที่สุดของค่าต่อไปนี้

$$(ก) \quad V_c = \left[1 + \frac{2}{\beta_c} \right] \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{6} \tag{4.7.2.1-ก}$$

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

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

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

โดยที่ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายใน 30 สำหรับเสาขอบ และ 20 สำหรับเสามุม

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

$$\text{(หรือ } V_c = 1.06 \sqrt{f_c'} b_0 d \text{ ในหน่วยเมตรริก)}$$

4.7.2.2 สำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตอัดแรง V_c ให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$V_c = (\beta_p \sqrt{f_c'} + 0.3 f_{pc}) b_0 d + V_p \quad (4.7.2.2)$$

$$\text{(หรือ } V_c = (0.27 \beta_p \sqrt{f_c'} + 0.3 f_{pc}) b_0 d + V_p \text{ ในหน่วยเมตรริก)}$$

โดยที่ β_p เป็นค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 0.29 และ $(\alpha_s d / b_0 + 1.5) / 12$ [หรือค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 3.5 หรือ $(\alpha_s d / b_0 + 1.5)$ ในหน่วยเมตรริก] และ α_s ให้ใช้เท่ากับ 40 สำหรับเสาภายใน เท่ากับ 30 สำหรับเสาขอบ และ เท่ากับ 20 สำหรับเสามุม

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

(ก) สำหรับองค์อาคารที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

$$\phi v_n = \phi V_c / (b_0 d)$$

(ข) สำหรับองค์อาคารที่เสริมเหล็กรับแรงเฉือนนอกเหนือจากเหล็กหมวกรับแรงเฉือน (Shearhead)

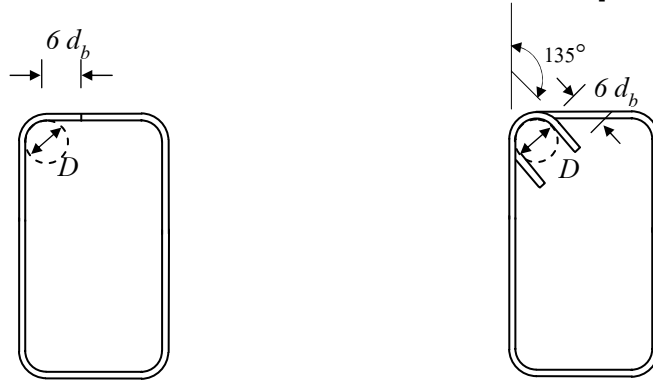
$$\phi v_n = \phi (V_c + V_s) / (b_0 d)$$

4.8 เพื่อป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) จุตรองรับภายในจะต้องมีเหล็กเสริมล่างวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาในแต่ละทิศทางเป็นปริมาณไม่น้อยกว่า

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

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

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



(ก) ของอ 90 องศา
(สำหรับอาคารทั่วไป)

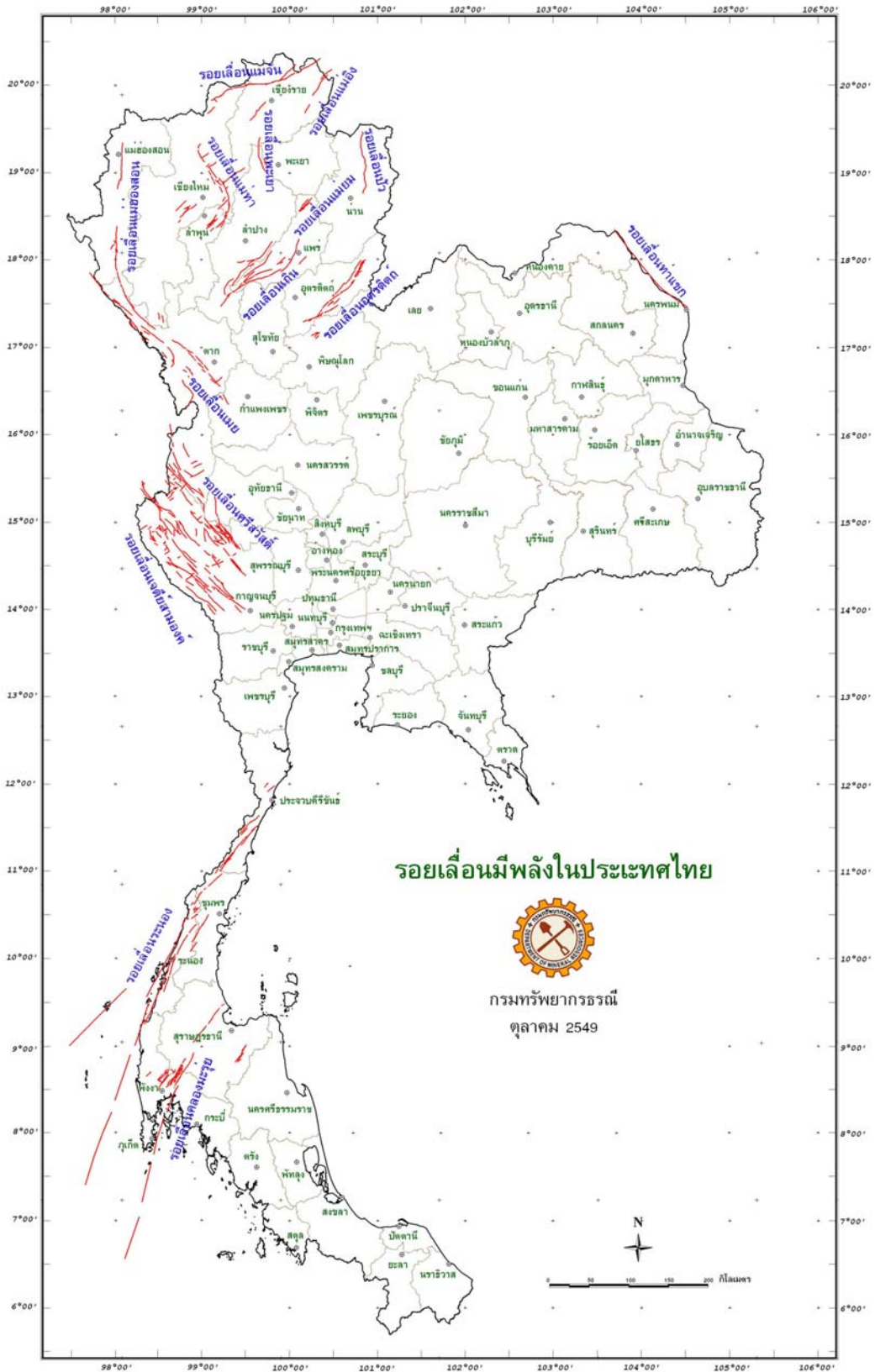
(ข) ของอ 135 องศา
(สำหรับอาคารสาธารณะ)

รูปที่ 10 รายละเอียดของอสำหรับโครงสร้างรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

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. กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
8. วิโรจน์ บุญญฤทธิญา "การเลือกรูปทรงของอาคารสำหรับการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว" สัมมนาการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหว ครั้งที่ 4, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2544
9. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2545
10. สุวิทย์ โคนสุวรรณ แผ่นที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2549

ภาคผนวก แผนที่รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย



(ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2549)



กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

พ.ศ. ๒๕๕๐

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ และมาตรา ๘ (๓) แห่งพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๒ มาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ มาตรา ๔๒ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้ โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยโดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมอาคารออกกฎกระทรวงไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกกฎกระทรวง ฉบับที่ ๔๕ (พ.ศ. ๒๕๔๐) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒

ข้อ ๒ ในกฎกระทรวงนี้

“บริเวณเฝ้าระวัง” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

“บริเวณที่ ๑” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

“บริเวณที่ ๒” หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน

ข้อ ๓ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับในบริเวณและอาคารดังต่อไปนี้

(๑) บริเวณเฝ้าระวังและบริเวณที่ ๑

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

(ข) อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสี หรือวัตถุที่ระเบิดได้

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

(ง) สถานศึกษาที่รับนักเรียนหรือนักศึกษาได้ตั้งแต่สองร้อยห้าสิบคนขึ้นไป

(จ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อนที่รับเด็กอ่อนได้ตั้งแต่ห้าสิบคนขึ้นไป

(ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป

(ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่สิบห้าเมตรขึ้นไป

(ซ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

(ณ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

(๒) บริเวณที่ ๒

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

(ข) อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสี หรือวัตถุที่ระเบิดได้

(ค) อาคารสาธารณะ ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ โรงแรม สถานบริการ และอาคารจอดรถ

- (ง) สถานศึกษา
- (จ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน
- (ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป
- (ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่สิบห้าเมตรขึ้นไป
- (ซ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป
- (ฅ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

ข้อ ๔ การออกแบบโครงสร้างอาคารในข้อ ๓ ให้ผู้คำนวณออกแบบคำนึงถึงการจัดรูปแบบเรขาคณิตให้มีเสถียรภาพในการต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว การกำหนดรายละเอียดปลีกย่อยขึ้นส่วนโครงสร้าง รวมทั้งบริเวณรอยต่อระหว่างปลายขึ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ และการจัดให้โครงสร้างทั้งระบบอย่างน้อยมีความเหนียวเทียบเท่าความเหนียวจำกัด (Limited Ductility) ตามมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง หรือมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง

การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารแต่ละขึ้นส่วน ให้ใช้ค่าหน่วยแรงของผลจากแผ่นดินไหว หรือผลจากแรงลมตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๒๗) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ที่มีต่อขึ้นส่วนโครงสร้างนั้น ค่าใดค่าหนึ่งที่สูงกว่า

ข้อ ๕ การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ หรือโครงสร้างอาคารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่อาคารตามที่กำหนดในข้อ ๖ และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ผู้คำนวณออกแบบต้องเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตั้งแต่ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป และต้องคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์หรือวิธีอื่นที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางทฤษฎีเชิงพลศาสตร์

การคำนวณตามวรรคหนึ่งต้องเป็นไปตามมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง หรือที่จัดทำโดยส่วนราชการหรือนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒិวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้น

ข้อ ๖ การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน เรือน โรง หรือสิ่งก่อสร้างอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ให้ผู้คำนวณออกแบบคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ โดยคำนวณแรงเฉือนตามวิธีการดังต่อไปนี้

(๑) ให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวนราบที่ระดับพื้นดิน ดังนี้

$$V = ZIKCSW$$

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวนราบที่ระดับพื้นดิน

Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหวตามที่กำหนดในข้อ ๗

I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคารตามที่กำหนดในข้อ ๘

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวนราบตามที่กำหนดในข้อ ๕

C คือ สัมประสิทธิ์ หาค่าได้จากสูตรในข้อ ๑๑

S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคารตามที่กำหนดในข้อ ๑๒

W คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับอาคารทั่วไป หรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ ๒๕ ของน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า

(๒) ให้กระจายแรงเฉือนทั้งหมดในแนวนราบที่ระดับพื้นดินออกเป็นแรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) แรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร ให้คำนวณ ดังนี้

$$F_t = 0.07 TV$$

ค่าของ F_t ที่ได้จากสูตรนี้ไม่ให้ใช้เกิน ๐.๒๕ V และถ้าหาก T มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า ๐.๗ วินาที ให้ใช้ค่าของ F_t เท่ากับ ๐

(ข) แรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคาร รวมทั้งชั้นบนสุดของอาคารด้วย ให้คำนวณ ดังนี้

$$F_x = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

F_x คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นที่ x ของอาคาร

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที

หาค่าได้ตามสูตรในข้อ ๑๐

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

w_x, w_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

$i = 1$ สำหรับพื้นที่ชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นที่ล่างของอาคาร

$x = 1$ สำหรับพื้นที่ชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นที่ล่างของอาคาร

$\sum_{i=1}^n w_i h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นที่ ๑ ถึงชั้นที่ n

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นที่ล่างของอาคาร

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงตามที่ระบุในวรรคหนึ่ง ผู้คำนวณออกแบบอาจใช้วิธีอื่นได้ แต่วิธีการคำนวณออกแบบต้องเป็นไปตามมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง หรือที่จัดทำโดยส่วนราชการหรือนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้น

ข้อ ๗ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Z) ของบริเวณที่ ๑ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๕ หรือมากกว่า และบริเวณที่ ๒ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๓๘ หรือมากกว่า

ข้อ ๘ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I) ให้ใช้ ดังต่อไปนี้

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
(๑) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน ตามข้อ ๓	๑.๕๐
(๒) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่ง ๆ ได้มากกว่าสามร้อยคน	๑.๒๕
(๓) อาคารอื่น ๆ	๑.๐๐

ข้อ ๘ ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวนอน (K) ให้ใช้ ดังต่อไปนี้

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวนอน	ค่าของ K
(๑) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือ โครงสร้างค้ำยัน (Braced Frame) ต้านแรงทั้งหมดในแนวนอน	๑.๓๓
(๒) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงสร้างค้ำยันที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame) ต้านแรงทั้งหมดในแนวนอน	๐.๖๗
(๓) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงสร้างค้ำยันที่มีความเหนียวร่วมกับ กำแพงรับแรงเฉือนหรือ โครงสร้างค้ำยันรับแรงในแนวนอน โดยมีข้อกำหนด ในการคำนวณออกแบบ ดังนี้	๐.๘๐
(ก) โครงสร้างค้ำยันที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวนอนได้ ไม่น้อยกว่าร้อยละ ๒๕ ของแรงในแนวนอนทั้งหมด	
(ข) กำแพงรับแรงเฉือนหรือ โครงสร้างค้ำยันเมื่อแยกเป็นอิสระจาก โครงสร้างค้ำยันที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวนอนได้ทั้งหมด	
(ค) โครงสร้างค้ำยันที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือ โครงสร้างค้ำยันต้องสามารถต้านแรงในแนวนอนได้ทั้งหมด โดยสัดส่วน ของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงถึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้งสอง	
(๔) หอถังน้ำ รองรับด้วยเสาไม้ไม่น้อยกว่า ๔ ต้น และมีแกนแข็งและไม่ได้ตั้งอยู่ บนอาคาร หมายเหตุ ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ ๐.๑๒ และ ค่าสูงสุดเท่ากับ ๐.๒๕	๒.๕
(๕) โครงสร้างค้ำยันที่มีความเหนียวจำกัดและ โครงสร้างอาคารระบบอื่น ๆ นอกจาก โครงสร้างอาคารตาม (๑) (๒) (๓) หรือ (๔)	๑.๐

ข้อ ๑๐ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร (T) ถ้าไม่สามารถคำนวณหาคาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารได้ถูกต้องโดยวิธีอื่น ให้คำนวณตามสูตร ดังต่อไปนี้

(๑) สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิดให้คำนวณตามสูตร

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}}$$

(๒) สำหรับอาคารที่มีโครงต้านแรงค้ำที่มีความเหนียว ให้คำนวณตามสูตร

$$T = 0.10 N$$

h_n คือ ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดิน
มีหน่วยเป็นเมตร

D คือ ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรง
แผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเมตร

N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

ข้อ ๑๑ ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคาร
ค่าสัมประสิทธิ์ (C) ให้คำนวณตามสูตร ดังต่อไปนี้

$$C = \frac{I}{15\sqrt{T}}$$

ถ้าคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้มากกว่า ๐.๑๒ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๒

ข้อ ๑๒ ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้ง
อาคาร (S) มีดังต่อไปนี้

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
(๑) หิน	๑.๐
(๒) ดินแข็ง	๑.๒
(๓) ดินอ่อน	๑.๕
(๔) ดินอ่อนมาก	๒.๕

“หิน” หมายถึง หินทุกลักษณะไม่ว่าจะเป็นหินคล้ายหินเชล (Shale) หรือที่เป็นผลึกตาม
ธรรมชาติ หรือดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินไม่เกิน ๖๐ เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และ
ต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

“ดินแข็ง” หมายถึง ดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินมากกว่า ๖๐ เมตร ที่ทับอยู่เหนือ
ชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือดินเหนียวแข็ง

“ดินอ่อน” หมายถึง ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลางที่หนามากกว่า ๕ เมตร
อาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

“ดินอ่อนมาก” หมายถึง ดินเหนียวอ่อนที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินในสถานะไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ไม่มากกว่า ๒๔ กิโลปาสกาล (๒,๔๐๐ กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) และมีความหนาชั้นดินมากกว่า ๕ เมตร เช่น สภาพดินในท้องที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

ถ้าผลคูณระหว่างค่า C กับค่า S มากกว่า ๐.๑๔ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๑๔ เว้นแต่กรณีดินอ่อนมาก ถ้าผลคูณดังกล่าวมากกว่า ๐.๒๖ ให้ใช้เท่ากับ ๐.๒๖

ข้อ ๑๓ ในการคำนวณการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Story Drift) ที่เกิดจากแรงในแนวนอนตามที่ระบุในข้อ ๖ (๑) และ (๒) การเคลื่อนตัวดังกล่าว ต้องไม่เกินร้อยละ ๐.๕ ของความสูงระหว่างชั้น

ข้อ ๑๔ อาคารที่ได้รับใบอนุญาตหรือได้รับใบรับแจ้งการก่อสร้างหรืออาคารที่มีอยู่ก่อนวันที่กฎกระทรวงนี้ใช้บังคับ ให้ได้รับยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตามกฎกระทรวงนี้

ให้ไว้ ณ วันที่ ๑๘ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๐

พลเอก สุรยุทธ์ จุลานนท์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

หมายเหตุ :- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นชั้นดินอ่อน จึงส่งผลให้เกิดการขยายแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ทำให้อาคารในบริเวณดังกล่าวมีความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวในระยะไกล ประกอบกับพื้นที่ภาคใต้บางส่วนของประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณรอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย ซึ่งมีการสั่นสะเทือนอยู่บ่อยครั้ง ทำให้อาคารในบริเวณดังกล่าวมีความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหว ประกอบกับหลักเกณฑ์การรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ ๔๕ (พ.ศ. ๒๕๔๐) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. ๒๕๒๒ ที่ใช้บังคับอยู่ในปัจจุบัน ไม่ครอบคลุมบริเวณเสี่ยงภัยดังกล่าว และไม่สามารถต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวได้ตามมาตรฐานสากล ดังนั้น เพื่อให้เกิดความปลอดภัย จึงสมควรขยายพื้นที่การควบคุมอาคารในบริเวณดังกล่าว รวมทั้งปรับปรุงหลักเกณฑ์การรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเสียใหม่ จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

ร่างมาตรฐานการออกแบบอาคารอพยพในเขตเสี่ยงภัยสึนามิระดับปานกลาง

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานนี้กำหนดวิธีการคำนวณค่าของแรงที่กระทำจากสึนามิ เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารอพยพหนีภัยจากสึนามิ และการประเมินอาคารสาธารณะที่มีอยู่เพื่อใช้เป็นอาคารอพยพหนีภัยจากสึนามิ
- 1.2 ข้อกำหนดต่างๆ ในมาตรฐานนี้เป็นข้อกำหนดในขั้นต่ำสุดที่จำเป็นต่อการออกแบบอาคารอพยพเพื่อให้อาคารอพยพมีความปลอดภัยตามเกณฑ์มาตรฐานสากล
- 1.3 อาคารอพยพต้องได้รับการออกแบบโดยพิจารณาหลักการต่อไปนี้
 - (1) ความมั่นคงแข็งแรงต่อแรงปะทะและแรงต่างๆ ที่กระทำในแนวราบที่เกิดจากสึนามิในทุกทิศทาง เว้นแต่จะมีการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ว่าแรงจากสึนามิจะกระทำต่ออาคารในบางทิศทางเท่านั้น
 - (2) เสถียรภาพของอาคารต่อการยกลอย การพลิกคว่ำ และการเลื่อนไถล เนื่องจากแรงกระทำจากสึนามิ
 - (3) ผลรวมของแรงจากสึนามิร่วมกับแรงอื่นๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่ และน้ำหนักบรรทุกจรจากผู้อพยพ
 - (4) ความต่อเนื่องของเส้นทางการถ่ายแรงจากโครงสร้างส่วนบนลงสู่ฐานราก
 - (5) การจัดระบบโครงสร้าง เพื่อไม่ให้เกิดการวิบัติบางส่วนนำไปสู่การวิบัติแบบสิ้นเชิงของอาคาร
- 1.4 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก โดยการแปลงหน่วยแรงใช้ 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยามศัพท์

“เขตเสี่ยงภัยสึนามิระดับปานกลาง” หมายความว่า บริเวณชายฝั่งจังหวัดระนอง จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดกระบี่ จังหวัดตรัง และจังหวัดสตูล ที่มีความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมจากสึนามิระดับปานกลาง

“สึนามิระดับปานกลาง” หมายความว่า สึนามิที่ทำให้เกิดความสูงน้ำท่วมไม่เกิน 10 เมตร

“ความสูงคลื่น” หมายความว่า ระดับน้ำสูงสุดของสึนามิวัดจากจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

“ความสูงน้ำท่วม” หมายความว่า ระดับน้ำสูงสุดของสึนามิวัดจากระดับพื้นดินเดิมหน้าอาคารด้านที่ใกล้ทะเล

2.2 สัญลักษณ์

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 1026 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

g	คือ	ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที ²
h	คือ	ความสูงน้ำท่วม (เมตร)
t	คือ	ช่วงระยะเวลาที่เกิดการกระแทก (วินาที)
v	คือ	ความเร็วกระแสน้ำ (เมตร/วินาที) มีค่าตามข้อ 5.1.8
v_i	คือ	ความเร็วของวัตถุที่กระแทกอาคาร (เมตร/วินาที)
w	คือ	ความกว้างของโครงสร้างด้านที่ปะทะคลื่น (เมตร)
A	คือ	พื้นที่ภาพฉายของโครงสร้างด้านที่คลื่นมาปะทะ (ตารางเมตร)
C_d	คือ	สัมประสิทธิ์ของแรงดูด (drag coefficient)
D	คือ	น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่
F	คือ	แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (กิโลนิวตัน)
L	คือ	น้ำหนักบรรทุกทุกจร
S	คือ	แรงใช้งานจากชุดการรวมน้ำหนักบรรทุก
T	คือ	แรงต่างๆที่เกิดจากคลื่นสึนามิ
U	คือ	แรงประลัยจากชุดการรวมน้ำหนักบรรทุก
V	คือ	ปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ (ลูกบาศก์เมตร)
W	คือ	แรงลม
W_i	คือ	น้ำหนักของวัตถุที่มากระแทก (กิโลนิวตัน)

3. ความสูงคลื่นและความสูงน้ำท่วม

อาคารอพยพที่ก่อสร้างในบริเวณน้ำท่วมถึงเนื่องจากสึนามิ จะต้องพิจารณาแรงจากสึนามิในการออกแบบ และในการวิเคราะห์แรงจากสึนามิต้องทำการประเมินความสูงน้ำท่วมบริเวณอาคารและความเร็วกระแสน้ำ จากแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิที่เชื่อถือได้ที่คำนึงถึงเหตุการณ์สึนามิที่เป็นไปได้ หากไม่มีข้อมูลดังกล่าว ให้ใช้ความสูงน้ำท่วมไม่น้อยกว่าค่าที่ได้จากค่าความสูงคลื่นในเหตุการณ์วันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 หักลบด้วยความสูงของพื้นดินเดิม ณ ที่ก่อสร้างอาคารวัดจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และให้ใช้ค่าความเร็วกระแสน้ำที่ไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณจากความสูงน้ำท่วมตามสมการในข้อ 5.1.8

ความสูงคลื่นจากเหตุการณ์วันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 แบ่งออกเป็น 6 ระดับได้แก่

- (1) ความสูงคลื่น 2 เมตร ครอบคลุมชายฝั่งตะวันออกของจังหวัดภูเก็ต ยกเว้นอำเภอภูเก็ตและอำเภอฉลอง
- (2) ความสูงคลื่น 3 เมตร ครอบคลุมชายฝั่งจังหวัดตรัง สตูล
- (3) ความสูงคลื่น 5 เมตร ครอบคลุมชายฝั่งอำเภอเมืองระนอง จังหวัดระนอง และอำเภอภูเก็ต อำเภอฉลอง จังหวัดภูเก็ต

- (4) ความสูงคลื่น 6 เมตร ครอบคลุมชายฝั่ง จังหวัดกระบี่ อำเภอท้ายเหมือง อำเภอตะกั่วทุ่ง จังหวัดพังงา และชายฝั่งตะวันตกของจังหวัดภูเก็ต
- (5) ความสูงคลื่น 8 เมตร ครอบคลุมชายฝั่ง อำเภอเกาะเปอร์ อำเภอสุขสำราญ จังหวัดระนอง
- (6) ความสูงคลื่น 12 เมตร ครอบคลุมชายฝั่งอำเภอตะกั่วป่า และอำเภอคุระบุรี จังหวัดพังงา ภาคผนวก ก แสดงบริเวณน้ำท่วมถึงเนื่องจากสึนามิ

4. รูปแบบของอาคารอพยพ และ ข้อกำหนดขั้นพื้นฐาน

4.1 ตำแหน่งอาคาร

อาคารอพยพควรอยู่ในเขตชุมชน ที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้ง่ายภายในเวลาที่จำกัด โดยควรมีระดับท้องคานของพื้นที่ใช้เป็นที่หลบภัย สูงกว่าระดับความสูงน้ำท่วมดังที่กล่าวในข้อ 3 ไม่ควรตั้งอยู่บนแนวร่องน้ำเก่า

4.2 ชั้นล่างของอาคาร

ชั้นล่างของอาคารอพยพที่น้ำท่วมถึง ควรเปิดโล่งเพื่อให้ น้ำไหลผ่านได้สะดวก ไม่ควรมีผนังทึบที่อาจขวางการไหลของน้ำ ให้มีได้แต่เสา หากจำเป็นต้องมีผนัง ผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้ผนังที่อาจจะขวางทางน้ำทนแรงดันได้ไม่เกิน 980.6 ปาสกาล (100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) เพื่อให้ผนังพังทลายก่อนที่จะถ่ายแรงจนทำให้โครงสร้างหลัก เช่น เสา หรือ คาน เสียหาย

หากจำเป็นต้องมีกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือน ควรจัดไว้ในบริเวณส่วนในของอาคาร

4.3 ระบบโครงสร้าง

รูปทรงของอาคารอพยพควรมีความสมมาตรในแปลน มีความต่อเนื่องในเส้นทางการถ่ายแรงในโครงสร้างอย่างชัดเจน เพื่อลดการกระจุกตัวของแรงในบางตำแหน่งของอาคารอพยพ ควรหลีกเลี่ยงรูปแบบอาคารและระบบ โครงสร้างที่ไม่ดี ซึ่งจะเสียหายได้มากกว่าอาคารที่มีระบบ โครงสร้างที่ดี เช่น อาคารที่มีลักษณะไม่สมมาตรในแปลน อาคารที่มีส่วนที่แข็ง เช่น ผนังค้ำยันหรือเสาเข็มที่ยึดแน่นมาก หรืออาคารที่มีชั้นที่อ่อนมากเมื่อเทียบกับชั้นถัดไป เป็นต้น

ส่วนของอาคาร เช่น ผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีผนังเป็นรูปวงกลมหรือแปดเหลี่ยมจะช่วยลดแรงจากการกระทำจากสึนามิลงได้เมื่อเทียบกับองค์อาคารสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่ชายด้านปะทะน้ำเท่ากัน

ระบบ โครงสร้างที่ดีควรมีการยึดโยงที่หัวเสาทุกต้นด้วยคานคอนกรีตเสริมเหล็ก รวมถึงคานคอดินยึดบริเวณ โคนเสาทุกต้นให้มั่นคง เพื่อให้เสามีความสามารถทนแรงกระแทกจากกระแสน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้คานคอดินที่มีความลึกพอเพียง และมีปริมาณเหล็กเสริมที่พอเพียง จะช่วยยึด โครงสร้างให้เป็นชิ้นส่วนเดียวกัน และ ป้องกันการวิบัติแบบต่อเนื่อง ในกรณีที่ฐานรากใดฐานรากหนึ่งวิบัติไป

4.4 ฐานราก

ในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการกัดเซาะจากสึนามิ ฐานรากควรเป็นเสาเข็มที่ยังลงไปจนถึงดินแน่น และจะต้องมีคานคอดินรัศรอบทั้งสองทิศทาง หากฐานรากเป็นฐานแผ่ จะต้องฝังฐานรากในชั้นดินเดิม โดยให้อยู่ลึกกว่าความลึกของการกัดเซาะที่กำหนดในข้อ 6.2

4.5 ห้องใต้ดิน

ห้ามก่อสร้างห้องใต้ดิน เว้นแต่ห้องลิฟต์ ห้องเครื่อง หรือถังเก็บน้ำใต้ดิน สำหรับอาคารที่จะใช้เป็นอาคารอพยพ

4.6 บันไดทางขึ้น

บันไดจะต้องมีความกว้างมากพอไม่น้อยกว่า 2 เมตร และ ควรมีส่วนที่เป็นพื้นลาดเอียงด้วย เพื่อช่วยการขนย้ายคนพิการ คนชรา เป็นต้น ตำแหน่งของบันได ไม่ควรเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำ

4.7 วัสดุก่อสร้าง

วัสดุที่ใช้จะต้องเป็นวัสดุที่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมใกล้ชายฝั่งทะเลที่มีความสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำ และไม่เสียหายเมื่อจมน้ำ

5. กำลังของโครงสร้าง

5.1 การคำนวณแรงกระทำจากสึนามิ

5.1.1 แรงอุทกสถิตในแนวตั้งหรือแรงลอยตัว (F_{buoy}) เป็นแรงที่น้ำกระทำต่อโครงสร้างหรือส่วนของโครงสร้างที่จมอยู่ใต้น้ำ มีทิศทางขึ้นในแนวตั้งผ่านจุดศูนย์กลางมวลของน้ำที่ถูกแทนที่ และคำนวณได้จากสมการ

$$F_{buoy} = \rho g V$$

5.1.2 แรงอุทกสถิตในแนวราบ (F_{static}) เป็นแรงที่น้ำกระทำในแนวราบต่อโครงสร้าง คำนวณได้จากสมการ

$$F_{static} = \frac{1}{2} \rho g h^2 w$$

5.1.3 แรงอุทกพลวัต (F_{dyn}) เป็นแรงที่กระทำในแนวราบต่อโครงสร้างเนื่องจากน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปะทะโครงสร้าง คำนวณได้จากสมการ

$$F_{dyn} = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเฉื่อยให้ใช้ค่าตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์ของแรงกดสำหรับอาคารทั้งหลาย (drag coefficient, C_d)

(ข้อ 5.1.3)

อัตราส่วนของความกว้างต่อความลึก (w/h)	สัมประสิทธิ์ของแรงกด (C_d)
1 – 12	1.25
13 – 20	1.30
21 – 32	1.40
33 – 40	1.50
41 – 80	1.75
81 – 120	1.80
> 120	2.00

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์ของแรงกดสำหรับชิ้นส่วนของอาคาร (drag coefficient, C_d)

(ข้อ 5.1.3)

ประเภทชิ้นส่วนอาคาร	สัมประสิทธิ์ของแรงกด (C_d)
เสารูปตัดกลม	1.20
กำแพงคอนกรีต	1.50
เสารูปตัดสี่เหลี่ยม	2.00

หมายเหตุ 1) ในกรณีที่ไม้ได้ระบุ ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงกดเท่ากับ 2.0 เว้นแต่จะมีการศึกษาที่เชื่อถือได้รับรองค่าสัมประสิทธิ์ของแรงกดที่นำมาใช้

5.1.4 ในการพิจารณาแรงจากสึนามิที่กระทำต่ออาคารหรือผนัง ให้รวมแรงอุทกสถิตและแรงอุทกพลวัตเป็นแรงลัพธ์ แล้วนำไปกระทำโดยกระจายแรงลัพธ์เป็นความดันที่แปรผันแบบเส้นตรงตามระดับความสูง โดยมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ความสูงเท่ากับ 2.1 เท่าของระดับน้ำท่วมและเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นที่ระดับต่ำลง ไป ซึ่งแรงลัพธ์ของการกระจายความดันนี้จะต้องเท่ากับแรงลัพธ์ข้างต้น และมีทิศทางในแนวราบสูงจากพื้นดิน 0.7 เท่าของความสูงน้ำท่วม

5.1.5 อาคารที่รูปทรงแปดเหลี่ยมให้คิดแรงกระทำในแนวราบเป็นร้อยละ 80 ของแรงที่กระทำกับอาคารที่รูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีพื้นที่ฉายด้านปะทะน้ำเท่ากัน

5.1.6 แรงกระแทกจากวัตถุที่ลอยมากับน้ำ, F_i

ในพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งลอยน้ำขนาดใหญ่ ให้พิจารณาแรงกระแทกที่เกิดจากวัตถุลอยน้ำที่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 500 กิโลกรัม โดยให้คำนวณเป็นแรงสถิตเทียบเท่าในแนวราบกระทำต่อโครงสร้าง ณ ตำแหน่งที่เกิดการปะทะ ดังต่อไปนี้

$$F_i = \frac{W_i v_i}{gt}$$

โดยกำหนดให้ v_i มีค่าเท่ากับความเร็วกระแสน้ำที่ปะทะอาคาร (v) ดังกำหนดในข้อ 5.1.8 และช่วงระยะเวลาที่เกิดการกระแทก (t) ให้ใช้ค่าในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ช่วงระยะเวลาที่เกิดการกระแทก (t)

(ข้อ 5.1.6)

ชนิดของโครงสร้าง	ระยะเวลากระแทก, t (วินาที)	
	กำแพง	เสาหรือเสาเข็ม
ไม้	0.7 - 1.1	0.5 - 1.0
เหล็ก	-	0.2 - 0.4
คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.2 - 0.4	0.3 - 0.6
อิฐก่อ	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6

5.1.7 ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการปะทะของวัตถุลอยน้ำขนาดใหญ่ ต้องมีการออกแบบอาคารให้สามารถทนการกระแทกจากวัตถุขนาดใหญ่ที่ลอยมากับน้ำ เช่น เรือประมงในพื้นที่ที่เป็นชุมชนประมง โดยให้ใช้น้ำหนักวัตถุขนาดใหญ่ที่เป็นไปได้ เว้นแต่จะได้มีมาตรการอันเหมาะสมในการป้องกันวัตถุลอยน้ำขนาดใหญ่ไม่ให้ชนกับตัวอาคาร หากไม่ทราบข้อมูลวัตถุลอยน้ำขนาดใหญ่ให้ใช้เรือประมงที่มีน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 80 ตัน

ในการคำนวณผลของการกระแทกจากวัตถุขนาดใหญ่อาจคำนวณแรงสถิตเทียบเท่าตามข้อ 5.1.6 หรือใช้หลักการพลังงานในการสลายพลังงานจากการกระแทก โดยสามารถใช้อุปกรณ์สลายพลังงานในการสลายพลังงานจลน์ที่เกิดจากสิ่งลอยน้ำที่มากระทำต่อโครงสร้างได้

5.1.8 ความเร็วกระแสน้ำที่ปะทะอาคาร (v) ให้ใช้ค่าที่แสดงในแผนที่เสี่ยงภัยสึนามิที่เชื่อถือได้ที่คำนึงถึงเหตุการณ์สึนามิต่างๆที่เป็นไปได้ หากไม่มีข้อมูลดังกล่าวให้ใช้ค่าไม่ต่ำกว่า $1.4\sqrt{gh}$

5.2 การรวมแรง

ชุดการรวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับการออกแบบประกอบด้วย

$$U = 1.7D + 2.0L$$

$$U = 0.75(1.7D + 2.0L + 2.0W)$$

$$U = 0.9D + 1.3W$$

$$U = 1.4D + 1.7L + T$$

$$U = 0.9D + T$$

ในกรณีคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างจากกำลังต้านทานของดิน ให้ใช้ตัวคูณความปลอดภัย (factor of safety) มีค่าไม่ต่ำกว่า 1.33 สำหรับเสถียรภาพต่อการรกลอย 1.50 สำหรับเสถียรภาพต่อการพลิกคว่ำ และ 1.50 สำหรับเสถียรภาพต่อการเลื่อนไถล ภายใต้ชุดการรวมน้ำหนักบรรทุกดังนี้

$$S = D + L + T$$

$$S = 0.9D + T$$

6. ฐานราก

6.1 แรงที่ต้องพิจารณา

ฐานรากของอาคารต้องถูกออกแบบให้แข็งแรงเพียงพอที่ต้านทานแรงที่ถ่ายมาจากโครงสร้างส่วนบน ซึ่งอาจทำให้เกิดทั้งแรงกด แรงถอน แรงเฉือนทั้งในแนวราบและแนวตั้ง รวมทั้งโมเมนต์คด จุดต่อของทุกส่วนของฐานราก เช่น เสาเข็มกับเป็นหัวเสาเข็ม (pile cap) ตอม่อกับคานคอดิน ฯลฯ จะต้องเสริมเหล็กให้เพียงพอเพื่อต้านแรงที่เกิดขึ้นดังกล่าว

6.2 ความลึกของการกัดเซาะ

ความลึกของการกัดเซาะในพื้นที่บริเวณห่างจากชายฝั่งไม่เกิน 100 เมตร ให้มีค่าเป็นร้อยละของความสูงน้ำท่วม ตามชนิดและลักษณะของดิน ดังแสดงในตารางที่ 4 เว้นแต่จะมีผลการศึกษาทางธรณีเทคนิคที่เชื่อถือได้ให้ค่าความลึกของการกัดเซาะซึ่งแตกต่างไปจากค่าที่กำหนดในมาตรฐานนี้ แต่ไม่ให้น้อยกว่า 1.5 เมตร

ตารางที่ 4 ความลึกของการกัดเซาะในพื้นที่บริเวณห่างจากชายฝั่งไม่เกิน 100 เมตร

(ข้อ 6.2)

ชนิดของดิน	ความลึกการกัดเซาะ (ร้อยละของความสูงน้ำท่วม)
ดินทรายหลวม	80
ดินทรายแน่น	50
ดินซิลต์อ่อน	50
ดินซิลต์แข็ง	25
ดินเหนียวอ่อน	25
ดินเหนียวแข็ง	10

7. การออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างและข้อต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง

ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่เชื่อถือได้ เช่น มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ (ว.ส.ท.) มาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กของ ว.ส.ท. เป็นต้น

ข้อต่อชิ้นส่วนโครงสร้างต้องได้รับการออกแบบให้ถ่ายแรงที่เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนหนึ่งไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่งได้ ซึ่งต้องพิจารณาทั้งแรงกด แรงถอน แรงเฉือน และ โมเมนต์ดัด เหล็กเสริมที่รอยต่อระหว่างเสาและฐานราก รวมถึงฐานรากและเสาเข็มเป็นสิ่งจำเป็นที่ยึดโครงสร้างส่วนบนกับส่วนล่างเข้าไว้ด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงสร้างที่จมอยู่ใต้น้ำ จะมีแรงยกตัวกระทำทำให้อาคารอาจหลุดลอยออกจากฐานรากได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเสริมเหล็กจากเสาวิ่งลงไปในฐานรากให้มีเนื้อที่เหล็กและระยะฝังพอเพียงที่จะต้านทานแรงที่เกิดขึ้น

ในการก่อสร้างอาคารอพยพไม่แนะนำให้ใช้พื้นสำเร็จ หากมีความจำเป็นต้องใช้พื้นสำเร็จวางบนคาน จะต้องยึดแผ่นพื้นนี้เข้ากับคานอย่างแข็งแรง เพื่อป้องกันการหลุดของแผ่นพื้นเมื่อเกิด

สึนามิและต้องพิจารณาแรงยกกระทำบนพื้นสำเร็จด้วย รายละเอียดเกี่ยวกับเหล็กเดือย ได้แก่ ขนาด ระยะฝัง และ ระยะเรียง จะต้องระบุลงไปแบบอย่างชัดเจน

เนื่องจากแรงแนวราบทำให้เสาต้องรับแรงเฉือน ดังนั้น การออกแบบจะต้องพิจารณาเหล็กปลอกชั้นต่ำในคาน และ เสา รวมทั้งระยะเรียงให้เหมาะสม ส่วนข้อต่อคานเสาอาจจะถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเสา โดยจะต้องมีปริมาณเหล็กปลอกและระยะเรียงเช่นเดียวกับเสา

คำอธิบายมาตรฐาน

ข้อ 1.3

การออกแบบโครงสร้างอาคารอพยพต้องคำนึงถึง

(1) ความสามารถในการต้านทานเนื่องจากแรงจากสึนามิที่สามารถกระทำได้ทุกทิศทางตามตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร สภาพแวดล้อมรอบอาคาร โดยพิจารณาทั้งขาขึ้นและลงของน้ำท่วมที่จะกระทำกับอาคาร แต่ในทางปฏิบัติแล้ว การออกแบบแค่ 2 ทิศทางหลักที่ตั้งฉากกับกำแพง (orthogonal direction) จะสามารถครอบคลุมความแข็งแรงในทุกทิศทางแล้ว

(3) แรงจากสึนามิชนิดต่างๆ ตามข้อ 3.1 ซึ่งจะเกิดขึ้นพร้อมกับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรจากผู้อพยพ

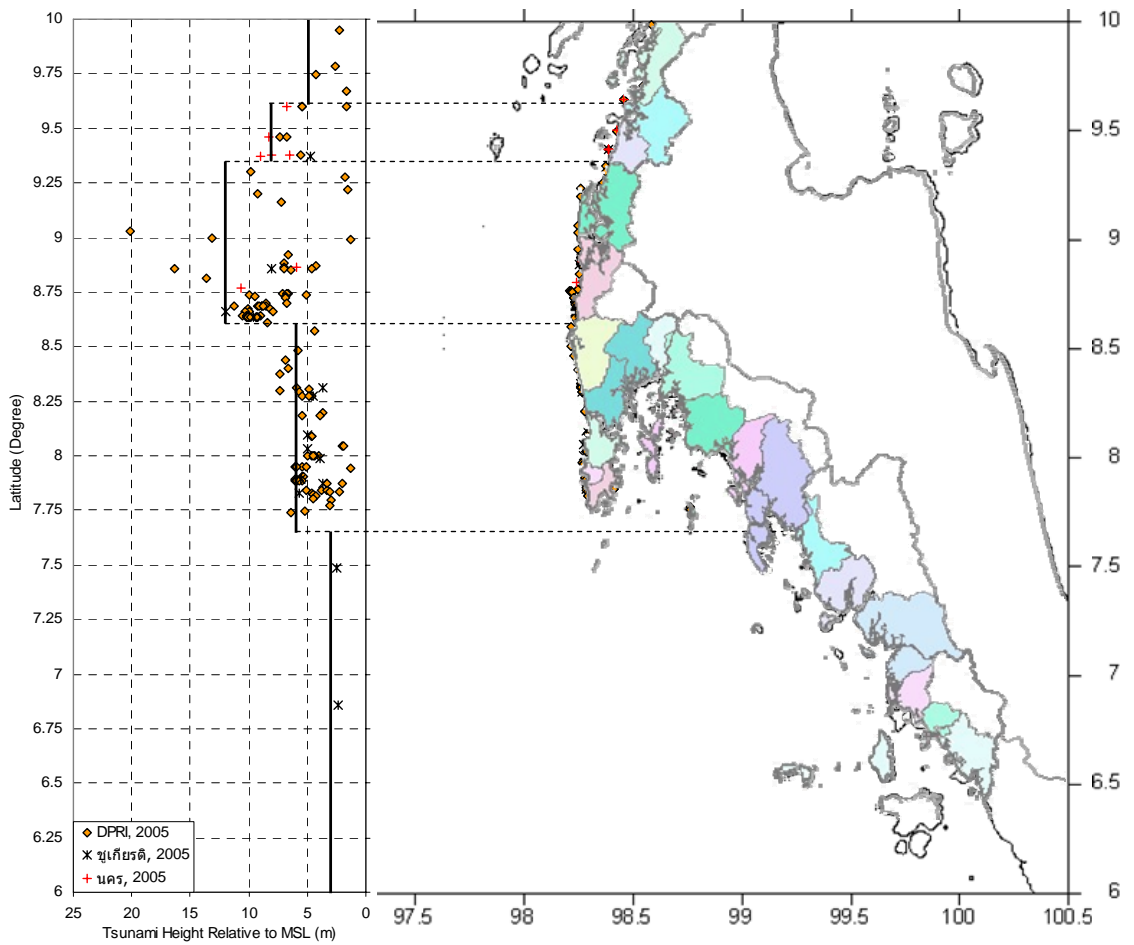
(5) อาคารอพยพเป็นอาคารสำคัญซึ่งต้องมีสมรรถนะ (performance) ระดับสูง จึงจำเป็นต้องป้องกันการวิบัติแบบต่อเนื่องที่จะนำไปสู่การวิบัติแบบสิ้นเชิง

ข้อ 2.1

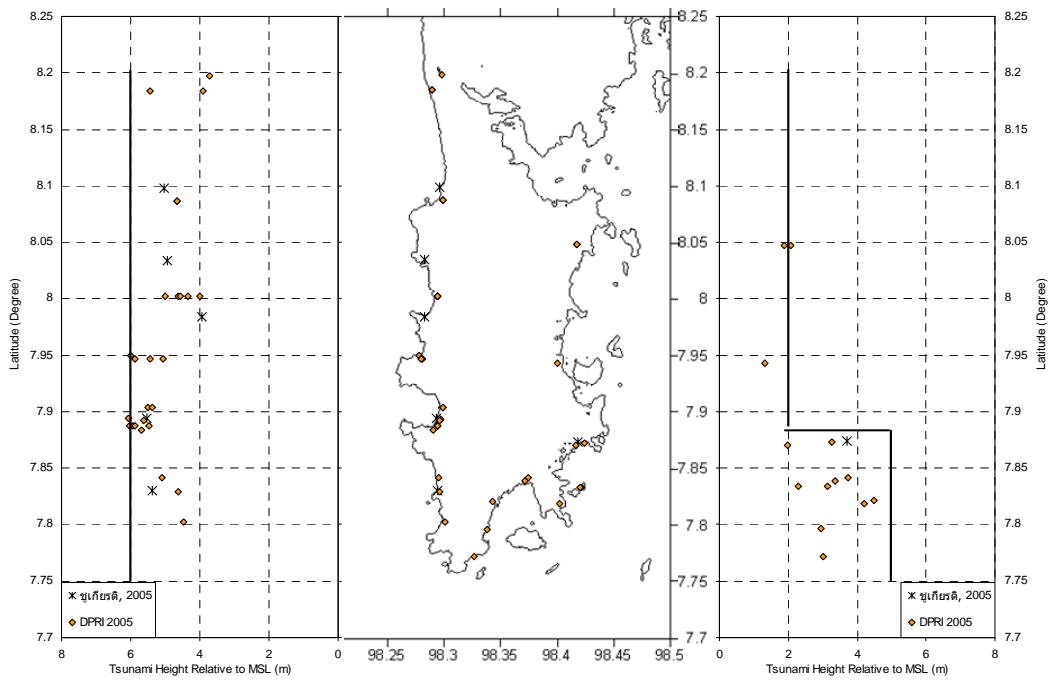
- การใช้คำ “คลื่นยักษ์ระดับปานกลาง” อาจทำให้เกิดการเข้าใจคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากคลื่นยักษ์อาจเกิดได้หลายรูปแบบ เช่น เกิดจากพายุ (storm surge) ซึ่งจะไม่สามารถใช้ความเร็วที่อ้างอิงในกฎกระทรวงนี้ได้ จึงเห็นควรใช้คำว่า “สึนามิระดับปานกลาง” จะเหมาะสมกว่า
- ผลการสำรวจความสูงคลื่นในเหตุการณ์สึนามิในวันที่ 26 ธันวาคม 2547 ถูกใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาความรุนแรงของสึนามิ และเนื่องจากในวันที่ 26 ธันวาคม 2547 เป็นวันที่เกิดน้ำขึ้นเกือบสูงสุด ดังนั้นข้อมูลความสูงคลื่นดังกล่าว (เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง) จึงมีความปลอดภัยในการใช้งาน
- สึนามิระดับปานกลางซึ่งอ้างอิงถึงเหตุการณ์สึนามิในวันที่ 26 ธันวาคม 2547 จะมีความสูงคลื่นสูงสุดเท่ากับ 12 เมตร (ยกเว้นเฉพาะบางจุด ซึ่งบริเวณเหล่านี้ไม่เหมาะที่จะสร้างอาคารอพยพอยู่แล้ว) ซึ่งทำให้เกิดความสูงน้ำท่วมสูงสุดประมาณ 10 เมตร ในการทดลองเพื่อยืนยันสมการการคำนวณแรงในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ได้ทดสอบถึงความสูงประมาณ 8.5 เมตร ซึ่งพออนุโลมให้ใช้สูตรกับระดับความสูงน้ำท่วม 10 เมตรได้

ข้อ 3

จากผลการสำรวจความสูงคลื่นในเหตุการณ์วันที่ 26 ธันวาคม 2547 เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง ณ ตำแหน่งต่างๆ ใน 6 จังหวัดที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิดังแสดงในรูปที่ 1 จึงได้มาซึ่งระดับความสูงคลื่นที่ใช้ในมาตรฐาน



รูปที่ 1 (ก) แสดงความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 1 (ข) แสดงความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ ในจังหวัดภูเก็ต

- เนื่องจากข้อมูลความสูงสึนามินี้รวบรวมจากแหล่งต่างๆ ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ ดังนั้นการใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นตัวแทนของข้อมูลข้างเคียงจึงเป็นแนวทางเท่านั้น ควรตรวจสอบกับสภาพที่เกิดขึ้นในวันเกิดเหตุจริงเสมอ
- ความสูงสึนามิที่บริเวณอำเภอท้ายเหมืองและอำเภอตะกั่วทุ่ง จังหวัดพังงาให้ใช้เท่ากับ 6 เมตร ส่วนความสูงสึนามิที่บริเวณอำเภอตะกั่วป่าและอำเภอกระบุรี จังหวัดพังงาให้ใช้เท่ากับ 12 เมตร ในการออกแบบ ทั้งนี้ได้พิจารณาจากผลการสำรวจ ซึ่งค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยบวกกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.6 และ 11.8 เมตร ตามลำดับ
- ในบางบริเวณมีความสูงสึนามิมากกว่า 15 เมตร ซึ่งได้จากการสังเกตกิ่งไม้ที่หัก การวัดความสูงโดยการสังเกตจากกิ่งไม้ที่หัก อาจมีความผิดพลาดได้เนื่องจากอาจเกิดจากการกระเด้งของคลื่น ซึ่งทำให้ได้ค่าความสูงที่เกินความจริง ที่ปรึกษาจึงไม่ได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาในการกำหนดความสูงคลื่น

ข้อ 4.2 การออกแบบมีความจำเป็นให้ผนังทึบของชั้นที่น้ำท่วมถึงที่อาจขวางการไหลของน้ำได้พังทลายก่อนที่จะถ่ายแรงมหาศาลจากสึนามิเข้าโครงสร้างหลัก ซึ่งอาจทำให้อาคารวิบัติได้ โดยกำลังต้านทานแรงดันของผนังต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดให้ตามมาตรฐานแรงลมด้วย นอกจากนี้การพังทลายของผนังยังช่วยลดผลของการกระดอนของน้ำจากสึนามิเมื่อปะทะอาคารที่จะขึ้นสูงมากกว่าระดับน้ำท่วม

ข้อ 4.5 ในเหตุการณ์สึนามิเมื่อปี 2547 มีผู้เสียชีวิตจำนวนมากในห้องใต้ดินของห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง เพราะประชาชนพยายามวิ่งไปนำรถออกจากห้องใต้ดินซึ่งถูกน้ำท่วมทำให้หนีกลับออกมาไม่ทัน ห้องใต้ดินจึงเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินมากหากเกิดภัยพิบัติสึนามิ ถึงแม้ว่าจะมีระบบเตือนภัยก็ตาม เนื่องจากในความเป็นจริง ผู้คนในห้องใต้ดินอาจไม่ได้ยินเสียงเตือนภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการใช้ห้องใต้ดินเป็นสถานบันเทิง เช่น คาราโอเกะ เป็นต้น

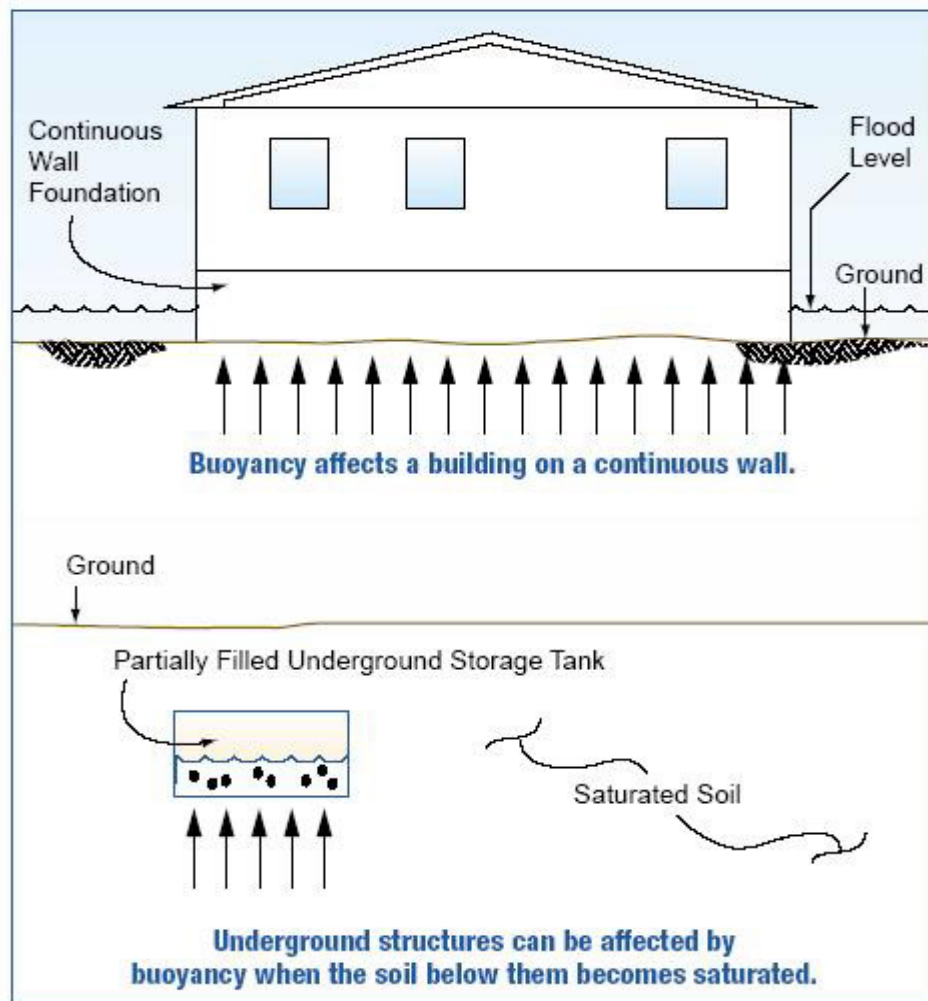
ข้อ 4.6 บันไดเป็นส่วนของอาคารที่มีความจำเป็นต่อการอพยพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบบันไดให้การอพยพเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย รวมทั้งจำเป็นต้องออกแบบให้โครงสร้างบันไดมีความแข็งแรงต่อแรงกระทำจากสึนามิและถ่ายแรงเข้าสู่โครงสร้างหลักด้วยความปลอดภัย

ข้อ 4.7 โครงสร้างใกล้ชายฝั่งทะเลง่ายต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง จำเป็นต้องคำนึงถึงความคงทนต่อสภาพแวดล้อมด้วย

ข้อ 5.1

แรงอุทกสถิต (hydrostatic loads) แบ่งได้เป็นแรงด้านข้างในแนวราบและแรงในแนวตั้ง

แรงอุทกสถิตในแนวดิ่ง (vertical hydrostatic force) คือ แรงลอยตัว (buoyant force) ซึ่งมีทิศขึ้นในแนวดิ่งและมีค่าเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่โดยส่วนของอาคารที่จมอยู่ในน้ำ โครงสร้างใต้ดินอาจเกิดความเสียหายจากแรงลอยตัว (buoyancy) เมื่อดินอยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated) ซึ่งทำให้เกิดแรงอุทกสถิตในแนวดิ่งดันขึ้นจากใต้อาคาร ตามรูป 2



รูปที่ 2 ลักษณะของแรงอุทกสถิตในแนวดิ่งที่กระทำต่อโครงสร้างเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

แรงอุทกพลวัต (hydrodynamic loads) เป็นแรงกระทำต่อโครงสร้างเนื่องจากน้ำที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วปะทะ โครงสร้างและไหลอ้อมโครงสร้างไปทางด้านข้าง แรงที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการปะทะทางด้านหน้า แรงดูดจากแรงเสียดทานทางด้านข้าง และแรงดูดทางด้านท้ายน้ำ แรงเหล่านี้รวมเป็นแรงอุทกพลวัต ซึ่งอาจประมาณค่าได้จากสมการในมาตรฐานการออกแบบ โครงสร้างชายฝั่ง (FEMA, 2000) แรงนี้ขึ้นอยู่กับรูปทรงของวัตถุที่ได้รับการปะทะ และความเร็วของการไหลของน้ำ สมการดังกล่าวมีสมมติฐานว่าความเร็วของการไหลมีค่าคงที่ และการไหลมีความสม่ำเสมอ (steady state flow) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้สภาพสันามิ

ปะทะอาคารจะไม่เป็นการไหลที่มีความสม่ำเสมอ แต่ก็เป็นที่ยอมรับกันที่จะใช้รูปแบบสูตรของแรงอุทกพลวัต เพื่อประมาณค่าแรงที่เกิดขึ้น โดยการสอบเทียบกับผลการทดลอง

ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงจุดนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของโครงสร้างที่น้ำไหลผ่าน โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแรงจุด (drag coefficient) มีค่าเท่ากับ 2.0 สำหรับวัตถุรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสและสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีค่าเท่ากับ 1.2 สำหรับวัตถุรูปร่างกลม สำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่ เช่น อาคารทั้งหลาย ให้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของแรงจุดจากตารางข้อ 3.1 (ค) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความสูง ถ้าทั้งอาคารจมอยู่ใต้น้ำ หรืออัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความลึกน้ำท่วม ถ้าอาคารถูกท่วมเพียงบางส่วน (FEMA, 2000)

แรงกระแทกจากวัตถุที่ลอยมากับน้ำ ขึ้นอยู่กับน้ำหนักและความเร็วที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ ซึ่งในความเป็นจริงวัตถุอาจมีน้ำหนักแตกต่างกันไปยากที่จะคาดคะเน โดยทั่วไปจึงสมมติให้มีน้ำหนักประมาณ 500 กิโลกรัม ส่วนความเร็วของวัตถุที่กระแทกโครงสร้างอาคารจะถือว่ามีความเร็วเท่ากับความเร็วที่น้ำไหล ยกเว้นในกรณีที่มีมวลมีขนาดใหญ่อาจพิจารณาให้ความเร็วของวัตถุมีค่าต่ำกว่าความเร็วของน้ำได้ แรงกระแทกที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการของโมเมนตัม โดยสมมติช่วงระยะเวลาที่เกิดการกระแทกตามชนิดของโครงสร้างอาคารถูกนำเสนอในมาตรฐาน FEMA-55 ที่อ้างอิงจาก City and Country of Honolulu Building Code (CCH, 2000) ดังนี้

โครงสร้างไม้	1.0 วินาที
โครงสร้างเหล็ก	0.5 วินาที
โครงสร้างคอนกรีต	0.1 วินาที

และค่าที่ได้เสนอในกฎกระทรวงเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางพลวัตอย่างละเอียด ซึ่งจะได้ช่วงระยะเวลาที่เกิดการกระแทกที่สอดคล้องกับค่าที่เสนอในมาตรฐาน FEMA-55 (FEMA-55, 2000)

การรวมน้ำหนักบรรทุก (load combination) เป็นที่สังเกตว่าสึนามิเป็นเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดน้อยมาก (rare event) มีคาบการเกิดซ้ำที่ยาวนาน (หลายร้อยปี) แตกต่างจากน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ที่พิจารณาในการออกแบบ และเหตุการณ์สึนามิที่ผ่านมาก็ถือว่ามีความรุนแรงสูงมาก ดังนั้นตัวคูณน้ำหนักบรรทุกของแรงจากสึนามิจึงให้เท่ากับ 1.0

จากการทดสอบแบบจำลองในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ (ภาคผนวก ข) พบว่าแรงกระทำที่เกิดจากคลื่น เมื่อพิจารณาจากผลบวกของแรงอุทกสถิตและอุทกพลวัตจะสอดคล้องกับแรงที่วัดได้จากการทดสอบ (ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 41%) ยกเว้นกรณีหาเขาหลัก ความสูงน้ำท่วม 3 เมตร นอกจากนี้จากการวัดค่าความดันด้านหน้าและหลังอาคารจำลอง พบว่าความดันสูงสุดด้านหลังอาคารมีค่าน้อยมาก

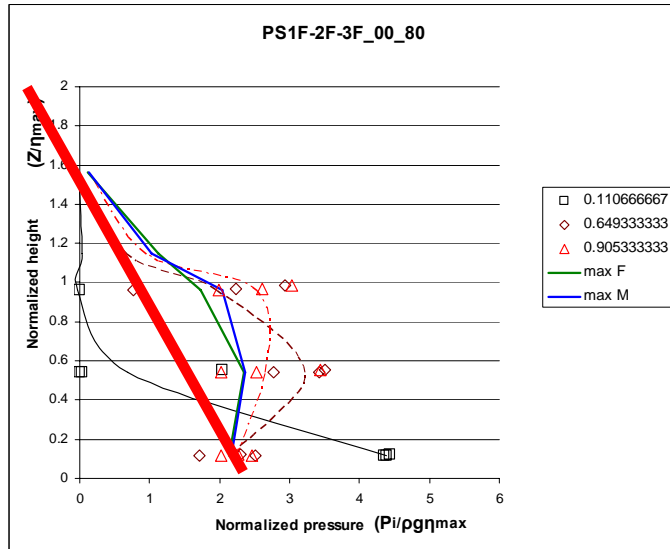
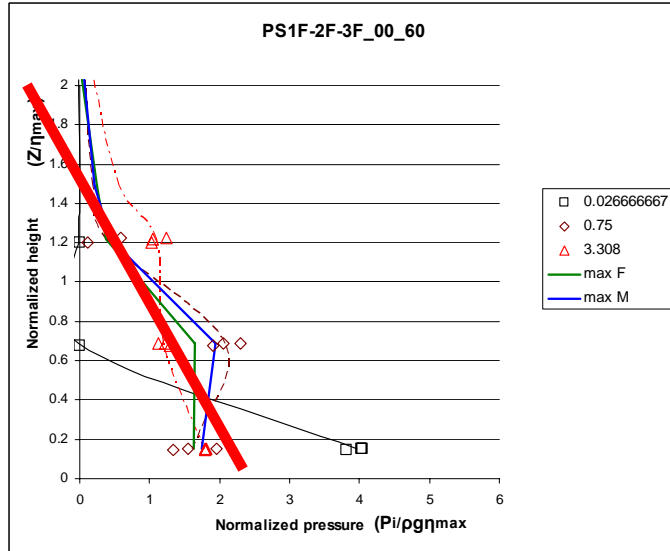
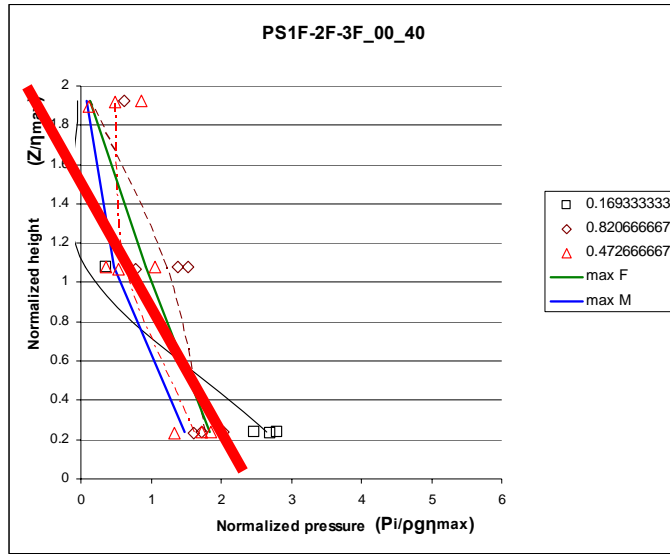
(ประมาณ 20% ของความดันที่ระดับเดียวกันและเวลาเดียวกันกับด้านหน้าอาคาร) และ ณ ขณะที่แรงเฉือนที่ฐานของอาคารมีค่าสูงสุดนั้น ค่าความดันที่ด้านหลังอาคารแทบเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงไม่มีการหักล้างกันของแรงออกสถิตด้านหน้าและด้านหลัง ณ เวลาที่เกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุด จึงเป็นเหตุผลที่นำแรงออกสถิตมารวมกับแรงออกพลวัตในการคำนวณแรงสูงสุดจากสึนามิ

สำหรับกรณีศึกษาหาดเขาหลัก ที่ความสูงน้ำท่วมต่ำกว่า 5 เมตรหรือน้อยกว่านั้น ในสภาพจริงที่ได้จากการสำรวจ พบว่า ความสูงน้ำท่วมที่หาดเขาหลัก จะมีค่าราว 5 เมตรขึ้นไป ดังนั้นผลการทดลองสำหรับความสูงน้ำท่วม 3 เมตร จึงไม่อาจใช้ได้กับหาดดังกล่าวในสภาพอาคารใกล้เคียงฝั่งดังที่ทำการทดลอง

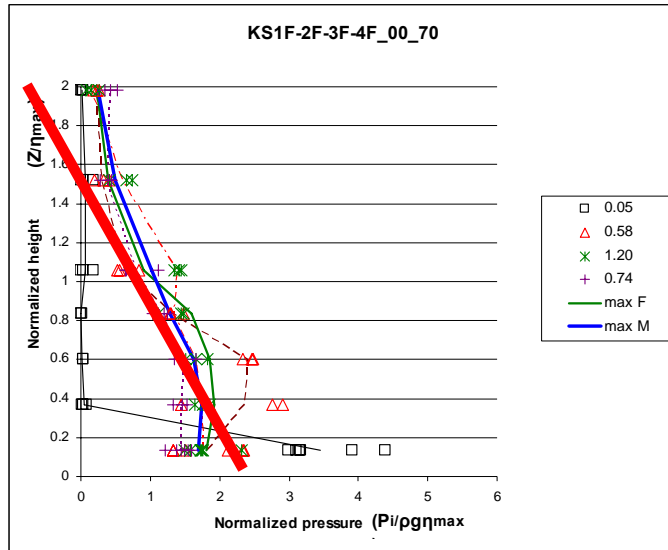
การกระจายตัวของความดันตามระดับความสูงของอาคารที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ณ เวลาที่เกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดและโมเมนต์ที่ฐานสูงสุดของแต่ละกรณีศึกษา(ยกเว้นกรณีหาดเขาหลัก ความสูงน้ำท่วม 3 เมตร) แสดงในรูปที่ 3(ก) และ 3(ข) จะเห็นว่า น้ำมีการกระโดดขึ้นไปสูงกว่าความสูงน้ำท่วม และรูปที่ 3(ค) เป็นความดันตามความสูงของอาคาร ณ เวลาที่เกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดของหาดเขาหลัก และหาดกมลาในทุกความสูงน้ำท่วม พบว่า เส้นที่สามารถเป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูลความดันดังกล่าวจะสามารถแทนได้ด้วยเส้นตรงที่แปรผันตามระดับความสูง โดยมีค่าความดันเท่ากับศูนย์ที่ความสูงเท่ากับ 1.6 เท่าของระดับน้ำท่วมและเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นที่ระดับต่ำลงไปที่ฐานซึ่งมีค่าความดันประมาณ 2.7 เท่าของความสูงน้ำท่วม เมื่อพิจารณาเส้นตรงที่ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูลที่ 1.5S.D. (ครอบคลุมข้อมูลราว 93 %) พบว่าความดันจะมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ความสูงเท่ากับ 2.1 เท่าของความสูงน้ำท่วมและเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นที่ระดับต่ำลงไปที่ฐานซึ่งมีค่าความดันประมาณ 3.5 เท่าของระดับความสูงน้ำท่วม

จากการกระจายตัวของความดัน ณ เวลาที่อาคารมีแรงเฉือนที่ฐานสูงสุด พบว่าตำแหน่งของแรงลัพธ์จากแรงออกสถิตในแนวราบและแรงออกพลวัตจะอยู่ที่ 0.7 เท่าของความสูงน้ำท่วม ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบที่แสดงว่าแรงลัพธ์ ณ เวลาที่อาคารมีแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดจะอยู่ที่ 0.5 – 0.7 เท่าของความสูงน้ำท่วม

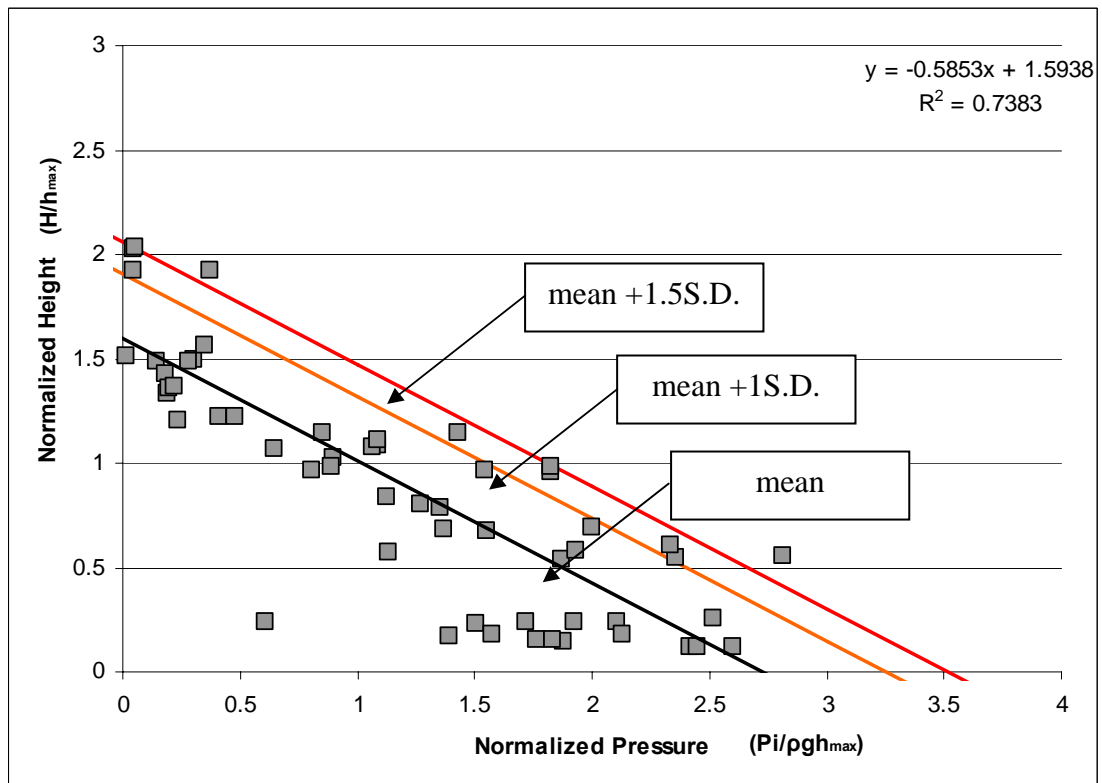
สำหรับอาคารรูปทรงแปดเหลี่ยม จากผลการทดสอบพบว่าแรงที่ฐานที่ของอาคารรูปทรงแปดเหลี่ยมจะมีค่าประมาณ 70-90% ของแรงที่กระทำกับอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีพื้นที่ฉายด้านปะทะน้ำเท่ากัน



รูปที่ 3(ก) เส้นความดัน (pressure profile) ด้านปะทะอาคาร กรณีศึกษาหาดกมลา ภูเก็ต



รูปที่ 3 (ข) เส้นความดัน (pressure profile) ด้านปะทะอาคาร กรณีศึกษาหาดเขาหลัก พังงา



รูปที่ 3(ค) ความดันเทียบเท่าตามความสูงเทียบเท่าของอาคาร ณ เวลาที่เกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดของหาดเขาหลัก และหาดกมลา

ความเร็วกระแสน้ำที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วหน้าคลื่น ความเร็วหน้าคลื่นที่สร้างในรางทดสอบไม่เท่ากับความเร็วหน้าคลื่นที่เกิดขึ้นจริงในสึนามิเมื่อ 26 ธันวาคม 2547 ทั้งนี้เนื่องจากการจำลองให้ได้ความเร็วที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะต้องจำลองสภาพภูมิประเทศโดยละเอียด รวมทั้งการจำลองทรายของหาดจริง ซึ่งการจำลองดังกล่าวต้องใช้รางขนาดใหญ่มากจึงไม่อาจทำได้ในรางทดลองที่มีอยู่ในประเทศไทย

จากการประมวลผลภาพถ่ายวิดีโอ พบว่าความเร็วหน้าคลื่นสูงสุดที่ได้ มีค่าไม่เกิน $1.4\sqrt{gh}$ ประกอบกับการประเมินกำลังของอาคารสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่บ้านคึกคัก พังงา (ภาคผนวก ค) โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการปลัดขันธ์ข้าง (pushover analysis) จะพบว่าอาคารนี้จะมีกำลังสามารถต้านแรงปะทะจากกระแสน้ำที่มีความเร็วได้ประมาณ $1.35\sqrt{gh}$ (ค่าความเร็วที่ประมาณโดย Matsutomi, 2005 มีค่าอยู่ในช่วง $0.91\sqrt{gh} - 1.22\sqrt{gh}$) ดังนั้นสำหรับหาดจริงในเมืองไทยจึงแนะนำให้ใช้ค่าความเร็ว $v = 1.4\sqrt{gh}$ ในการคำนวณค่าแรงจากสึนามิ

ข้อ 5.1.7 จากการสำรวจความเสียหายของหมู่บ้านชาวประมงในจังหวัดพังงาหลายแห่งพบว่าไม่น้อยที่การวิบัติของอาคารเกิดจากสาเหตุที่เรือประมงหรือรถบรรทุกที่ถูกกระแสน้ำพัดพาลอยเข้าไปกระทบเข้าไป โครงสร้างอาคาร ดังรูปที่ 4



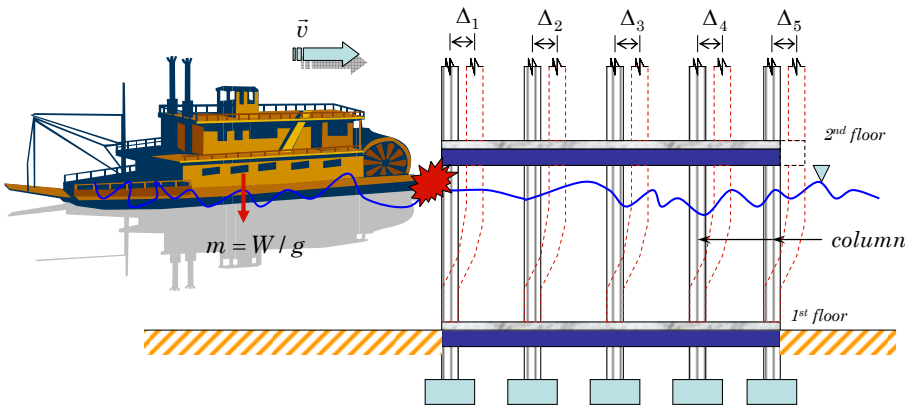
รูปที่ 4 แสดงภาพที่เรือประมงขนาดใหญ่เข้าชนบ้านเรือในพื้นที่เสี่ยงภัย

ด้วยขนาดของเรือประมงเหล่านี้ทำให้แรงของวัตถุที่ลอยมากับกระแสน้ำซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐานส่วนใหญ่ เช่น 500 กิโลกรัม ตามข้อที่ 3.1(จ) ไม่มีความเหมาะสมในพื้นที่ เพราะจากการสำรวจพบว่าน้ำหนักของเรือประมงในบริเวณนั้นมีขนาดถึง 80 ตันโดยประมาณ และหากทำการออกแบบให้โครงสร้างสามารถรองรับแรงขนาด 80 ตัน โดยวิธีการออกแบบโดยทั่วไป (lateral static load) นี้ก็จะทำให้โครงสร้างมีขนาดที่ใหญ่โตมาก ดังนั้นหลักการของงานและพลังงานจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการออกแบบโครงสร้างให้มีความสามารถในการรับแรงดังกล่าว

จากกฎของงานและพลังงาน (principle of work and energy) ที่กล่าวไว้ว่า “ผลรวมของงานที่เกิดขึ้นกับวัตถุทั้งหมดมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์” จากคำกล่าวนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sum W = \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ $\Delta T = \frac{1}{2}mv^2$ พลังงานงานที่จุดสุดท้าย (ดูรูปที่ 6)

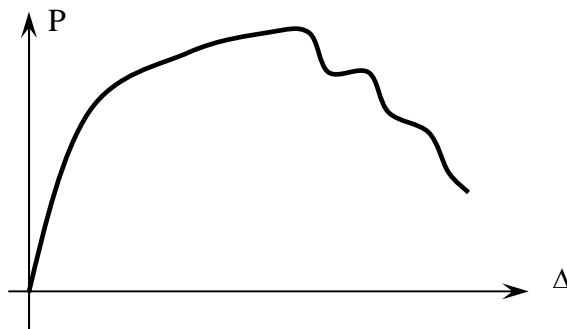


รูปที่ 5 แสดงการเข้าชนของเรือต่อโครงสร้างซึ่งทำให้เกิดงานและพลังงานจลน์

ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้ v จากข้อที่ 3.1(จ) และค่า m คือ มวลของเรือ (ในโครงการนี้ใช้เท่ากับ 80 ตัน) นั่นคือหากจะทำให้สมการ (1) เป็นจริงโครงสร้างต้องเกิดงาน

$$\sum W = \int P(x)dx \quad (2)$$

ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์ค่างานตัวนี้ได้จาก พื้นที่ใต้กราฟ ของแรงกระทำ (P) และระยะขจัดของโครงสร้าง (Δ) ดังรูปที่ 6 ผ่านหลักการที่เรียกว่า pushover analysis



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของแรงและการกระจัด (ณ จุดที่สนใจ) ของโครงสร้าง

ข้อ 6.2 น้ำที่ไหลปะทะบริเวณฐานรากของโครงสร้างที่ขวางอยู่ จะพยายามไหลอ้อมฐานราก หากผิวดินบริเวณรอบฐานรากนั้นเป็นดินอ่อน ทลาย หรือกรวดขนาดเล็ก ผิวดินอาจถูกพัดพาไปเนื่องจากความเร็วของน้ำทำให้เกิดการกัดเซาะเฉพาะที่รอบฐานรากของโครงสร้าง (localized scour) ซึ่งผลจากการกัดเซาะทั้งในระยะสั้น และในระยะยาว จะทำให้ผิวดินรอบๆ ฐานราก มีระดับต่ำลง ส่งผลให้พื้นดินใต้ฐานรากสูญเสียกำลังรับน้ำหนักแบกทาน (bearing capacity) สูญเสียกำลังต้านทานแรงด้านข้าง (resistance to lateral loads) และสูญเสียความต้านทานแรงยกตัว (uplift) การศึกษาปัญหาของการกัดเซาะที่ฐานราก จำเป็นต้องใช้ข้อมูลความลึกของน้ำ เงื่อนไขของการไหล ลักษณะของดิน และชนิดของฐานราก เพื่อว่าผู้ออกแบบโครงสร้างจะที่สามารถประเมินความลึกของการกัดเซาะที่อาจเกิดขึ้น และหาแนวทางป้องกัน มาตรฐาน FEMA-55 (2000) ได้เสนอวิธีการประมาณความลึกของการกัดเซาะบริเวณฐานรากเนื่องจากคลื่นสึนามิดังนี้

เอกสาร Design and Construction Standards for Residential Construction in Tsunami-Prone Areas of Hawaii ของ Dames and Moore (1980) ได้เสนอแนะว่า ความลึกของการกัดเซาะจะขึ้นอยู่กับประเภทของดิน โดยที่ความลึกสูงสุดของการกัดเซาะมีค่าเป็นสัดส่วนของความสูงน้ำท่วม ตามที่เสนอในร่างกฎกระทรวง การประมาณความลึกสูงสุดของการกัดเซาะนี้ใช้ได้กับบริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งไม่เกิน 100 เมตร ซึ่งค่าประมาณความลึกของการกัดเซาะนี้เหมือนกับที่เสนอไว้ใน City and County of Honolulu Building Code