

บทที่ 2

ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการวิเคราะห์แรงกระทำทางด้านข้างที่เกิดขึ้นจากแรงลมและแรงแผ่นดินไหว จะมีความสำคัญมากสำหรับอาคารสูง เพราะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างทำให้เกิดความรู้สึกที่ไม่มั่นคงต่อผู้ที่อยู่อาศัยในอาคาร และอาจทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายขึ้นได้ โดยปกติแรงกระทำด้านข้างมี 2 ชนิดคือ แรงลมและแรงแผ่นดินไหว แต่แรงแผ่นดินไวนั้นจะต้องพิจารณาทุกด้านคือ ทางตั้ง ทางด้านข้าง และการบิดตัวที่ส่งผลต่ออาคาร และโดยเฉพาะอาคารที่มีลักษณะไม่สมมาตรกัน วิธีวิเคราะห์โครงสร้างด้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า เนื้อหาใจความสำคัญของข้อกำหนดและข้อจำกัดของวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า ตามกฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ.2550 แรงลมตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522 และงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับผลของแผ่นดินไหวทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

2.1 วิธีวิเคราะห์โครงสร้างด้านทานแรงแผ่นดินไหว

ในการวิเคราะห์และออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวโดยทั่วไปมีวิธีการที่ใช้กันอย่างน้อยสามวิธีในการคำนวณหาแรงกระทำและการตอบสนองของโครงสร้างที่เกิดจากแผ่นดินไหว วิธีการทั้งสามได้แก่ 1. Time History Analysis 2. Modal Analysis และ Response Spectrum Method 3. Equivalent Static Force Method หรือวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า สองวิธีแรกจะนำมาอธิบายโดยย่อ ส่วนวิธีที่ 3 จะกล่าวโดยละเอียดโดยจะนำสมการที่ใช้คำนวณแรงแผ่นดินไหวที่มีอยู่ในมาตรฐานของ Uniform Building Code มาอธิบาย ในรายละเอียด พร้อมกับกฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ. 2550 ที่ว่าด้วยข้อกำหนดในการคิดคำนวณแรงกระทำด้านข้างของอาคาร ซึ่งเป็นพื้นฐานที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารด้านแรงแผ่นดินไหวของประเทศไทย มีผลบังคับกับอาคารที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย

2.1.1 Time History Analysis

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้จำเป็นต้องรู้ข้อมูลเกี่ยวกับความเร่งของพื้นดินเมื่อเกิดแผ่นดินไหว เพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นสมการการ

เคลื่อนที่ของโครงสร้างที่มีดีกรีอิสระเป็นจำนวนมาก ๆ การวิเคราะห์ทำได้ทั้งแบบอีลาสติกและอินอีลาสติกในสองหรือสามมิติ วิธีวิเคราะห์ทำได้โดยการอินทิเกรตโดยตรง (Direct Integration Method) เทียบกับเวลาในช่วงสั้น ๆ ผลที่ได้จะเป็นแรงที่กระทำต่อโครงสร้างการเคลื่อนที่และแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างตลอดช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา

วิธีนี้เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงตามข้อมูลความเร่งของพื้นดินแต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมสำหรับงานปฏิบัติในการคำนวณออกแบบ เนื่องจากค่ากำลังความแข็งแรงและขนาดของหน้าตัดยังไม่รู้ในตอนแรก การคำนวณสิ้นเปลืองเวลามาก วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์ โครงสร้าง หลังจากที่ได้รับ การออกแบบเบื้องต้นแล้ว เพื่อยืนยันความแข็งแรงของโครงสร้าง วิศวกรที่จะใช้วิธีนี้ จำเป็นต้องมีความรู้ทางพลศาสตร์โครงสร้าง ความรู้เกี่ยวกับข้อมูลแผ่นดินไหว ตลอดจน การวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วย

2.1.2 Modal Analysis และ Response Spectrum Method

โดยวิธีนี้ก่อนอื่นจะต้องคำนวณหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นที่สอดคล้องกับความถี่ธรรมชาติ โดยการวิเคราะห์แบบอีลาสติก จากนั้นค่าความเร่งของแต่ละรูปแบบการสั่นก็หาได้จากสเปกตรัมการตอบสนอง (Response Spectrum) และนำไปคำนวณหาแรงแผ่นดินไหวของแต่ละรูปแบบการสั่น โดยเทียบกับความเร่งสูงสุด แรงแผ่นดินไหวที่คำนวณได้นี้จะนำมารวมกัน (กระทำซ้อนกัน) โดยวิธีการที่เรียกว่า SRSS (Square – Root of the Sum of the Square) ปกติแล้วรูปแบบการสั่นเพียงสองหรือสามแบบแรกเท่านั้นที่จะนำมาเพราะเหตุว่ารูปแบบการสั่นที่สูงกว่านี้จะมีผลเล็กน้อยต่อแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดตลอดจนการเคลื่อนที่ วิธีนี้นับว่าสะดวกกว่าวิธีแรก แต่ข้อเสียเหมือนกับวิธีแรกและไม่สะดวกสำหรับการคำนวณออกแบบเบื้องต้นในงานปฏิบัติ

2.1.3 Equivalent Static Force Method หรือ วิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า

วิธีนี้ง่ายกว่าสองวิธีที่กล่าวมาแล้ว และเป็นประโยชน์มากที่สุดในการคำนวณออกแบบ เมื่อผนวกกับการออกแบบกำลังของหน้าตัดโดยคำนึงถึงความเหนียว (Ductility) ที่เพียงพอขององค์อาคารและหลีกเลี่ยงการวิบัติอันเกิดจากแรงเฉือน นอกจากนั้นหากมีการเสริมรายละเอียดที่มั่นคงแข็งแรงแล้ว การคำนวณออกแบบโดยวิธีนี้ จะให้ผลเป็นที่น่าพอใจและสามารถกระทำได้ถึงแม้โครงสร้างจะอยู่ในบริเวณที่มีความ

เสี่ยงสูง วิธีนี้เหมาะสำหรับอาคารที่มีรูปร่างสม่ำเสมอ นั่นหมายถึง การกระจายน้ำหนัก (มวล) และสติฟเนสของอาคารเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดความสูง หากอาคารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอต้องใช้วิธีทางพลศาสตร์ในการวิเคราะห์ห้ออกแบบ ขั้นตอนในการคำนวณแรงแผ่นดินไหว โดยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่าเป็นดังนี้

- ประมาณค่าการสั่นตามธรรมชาติคาบแรก โดยปกติค่านี้ประมาณได้จากการที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการคำนวณออกแบบ

- เลือกค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่เหมาะสม

- คำนวณค่าแรงเฉือนที่ฐานจากแผ่นดินไหว

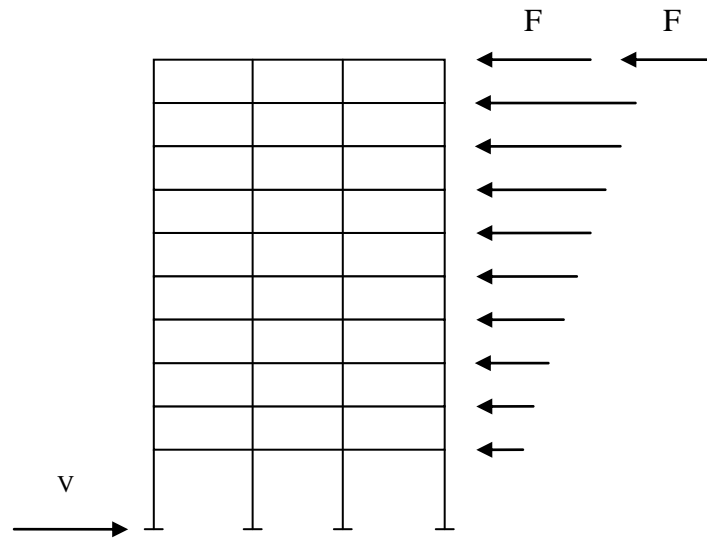
- กระจายแรงเฉือนที่ฐานไปที่แต่ละชั้น

- วิเคราะห์โครงสร้างเนื่องจากแรงด้านข้างเหล่านี้ เพื่อหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นแต่ละชั้น

- ประมาณระยะการเคลื่อนที่ (เปลี่ยนตำแหน่ง) ด้านข้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะการเคลื่อนที่ตามแนวระนาบระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน (Story Drifts)

ในการคำนวณโครงสร้างหรืออาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่สุดคือการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานขั้นต่ำที่สุดที่เกิดจากแผ่นดินไหว (Minimum Earthquake Force) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบของแต่ละประเทศที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว เนื่องจากประเทศไทยได้มี กฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ.2550 บังคับใช้ 10 จังหวัดเกี่ยวกับการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว

กระจายแรงเฉือนที่ฐานไปที่แต่ละชั้นในการคำนวณกระจายแรงเฉือน อาศัยหลักการที่ว่าความเร่งที่ชั้นต่าง ๆ กระจายเป็นส่วนเชิงเส้นกับความสูง ดังรูปที่ 2.1 แสดงความสูงของอาคาร รูปแบบการสั่น พร้อมกับมวลของแต่ละชั้น และการกระจายแรงทางด้านข้างความเร่ง a_i ของชั้นที่ i มีความสัมพันธ์กับความเร่ง a_n ของชั้นที่ n



รูปที่ 2.1 การกระจายแรงสถิตย์เทียบเท่าจากผลของแรงแผ่นดินไหว

ระยะการเคลื่อนที่ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน (Story Drifts) ในกฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ.2550 ได้กล่าวถึงขีดจำกัดของระยะการเคลื่อนที่ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน ซึ่งเป็นผลมาจากแรงแผ่นดินไหว แต่ในการวิเคราะห์ห้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงระยะเคลื่อนที่นั้น เพื่อนำไปพิจารณาผลกระทบ ต่อไป การคำนวณระยะการเคลื่อนที่ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน ทำได้โดยมีขีดจำกัดดังนี้

$$\Delta = 0.005h \quad \text{ถ้า } K \geq 1 \quad (2.1)$$

$$\Delta = 0.005Kh \quad \text{ถ้า } K < 1 \quad (2.2)$$

โดยที่ h เป็นความสูงของชั้น

Δ เป็นการเคลื่อนที่ด้านข้างของแต่ละชั้น

ผลกระทบจากโมเมนต์ดัดตรง คือ ผลจากการเคลื่อนที่ด้านข้างระหว่างชั้นและแรงในแนวตั้งทำให้เกิดผลกระทบ ซึ่งเป็นโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า โมเมนต์ดัดตรง (Secondary Moment) นอกเหนือจากโมเมนต์ดัดเนื่องจากแรงด้านข้างหรือที่เรียกว่า โมเมนต์ดัดหลัก (Primary Moment) และทำให้หน่วยแรงในเสามีค่าเพิ่มขึ้น กฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ.2550 ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบนี้ แต่ผลกระทบ อาจไม่ต้องนำมาพิจารณาหากอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ดัดตรงกับโมเมนต์ดัดหลักมีค่าไม่เกิน 0.1 โมเมนต์ดัดตรง คำนวณได้จากผลคูณของน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ที่อยู่สูงจากชั้นที่พิจารณา คูณกับระยะการเคลื่อนที่ของชั้น

โมเมนต์ดัดหลัก คำนวณได้จากแรงเฉือนจากแผ่นดินไหวของชั้นนั้น คูณด้วย ความสูงของชั้น

2.2 มาตรฐานการวิเคราะห์แรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคาร โดยวิธีแรงสถิตย์ เทียบเท่า ตามกฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ. 2550

2.2.1 การศึกษามาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อการปรับปรุงกฎกระทรวงฉบับที่ 49

แผ่นดินไหวมีผลต่อโครงสร้างในลักษณะที่แตกต่างจากแรงอื่น ๆ เช่น แรงลม แรงที่เกิดขึ้นในองค์อาคารจากแผ่นดินไหวเป็นผลจากการที่ฐานของอาคารถูกเคลื่อนตัวออกไป (โดยพื้นดิน) แต่มวลเฉื่อย (Inertia) ของอาคาร ทำให้ส่วนต่าง ๆ เช่น ชั้นหลังคาของอาคารไม่เคลื่อนตัวไปพร้อมกับฐานทันที ยังผลทำให้เกิดการเสียรูปในองค์อาคารต่าง ๆ เช่น เสา มวล (ลักษณะการกระจายของมวล) และลักษณะสมบัติของอาคาร (สติฟเนส ความหน่วง - Damping) ของอาคารจึงมีความสำคัญต่อการตอบสนองต่อคลื่นแผ่นดินไหวที่กระทำกับฐานของอาคาร

ประเทศสหรัฐอเมริกาจัดเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าสูงสุดในด้านวิชาการของปัญหาแผ่นดินไหว มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับทั่วไปและถูกนำไปใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนามาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหวสำหรับหลายประเทศรวมถึงประเทศไทย กฎกระทรวงฉบับที่ 49 ได้ใช้ มาตรฐานการออกแบบที่เป็นต้นแบบ คือ Uniform Building Code ฉบับปี ค.ศ. 1985 (UBC 1985) ซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการปรับปรุงมาตรฐานในทุก 3 ปี และทุกครั้งได้มีผลการวิจัยและความรู้จากบทเรียนจากแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นนำมาประมวลเป็นองค์ความรู้ใหม่และนำมากำหนดในมาตรฐาน หลังจากมาตรฐาน UBC 1985 ได้มีมาตรฐานที่ปรับปรุงแก้ไขตามมา คือ UBC-1988 UBC-1991 UBC-1994 และ UBC-1997 ก่อนที่เปลี่ยนองค์การเป็น International Building Code (IBC) และออกมาตรฐาน IBC-2000 และ IBC-2003 ซึ่งเป็นมาตรฐานฉบับล่าสุดในปัจจุบัน เป็นการพิจารณามาตรฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาสำหรับมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับประเทศ โดยพิจารณารายละเอียดของ (1) มาตรฐาน UBC 1985 ที่เป็นต้นแบบของกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (2) มาตรฐาน UBC 1997 ซึ่งจัดเป็นมาตรฐานที่มีการเปลี่ยนแปลงสำคัญและมีความเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้สำหรับประเทศไทยในด้านของข้อมูล

สนับสนุนการกำหนดมาตรฐาน และ (3) มาตรฐาน IBC 2003 ที่เป็นมาตรฐานฉบับล่าสุดของประเทศสหรัฐอเมริกา

แนวทางการพัฒนามาตรฐานการออกแบบสำหรับประเทศไทยจากมาตรฐานที่สำคัญของประเทศสหรัฐอเมริกาที่ได้บททวนไว้ในตอนต้น จะเห็นได้ว่าความรู้และความเข้าใจในปัญหาด้านแผ่นดินไหวได้ถูกพัฒนาและนำไปใช้ปรับปรุงวิธีการออกแบบให้โครงสร้างมีพฤติกรรมที่เหมาะสมต่อการต้านทานแผ่นดินไหวมากขึ้น โดยข้อมูลจากการศึกษาวิจัยและผลจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในอดีต การปรับปรุงเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่เป็ประโยชน์อย่างสูงต่อทุกประเทศทั่วโลก สำหรับประเทศไทยที่มีการนำมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกามาเป็นต้นแบบในการกำหนดเป็นข้อบังคับสำหรับการออกแบบก็ควรศึกษาแนวทางการพัฒนามาตรฐานต่อไปเช่นกัน โดยกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ที่ได้ใช้มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา UBC 1985 ที่ผ่านมากกว่า 20 ปีแล้ว จึงสมควรที่จะได้รับการพิจารณาปรับปรุงให้มีความเหมาะสมขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณามาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาฉบับปัจจุบัน (IBC 2003) ยังคงมีข้อจำกัดที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับประเทศไทยได้ในขณะนี้ นั่นคือ จะต้องต้องมีข้อมูลของสเปกตรัมผลตอบสนองจากผลของแผ่นดินไหวสูงสุดที่พิจารณา ซึ่งจำเป็นต้องมีข้อมูลการสั่นสะเทือนของพื้นดินที่เกิดขึ้นในประเทศที่น่าเชื่อถือและเพียงพอต่อการกำหนดค่าสำหรับพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ ดังนั้น หากพิจารณามาตรฐานที่มีความทันสมัยลำดับต่อมาคือ UBC 1997 พบว่าการจำแนกระดับความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวเป็นเขตที่ขึ้นกับระดับความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่ได้มีการศึกษาวิจัยไว้แล้ว ทำให้มีข้อมูลสำหรับกำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทย โดยหากพิจารณาความเหมาะสมของมาตรฐาน UBC 1997 จะมีข้อดีเหนือกว่า มาตรฐาน UBC 1985 หลายประการ

2.2.2 กฎกระทรวงเกี่ยวกับการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว กฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ. 2550

บริเวณเฝ้าระวัง หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวได้แก่ จังหวัดกระบี่ จังหวัดชุมพร จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดระนอง จังหวัดสงขลา และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

บริเวณที่ 1 หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี จังหวัด

ปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร โดยให้ใช้บังคับในบริเวณและอาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ทำอากาศยาน โรงไฟฟ้าโรงผลิตและเก็บน้ำประปา
2. อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสีหรือวัตถุที่ระเบิดได้
3. อาคารสาธารณะที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่สามร้อยคนขึ้นไป ได้แก่ โรงมหรสพหอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัมพันท์ ตลาดห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ และโรงแรม
4. สถานศึกษาที่รับนักเรียนหรือนักศึกษาได้ตั้งแต่ 250 คนขึ้นไป
5. สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อนที่รับเด็กอ่อน ได้ตั้งแต่ 50 คนขึ้นไป
6. อาคารที่มีผู้ใช้อาคาร ได้ตั้งแต่ 5,000 คนขึ้นไป
7. อาคารที่มีความสูง ตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไป
8. สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาว ตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป
9. เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูง ตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป

บริเวณที่ 2 หมายความว่า พื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดตาก จังหวัดน่านจังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง และจังหวัดลำพูน โดยให้ใช้บังคับในบริเวณและอาคารดังต่อไปนี้

1. อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ทำอากาศยาน โรงไฟฟ้าโรงผลิตและเก็บน้ำประปา
2. อาคารเก็บวัตถุอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุกัมมันตรังสีหรือวัตถุที่ระเบิดได้
3. อาคารสาธารณะ ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัมพันท์ ตลาดห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ โรงแรมสถานบริการ และอาคารจอดรถ

4. สถานศึกษา
5. สถานรับเลี้ยงเด็กก่อน
6. อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ ตั้งแต่ 5,000 คนขึ้นไป
7. อาคารที่มีความสูง ตั้งแต่ 15 เมตรขึ้นไป
8. สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาว ตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป
9. เชื้อนเก็บกักน้ำ เชื้อนท่อน้ำหรือฝายท่อน้ำ ที่ตัวเชื้อนหรือตัวฝายมีความสูง ตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป

การออกแบบโครงสร้างอาคารข้างต้น ให้ผู้คำนวณออกแบบคำนึงถึงการจัดรูปแบบเรขาคณิตให้มีเสถียรภาพในการต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว การกำหนดรายละเอียดปลีกล้อยชิ้นส่วน โครงสร้าง รวมทั้งบริเวณรอยต่อระหว่างปลายชิ้นส่วน โครงสร้างต่าง ๆ และการจัดให้โครงสร้างทั้งระบบอย่างน้อยให้มีความเหนียวเทียบเท่าความเหนียวจำกัด (Limited Ductility) ตามมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง หรือมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ที่สภาวิศวกรรับรอง การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารแต่ละชิ้นส่วน ให้ใช้ค่าหน่วยแรงของผลจากแผ่นดินไหว หรือผลจากแรงลมตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ที่มีต่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น ค่าใดค่าหนึ่งที่สูงกว่า

การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ผู้คำนวณออกแบบต้องเป็นผู้ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมตั้งแต่ระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป และต้องคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์หรือวิธีอื่นที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางทฤษฎีเชิงพลศาสตร์การคำนวณตามมาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง หรือที่จัดทำโดยส่วนราชการหรือนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธาตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้น

การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน เรือน โรงหรือสิ่งก่อสร้างอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ให้ผู้คำนวณ

ออกแบบคำนวณให้อาคารสามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้ โดยคำนวณแรงเฉือนตามวิธีการ ดังต่อไปนี้แรงเฉือนที่ฐานของอาคาร (Base Shear)

การกำหนดค่าแรงสถิตย์เทียบเท่าตามกฎกระทรวงนั้น จะคำนึงถึงความสำคัญของอาคาร ลักษณะทางโครงสร้างที่ใช้รับแรงด้านข้าง รูปแบบของโครงสร้าง คุณสมบัติพื้นฐานเชิงพลศาสตร์ของอาคาร ชั้นดินใต้อาคาร และการกระจายน้ำหนักของอาคาร โดยกำหนดให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ดังนี้

$$V = ZIKCSW \quad (2.3)$$

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว

I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ

C คือ สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับคาบ (Period) การแกว่งของอาคาร

S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร

W คือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดติดกับที่โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกสำหรับอาคารทั่วไป หรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกสำหรับ โกดังหรือคลังสินค้า

ให้กระจายแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดินออกเป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร ให้คำนวณ ดังนี้

$$F_t = 0.07 TV \quad (2.4)$$

ค่าของ F_t ที่ได้จากสูตรนี้ไม่ให้ใช้เกิน 0.25V และถ้าหาก T มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 0.7 วินาที ให้ใช้ค่าของ F_t เท่ากับ 0

2. แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคาร รวมทั้งชั้นบนสุดของอาคารด้วยให้คำนวณ ดังนี้

$$F_x = \frac{(V - F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (2.5)$$

F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร
 F_x คือ แรงในแนวราบที่จะกระทำต่อพื้นที่ x ของอาคาร
 T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที

V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

w_x, w_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นที่ x และพื้นที่ i

$i = 1$ สำหรับชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคารที่อยู่เหนือดิน

$x = 1$ สำหรับชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคารที่อยู่เหนือดิน

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

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

C คือ สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับขนาดของผลตอบสนอง ของแต่ละอาคาร ภายใต้แรงแผ่นดินไหวเดียวกันอันเป็นผลมาจากคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของโครงสร้าง ซึ่งได้แก่ค่าคาบธรรมชาติในการแกว่งของอาคาร ค่าอัตราการสลายพลังงานในโครงสร้าง เป็นต้น เนื่องจากส่วนประกอบเชิงความถี่ของการสั่นสะเทือนของชั้นดินที่เกิดจากแผ่นดินไหวมักจะมีช่วงความถี่ที่ค่อนข้างกว้าง ทำให้การสั่นไหวที่ถ่ายเข้าสู่โครงสร้างเกิดขึ้นโดยเป็นผลรวมจากหลายโหมดการแกว่งของโครงสร้าง (Mode of Vibration) ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคารค่าสัมประสิทธิ์ (C) ให้คำนวณตามสูตร ดังต่อไปนี้

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \quad (2.6)$$

ถ้าคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้มากกว่า 0.12 ให้ใช้เท่ากับ 0.12 โดยที่

T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร ถ้าไม่สามารถคำนวณหาคาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารได้ถูกต้องโดยวิธีอื่น ให้คำนวณตามสูตร ดังต่อไปนี้

สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิดให้คำนวณตามสูตร

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}} \quad (2.7)$$

สำหรับอาคารที่มีโครงต้านแรงค้ำที่มีความเหนียว ให้คำนวณตามสูตร

$$T = 0.10 N \quad (2.8)$$

h คือ ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดินมีหน่วยเป็น เมตร

D คือ ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรง แผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเมตร

N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

แม้สมการข้างต้นจะได้จากการเก็บข้อมูลจริงในภาคสนามของอาคารจำนวนมาก และสามารถใช้ประมาณค่าคาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารได้โดยสะดวก แต่เป็นที่ทราบกันว่ามีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ประกอบกับปัจจุบันโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติก็มีใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นวิศวกรอาจทำการประมาณค่าคาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารได้จากสมการ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N W_i \delta_i}{g \sum_{i=1}^N f_i \delta_i}} \quad \text{วินาที} \quad (2.9)$$

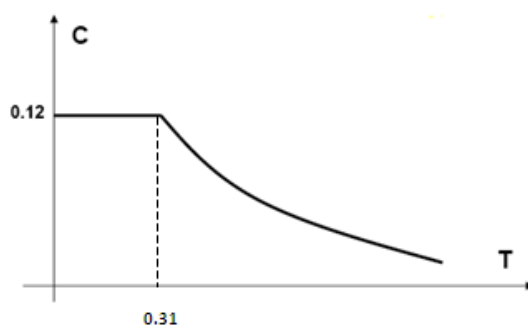
โดยที่

W_i เป็นค่าน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่ของอาคารในระดับพื้นที่ i (นิวตัน)

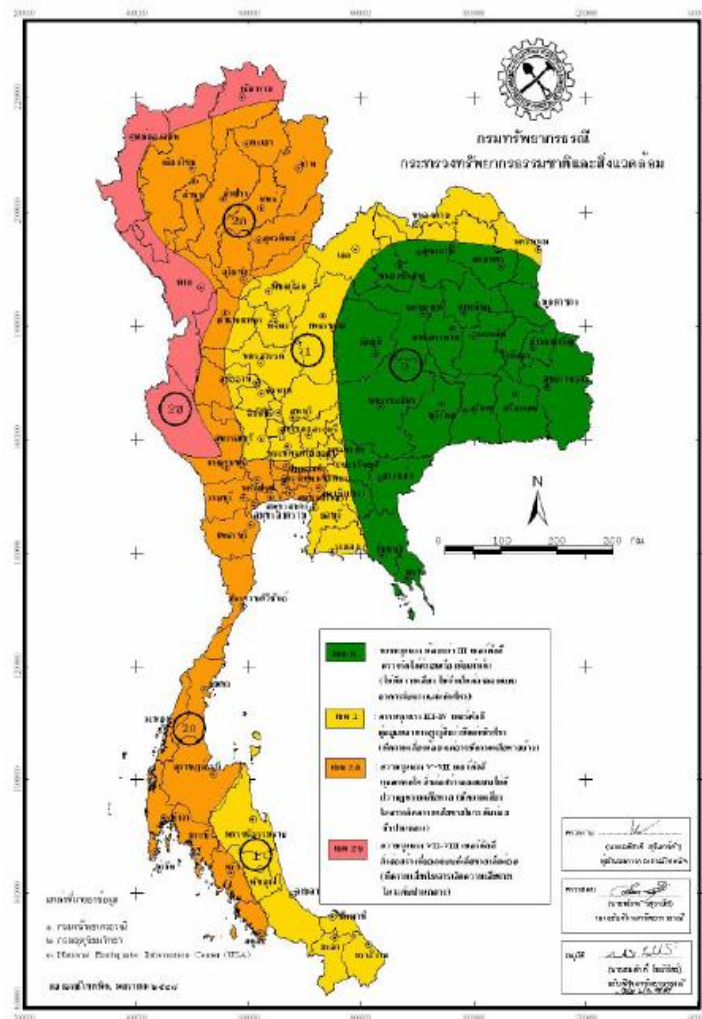
f_i เป็นแรงกระทำด้านข้างที่ระดับพื้นที่ i ซึ่งมีการกระจายขนาดตาม แนวตั้ง (นิวตัน)

δ_i เป็นค่าการโยกตัวของอาคารที่ระดับพื้นที่ i เนื่องจากแรง f_i กระทำในทุกชั้นของอาคาร (เมตร)

g เป็นค่าความเร่งตามแนวตั้งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาที ยกกำลังสอง)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ C กับค่าคาบการแกว่งตามธรรมชาติ T (ที่มา : กฎกระทรวง พ.ศ. 2550)



รูปที่ 2.3 แผนที่ความเสี่ยงแผ่นดินไหว
(ที่มา : กองธรณีเทคนิค กรมทรัพยากรธรณี ,2548)

Z คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว เป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดค่าความรุนแรงของแผ่นดินไหว ณ ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร โดยปกติแต่ละพื้นที่จะมีค่าสัมประสิทธิ์นี้แตกต่างกันเพราะมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวในขนาดความรุนแรงที่ต่างกัน สำหรับพื้นที่บริเวณที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ของ 10 จังหวัดในภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยที่ถูกกำหนดให้เป็นเขตเสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินไหวตามกฎหมายฉบับนั้น ทุกจังหวัดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากันกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.38 หรือมากกว่า ส่วนพื้นที่ในบริเวณที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลนั้น ถูกกำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากันกล่าวคือมีค่าเท่ากับ 0.19 หรือมากกว่า

I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร ซึ่งก็คือสัมประสิทธิ์ที่ใช้กำหนดค่าความสำคัญของอาคารที่มีผลต่อสวัสดิภาพชุมชน โดยแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานของอาคาร ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ I นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.50 ขึ้นอยู่กับระดับความสำคัญของอาคาร โดยอาคารที่สำคัญกว่าก็ต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์ I ที่สูงกว่า เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าอาคารดังกล่าว จะมีความแข็งแรงต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้ในระดับสูงกว่า ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I) ให้ใช้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I)

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
1. อาคารที่จำเป็นต่อการบรรเทาภัยหลังเกิดเหตุ	1.50
2. อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่ง ๆ ได้มากกว่า 300 คน	1.25
3. อาคารอื่น ๆ	1.00

K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ ที่ขึ้นอยู่กับประเภทและระบบโครงสร้างของอาคารที่ใช้รับแรงแผ่นดินไหว โดยจะเป็นตัวที่กำหนดความสามารถในการต้านทานต่อการพังทลาย เมื่อโครงสร้างเกิดความเสียหายความสามารถในการสลายพลังงานการสั่นไหวในตัวโครงสร้าง และความสามารถในการกระจายแรงไปยังส่วนอื่นเมื่อส่วนของโครงสร้างเกิดการวิบัติ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ K นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.67 – 2.50 โดยที่โครงสร้างที่มีความเหนียวมากกว่าหรือพังทลายได้ยากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ต่ำกว่า ทำให้ถูกออกแบบภายใต้แรงแผ่นดินไหวที่น้อยกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K) ให้ใช้ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K)

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
1. โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือโครงแกนแนง (Braced Frame) รับแรงทั้งหมดในแนวราบ	1.33
2. โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame) รับแรงทั้งหมดในแนวราบ	0.67
หมายเหตุ โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียว หมายถึง โครงต้านแรงดัดของอาคารที่ได้รับการ	

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K)

<p>จัดระบบโครงสร้างที่ดี มีการออกแบบเพื่อให้การวิบัติเชิงคด (Flexure Failure) เกิดขึ้นในคาน เป็นสำคัญ โดยที่ในกรณีของโครงสร้างคาน-เสา-คานเสริมเหล็ก ชั้นส่วนทั้งเสาและคานมีความสามารถด้านความเหนียวเชิงโค้ง (Curvature Ductility Capacity) ณ ตำแหน่งที่อาจเกิดการวิบัติไม่น้อยกว่า 20 และในกรณีของโครงสร้างคาน-เสาเสริมเหล็ก ลักษณะการวิบัติจะต้องเกิดขึ้นในชั้นส่วนโดยสามารถพัฒนากำลังส่วนเกิน (Over Strength) ด้านการคดได้ ชั้นส่วนและรอยต่อจะต้องไม่เกิดการวิบัติในลักษณะเปราะ (Brittle Failure) เช่น การโก่งเดาะเฉพาะที่ (Local Buckling) การวิบัติจากการแตกร้าวของรอยเชื่อม (Weld Fracture Failure) เป็นต้น</p>	0.67
<p>3. โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงสร้างคาน-เสาที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกนด้านแรงในแนวราบ โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณออกแบบ ดังนี้</p> <p>3.1 โครงสร้างคาน-เสาที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของแรงในแนวราบทั้งหมด</p> <p>3.2 กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกนเมื่อแยกเป็นอิสระจากโครงสร้างคาน-เสาที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด</p> <p>3.3 โครงสร้างคาน-เสาที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือน หรือโครงแกนต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด โดยสัดส่วนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงถึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้งสอง</p>	0.80
<p>4. หอดังน้ำรองรับด้วยเสาไม่น้อยกว่า 4 ต้น และมีแกนแข็งและไม่ได้ตั้ง อยู่บนอาคารหมายเหตุ ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.25</p>	2.50
<p>5. โครงสร้างคาน-เสาที่มีความเหนียวจำกัดและโครงสร้างระบบอื่น ๆ นอกจากโครงสร้างคาน-เสาตามที่กล่าวข้างต้น</p>	1.00

S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสั่นพ้อง (Resonance) ระหว่างชั้นดินและโครงสร้างอาคาร โดยทั่วไปอาคารมักมีคาบการแกว่งที่ยาวกว่าคาบการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว แต่หากอาคารตั้งอยู่บนชั้นดินที่อ่อนก็มีโอกาสที่คาบการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในช่วงที่สอดคล้องกับคาบการแกว่งของอาคารเกิดการขยายตัวขึ้น มีผลทำให้โครงสร้างอาคารต้องรับแรงแผ่นดินไหวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ S นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.00 –

2.50 ขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดินใต้อาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร (S) มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การประสานความถี่ธรรมชาติของอาคารและชั้นดินที่ตั้ง (S)

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
1. หิน	1.0
2. ดินแข็ง	1.2
3. ดินอ่อน	1.5
4. ดินอ่อนมาก	2.5

หิน หมายถึง หินทุกลักษณะไม่ว่าจะเป็นหินคล้ายหินเชล (Shale) หรือที่เป็นผลึกตามธรรมชาติ หรือดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินไม่เกิน 60 เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือ ดินเหนียวแข็ง

ดินแข็ง หมายถึง ดินลักษณะแข็งซึ่งมีความลึกของชั้นดินมากกว่า 60 เมตร ที่ทับอยู่เหนือชั้นหิน และต้องเป็นดินที่มีเสถียรภาพดี เช่น ทราย กรวด หรือ ดินเหนียวแข็ง

ดินอ่อน หมายถึง ดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวแข็งปานกลางที่หนา มากกว่า 9 เมตรอาจจะมีชั้นทรายคั่นอยู่หรือไม่ก็ได้

ดินอ่อนมาก หมายถึง ดินเหนียวอ่อนที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินในสภาวะไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ไม่มากกว่า 24 กิโลปาสกาล (2400 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) และมีความหนาชั้นดินมากกว่า 9 เมตร เช่น สภาพดินในท้องที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรีจังหวัดปทุมธานี จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร

จะสามารถสรุปได้ว่า

ถ้าผลคูณระหว่างค่า C กับค่า S มากกว่า 0.14 ให้ใช้เท่ากับ 0.14 เว้นแต่กรณีดินอ่อนมาก

ถ้าผลคูณดังกล่าวมากกว่า 0.26 ให้ใช้เท่ากับ 0.26

ในกรณีที่คาบการสั่นตามธรรมชาติของชั้นดินสามารถหาค่าได้ วิศวกรอาจใช้ค่าความสัมพันธ์ในสมการต่อไป ซึ่งให้ไว้ใน UBC – 1985 เพื่อประมาณค่า S

$$S = 1.0 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2 \quad \text{เมื่อ } \frac{T}{T_s} \leq 1.0 \quad (2.10)$$

$$S = 1.2 + 0.6 \frac{T}{T_s} - 0.3 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2 \quad \text{เมื่อ } \frac{T}{T_s} > 1.0 \quad (2.11)$$

อย่างไรก็ดีค่า S ที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นไม่ควรน้อยกว่าค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน

2.2.3 บทขยายความในกฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ. 2550

แรงสถิตย์เทียบเท่าเป็นการคำนวณหาแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นแรงสถิตย์ที่อยู่ในรูปของแรงเฉือนที่ฐานอาคารเทียบเท่ากับแรงกระทำจากแผ่นดินไหว โดยคิดเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักคงที่ของอาคารนั้น ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ได้สำหรับโครงสร้างอาคารที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างทั้งหมด ที่อยู่ในเขต Seismic Zone 1 และโครงสร้างปกติทั่วไปที่อยู่ในเขต Zone 2 ส่วนอาคารที่อยู่ในเขต Zone 3 และ Zone 4 จะต้องจำกัดความสูง ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทของโครงสร้าง
2. โครงสร้างปกติที่มีผังอาคารสมมาตร และความสูงน้อยกว่า 73 เมตร
3. โครงสร้างไม่ปกติเช่น ผังอาคารมีรูปร่างไม่สมมาตร โครงสร้างอาคารที่มีมวล หรือสติเฟเนสที่แปรเปลี่ยนในระหว่างชั้น เป็นต้น ซึ่งความสูงน้อยกว่า 5 ชั้น หรือ 20 เมตร
4. โครงสร้างซึ่งมีส่วนบนมีลักษณะยืดหยุ่นเช่น หอสถู เป็นต้น ซึ่งตั้งอยู่บนฐานที่แข็งแรง มั่นคง

สำหรับ โครงสร้างอาคารที่มีคุณสมบัตินอกเหนือจากข้อกำหนดนี้ให้ใช้การคำนวณออกแบบโดยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Method)

โครงสร้างปกติ (รูปทรงสม่ำเสมอ)

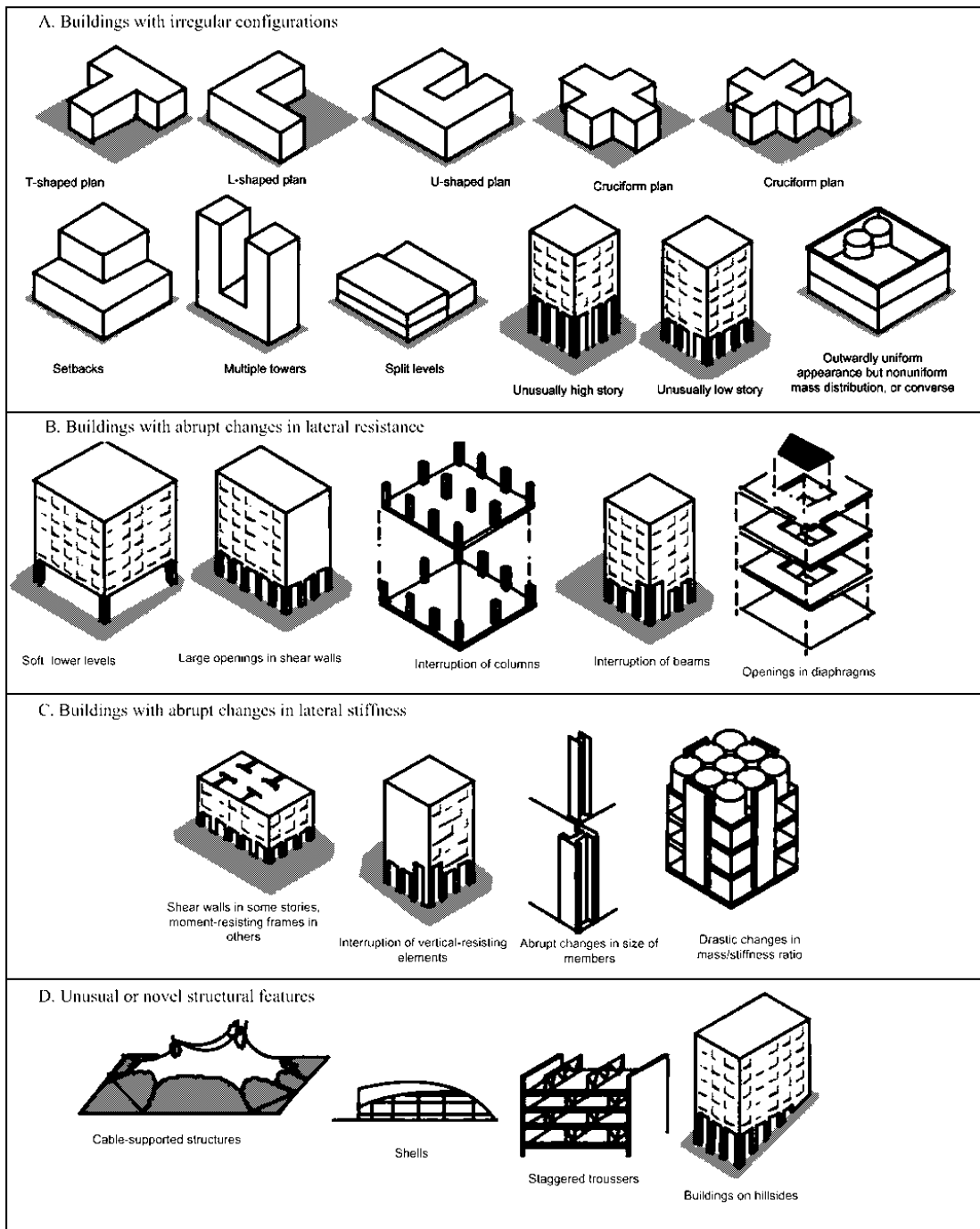
โครงสร้างปกติคือโครงสร้างซึ่งมีรูปร่างโดยทั่วไปมีลักษณะสมมาตรทั้งตัวผังอาคารและรูปด้านข้าง ขนาดของความหนาของพื้นและเสาอาคารมีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกชั้นอาคาร รวมถึงอาคารที่มีความไม่สม่ำเสมอเพียงเล็กน้อยอาคารที่มีความสม่ำเสมอซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. อัตราส่วนความสูง / ฐาน มีค่าต่ำ
2. มีความสมดุลของระบบโครงสร้างหลักสำหรับต้านทานแรงด้านข้าง

3. มีความสมมาตรในแนวราบ
4. รูปหน้าตัดและรูปด้านข้างมีความสม่ำเสมอ
5. มีระบบต้านทานโมเมนต์บิดได้สูงสุด เนื่องจากมีผนังรับแรงเฉือนหรือระบบค้ำยันด้านข้างอยู่ด้านริมนอก
6. มีช่วงคานที่สั้น
7. มีความสม่ำเสมอและความต่อเนื่องในการถ่ายแรง
8. มีความสูงแต่ละชั้นสม่ำเสมอ

โครงสร้างไม่ปกติ (รูปทรงไม่สม่ำเสมอ)

โครงสร้างไม่ปกติคือ โครงสร้างซึ่งมีลักษณะของตัวผังอาคารหรือรูปด้านข้างไม่สมมาตร ขนาดของความหนาของพื้นหรือเสาอาคารไม่มีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกชั้นอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้



รูปที่ 2.4 ลักษณะ โครงสร้างอาคารที่ไม่สมมาตรประเภทต่างๆ

ก. โครงสร้างไม่ปกติในแนวดิ่ง คือ โครงสร้างซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. โครงสร้างที่มีเสาอาคารในบางชั้นอ่อนแอกว่าชั้นข้างเคียง คือ มีค่าสติเฟนน้อยกว่า 70% ของเสาในชั้นที่อยู่เหนือกว่าถัดขึ้นไป หรือมี

ค่าสถิติในส้นน้อยกว่า 80% ของค่าสถิติในส้นเฉลี่ยของเสาจำนวน 3 ชั้นที่อยู่เหนือกว่าถัดขึ้นไป

2. โครงสร้างที่มีขนาดความหนาหรือมวลของพื้นอาคารไม่มีความสม่ำเสมอ คือ มีมวลมากกว่า 150% ของมวลของชั้นที่อยู่เหนือกว่าถัดขึ้นไปหรือชั้นที่อยู่ต่ำกว่าลงมา

3. โครงสร้างที่บางชั้นอาคารมีลักษณะรูปร่างไม่ปกติในแนวดิ่ง คือมีขนาดพื้นที่ของผังอาคารในบางชั้นมากกว่า 130% ของพื้นที่ในชั้นข้างเคียง

4. โครงสร้างที่มีรูปลักษณะด้านข้างไม่ต่อเนื่อง คือ มีผังอาคารยื่นล้ำออกมาเกินกว่าชั้นข้างเคียงมาก

5. โครงสร้างที่มีชั้นอ่อนแอบางชั้น คือ เสาอาคารหรือโครงสร้างที่ออกแบบให้รับแรงกระทำด้านข้างมีกำลังรับแรงเฉือนจากแรงกระทำด้านข้างน้อยกว่า 80% ของกำลังรับแรงเฉือนของเสาที่อยู่เหนือขึ้นไป

ข. โครงสร้างไม่ปกติในตัวผังอาคาร คือ โครงสร้างซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. โครงสร้างที่มีการบิดตัว เมื่อการบิดตัวสูงสุดของชั้นที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งของโครงสร้างมีค่ามากกว่า 1.2 เท่าของค่าเฉลี่ยของการบิดตัวของโครงสร้างนั้น

2. อาคารที่มีส่วนเว้า เมื่อบางส่วนของโครงสร้างมีรูปฉายยาวเกินกว่าส่วนเว้าของอาคารมากกว่า 15% ของขนาดความยาวของผังอาคารส่วนนั้น

3. โครงสร้างแผ่นพื้นที่มีค่าสถิติในส้นในแผ่นพื้นเดียวกันไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน หรือมีช่องเปิด ซึ่งมีพื้นที่มากกว่า 50% ของแผ่นพื้นทั้งหมด หรือเมื่อสถิติในส้นของแผ่นพื้นเปลี่ยนแปลงไปเกินกว่า 50% ของแผ่นพื้นในชั้นข้างเคียง

4. โครงสร้างที่มีผังอาคารบางส่วนยื่นล้ำออกนอกเขตของอาคาร ทำให้แรงกระทำด้านข้างจากแรงแผ่นดินไหวแปรเปลี่ยนอย่างไม่ต่อเนื่อง

โครงสร้างที่มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งดังกล่าวข้างต้นนี้ จัดว่าเป็นโครงสร้างไม่ปกติ

2.3 มาตรฐานการวิเคราะห์แรงลมตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522

วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบอาคารต้านทานแรงลม มี 2 ประการ คือ (1) เพื่อให้อาคารนั้นมีความปลอดภัย แม้ในกรณีที่มีพายุรุนแรงที่โอกาสเกิดขึ้นน้อยมากพัดเข้ามาปะทะอาคาร และ (2) เพื่อให้อาคารสามารถใช้งานได้เป็นปกติ ในสภาพลมแรงที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง ในช่วงอายุการใช้งานของอาคารนั้นๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องออกแบบให้อาคารมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่แข็งแรง สามารถต้านทานแรงลมที่กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างปลอดภัย สำหรับการออกแบบอาคารเพื่อให้สามารถใช้งานอาคารได้เมื่อเกิดลมแรงตาม ในกรณีที่การวิเคราะห์โครงสร้างที่จำเป็นต้องคำนึงถึงผลจากการกระทำของแรงลม ซึ่งถ้าหากไม่มีผลการทดสอบใด ๆ หรือไม่มีเอกสารอ้างอิงใด ๆ ที่เป็นที่น่าเชื่อถือ ให้ใช้ค่าแรงลมตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ในปัจจุบัน แรงลมมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นสำหรับโครงสร้างตึกสูงๆ ยิ่งเพิ่มความสูง ยิ่งต้องการ ค่าความต้านทานด้านแรงลม สูงยิ่งขึ้น เช่น ตึกสูง 1500 ฟุต จะต้องการต้านทานแรงลม เพิ่ม ขึ้นเป็น 40 เท่า ของตึกที่มีความสูง เพียง 200 ฟุต อีกทั้งความเร็ว ของลมเพิ่มมากขึ้น ตรงบริเวณเหนือความสูงขึ้นไปเรื่อยๆ แรงดันของลม ก็เพิ่มปริมาณกำลังสองของความเร็วลม ปริมาณ แรงลมจึง สัมพันธ์กับปริมาณความสูงของอาคาร ที่เพิ่มขึ้น แรงลมกระทำต่อโครงสร้างอาคารทางแนวนอน ในอาคารสูง จึงต้องแยก โครงสร้าง ที่รับแรงแนวดิ่ง แยกจากการต้านแรงลมทางแนวนอน จำนวน 10% ของตึกสูงเป็นน้ำหนักของ โครงสร้างอาคารโดยเฉพาะ และค่าของโครงสร้าง ใช้จ่ายไปเพื่อการเสริม โครงสร้างต้านแรงลม (Wind Bracing) เป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับตึกที่สูงเพียง 20-30 ชั้น โดยทั่วไปแล้วน้ำหนัก ของอาคารอย่างเดียว เพียงพอสำหรับ การต้านแรงลมได้ แต่ขนาดพื้นที่แต่ละชั้นต้องมากพอที่ ทำให้น้ำหนักอาคารมีพอเพียง นอกจากนี้ การคำนวณค่าแรงลม ต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ โดยรอบที่ตั้ง และตัวอาคารที่ออกแบบเองด้วย เพราะจะเป็นสิ่งกำหนดค่า และ ปริมาณที่แรงลมกระทำต่อ อาคารไม่เหมือนกัน เช่น อาคารข้างเคียงระดับสูงต่ำของพื้นดิน มีผลต่อทิศทางของกระแสและ การเพิ่ม ปริมาณของลมต่างกัน การออกแบบเพื่อต้านแรงลม จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความผันแปรของแรงลมอย่างรอบคอบ (Why Building Stand Up, Mario Salvadori, New York: WW Norton Co., 1980 :624.17 /s182w)

ขอบข่ายของมาตรฐานการวิเคราะห์แรงลม

1. มาตรฐานนี้ได้กำหนดวิธีการคำนวณค่าของแรงลมและผลกระทบในรูปแบบต่างๆ ของลมที่มีต่ออาคาร เพื่อใช้ในการออกแบบระบบโครงสร้างหลักของอาคาร องค์อาคาร และส่วนประกอบอื่นๆ ของอาคาร เช่น ผนังภายนอกอาคาร หลังคา เป็นต้น
2. ข้อกำหนดต่างๆ ในมาตรฐานนี้ เป็นข้อกำหนดในขั้นต่ำสุดที่จำเป็นต่อการออกแบบอาคาร เพื่อให้อาคารมีความปลอดภัย และเพื่อจำกัดผลกระทบในรูปแบบต่างๆ ของลมที่มีต่ออาคารให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ตามเกณฑ์มาตรฐานสากล
3. มาตรฐานการคำนวณ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบอาคารทั่วไป ตั้งแต่อาคารเตี้ยจนถึงอาคารสูงที่มีรูปทรงปกติ แต่มาตรฐานไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบอาคารที่มีลักษณะพิเศษ หรือ โครงสร้างอื่น ๆ ที่อาจมีการตอบสนองต่อแรงลมรุนแรงกว่าปกติ เช่น ปล่องควันที่มีความสูงชะลูด สะพานช่วงยาว ฯลฯ ซึ่งต้องใช้ในการทดสอบในอุโมงค์ลม
4. มาตรฐานการคำนวณ ไม่ได้ครอบคลุมสภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะพิเศษ ที่อาจทำให้เกิดแรงลมที่สูงกว่าปกติ เช่น ช่องลมเฉพาะที่ (Local Channel) ผลของอาคารข้างเคียง ฯลฯ ซึ่งต้องใช้ในการทดสอบในอุโมงค์ลม

ตารางที่ 2.4 ขนาดของแรงลมที่ความสูงต่าง ๆ ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร กฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2522

ความสูงของอาคาร

ความสูงของอาคาร (เมตร)	หน่วยแรงลมที่ใช้ต่ำสุด (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
สูงไม่เกิน 10 เมตร	50	89
สูงอยู่ในช่วง 10 - 20 เมตร	80	113
สูงอยู่ในช่วง 20 - 40 เมตร	120	138
สูงกว่า 40 เมตร	160	160
หมายเหตุ : ความสูงดังกล่าววัดจากพื้นดิน		

(ที่มา : มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองต่ออาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย)

ค่าของแรงลมที่ใช้ในการคำนวณ เป็นแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง รูปทรง 4 เหลี่ยม และกระทำในแนวตั้งฉากกับตัวโครงสร้าง เท่านั้น หากโครงสร้างใดวางขวางทิศทางลมและอยู่ที่โล่ง การเลือกใช้ค่าแรงลมควรเพิ่มค่าแรงลมดังกล่าวให้มากกว่าค่าที่กำหนดตามข้อบัญญัติ ตาม

สภาพพื้นที่และตามความเหมาะสม ในการศึกษาอาคารในเขตพื้นที่ 1 และ 2 ในบทที่ 3 ค่าแรงลมที่นำมาวิเคราะห์นี้คือ ผลคูณของหน่วยแรงลมในตารางที่ 2.4 กับพื้นที่ผิวด้านหน้าของอาคารที่ตั้งฉากกับแรงลม กระจายแรงลมไปที่แต่ละชั้นของอาคาร และแรงเฉือนทั้งหมดที่ฐานเนื่องจากแรงลม

2.4 การกระจายแรงในแต่ละชั้นเข้าสู่ส่วนโครงสร้างรับแรงด้านข้าง

แรงในแนวราบที่กระจายตามแนวตั้งของอาคาร ก็คือแรงแผ่นดินไหวหรือแรงลมที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบอาคาร ดังนั้น หากประสงค์ทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความสามารถในการวิเคราะห์จำลองแบบสามมิติก็สามารถนำแรงที่ได้นี้กระทำต่ออาคารตามระดับชั้นต่างๆ ได้โดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากแรงสถิตเทียบเท่านี้เป็นแรงเฉือนที่เกิดจากแรงแผ่นดินไหว หรือเป็นแรงสมมุติที่เกิดจากแรงลม จึงต้องถือว่ามีความสำคัญของการเกิดแรงอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลแต่ละชั้นของอาคาร แต่ถ้าประสงค์จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองสองมิติ ก็ต้องทำการแบ่งแรงสถิตเทียบเท่าในแต่ละชั้นเข้าสู่แต่ละส่วน โครงสร้างที่ใช้รับแรงด้านข้างของอาคารสูงก่อน ในกรณีนี้อาจแบ่งแรงตามอัตราส่วนของค่าความแข็งแรงของแต่ละส่วน โครงสร้างหรือเฟรม โดยจะคำนึงถึงผลของการโยกตัวหรือการบิดตัวของอาคาร และการประมาณค่าความแข็งแรงของอาคารสูง ของเฟรมในแต่ละชั้น ด้วยการสมมุติรูปแบบการแอ่นตัว แต่จากประสบการณ์ พบว่า การแบ่งแรงด้วยวิธีดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก วิธีการที่ให้ค่าใกล้เคียงกว่า สามารถทำได้โดยการหาค่าความแข็งแรงจากการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยตรง เพื่อใช้แบ่งแรง โดยการโยกตัวของอาคารจะเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการโยกตัวของอาคารเนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำอย่างเพียงพอ

จากรูปที่ 2.5 สำหรับการกระจายแรงเข้าสู่เฟรมที่ช่วยรับแรงด้านข้างของแต่ละชั้นของอาคารสูงหลังจากหาค่าความแข็งแรงแล้ว สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F_{xk} = \frac{RkF_x}{\sum_{i=1}^M Ri} + \frac{rkRk}{J_x} T_x \quad (2.12)$$

โดยที่ $T_x = F_x e_x \quad (2.13)$

และ $J_x = \sum_{i=1}^M ri^2 Ri \quad (2.14)$

F_{xk} คือ ค่าแรงตามแนวราบในชั้นใดๆที่แบ่งเข้าสู่เฟรมด้านข้าง

F_x คือ ค่าแรงสถิตเทียบเท่าตามแนวราบที่กระทำต่ออาคารในชั้นใดๆ

R_i, R_k คือ ค่าความแข็งเกร็งของเฟรมรับแรงด้านข้างในชั้นใดๆ

r_i, r_k คือ ระยะห่างระหว่างโครงสร้างกับตำแหน่งศูนย์กลางของค่าความแข็ง

เกร็ง

T_x คือ ค่าโมเมนต์บิดของอาคารเนื่องจากแรงในชั้นใดๆ

e_x คือ ค่าระยะเยื้องศูนย์กลางจากจุดศูนย์กลางของค่าความแข็งเกร็งในชั้นใดๆ

J_x คือ ค่าโมเมนต์เชิงมุมของค่าความแข็งเกร็งของอาคารรอบจุดศูนย์กลางของค่าความแข็งเกร็งของชั้นใดๆ

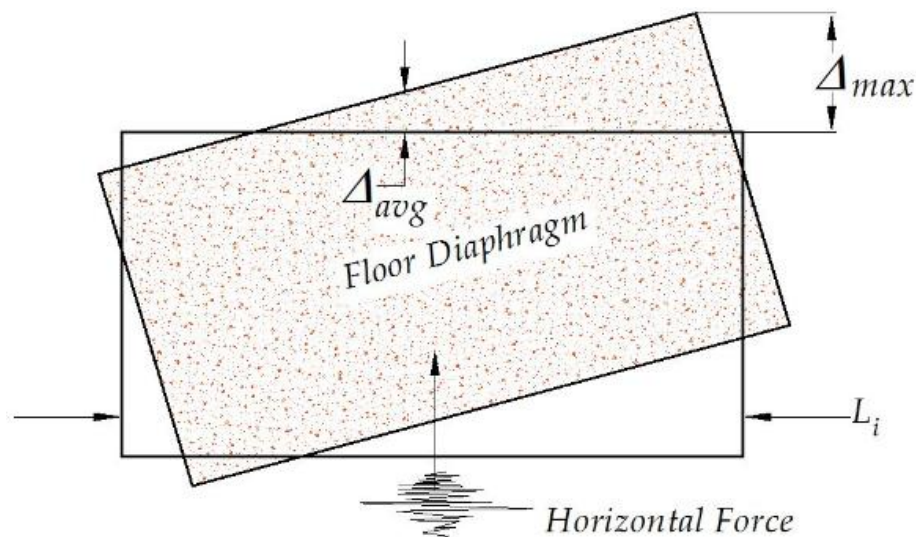
M คือ จำนวนโครงสร้างที่รับแรงด้านข้างทั้งหมดในชั้นใดๆ

เมื่อพิจารณาโครงสร้างรับแรงด้านข้าง โดยทั่วไปจะพบว่าโครงสร้างเกิดการบิดตัว ทั้งนี้ อาจเกิดจากการกระจายตัวที่ไม่สมมาตรของแรง สถิตเฟนสของชั้น หรือ มวล การบิดนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงที่จะเข้าสู่ส่วนของโครงสร้างซึ่งทำหน้าที่รับแรงด้านข้าง โดยส่วนโครงสร้างบางส่วนอาจต้องรับแรงมากขึ้นหากอยู่ในตำแหน่งที่ผลของแรงด้านข้างและแรงจากโมเมนต์บิดมาเสริมกัน โดยค่าของโมเมนต์บิดสามารถคำนวณได้จากขนาดของแรงสถิตเทียบเท่าของชั้น คูณกับระยะเยื้องศูนย์กลางของชั้น เนื่องจากค่าระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงตามแนวราบในแต่ละชั้นนั้น กำหนดจากระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของค่าความแข็งเกร็งของชั้น กับตำแหน่งศูนย์กลางของแรง ซึ่งมักจะมีความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรง เพราะจะขึ้นอยู่กับการกระจายแรงตามแนวราบของมวลในพื้นที่ในแต่ละชั้นซึ่งขึ้นกับการใช้งานในอนาคต ทำให้ค่าระยะเยื้องศูนย์กลางที่ใช้ในการคำนวณออกแบบอาจจะมีค่าต่างไปจากเดิม ดังนั้นวิศวกรจึงนิยมเผื่อค่าระยะเยื้องศูนย์กลางดังกล่าวไว้อย่างน้อย ร้อยละห้าของความยาวอาคารสูงในด้านที่

ปะทะกับแรง ซึ่งต้องคำนึงถึงเสมอแม้โครงสร้างจะมีความสมมาตรอยู่แล้วก็ตาม ยิ่งไปกว่านั้น หากอาคารมีแนวโน้มที่จะบิดตัวได้มาก ค่าดังกล่าวยังต้องถูกขยายด้วยค่าปรับแก้

2.5 การปรับแก้ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร

จากโครงสร้างที่ได้รับการคำนวณด้วยระยะเยื้องศูนย์แบบเพื่อ ทำให้เกิดระยะโยกตัวขององค์อาคารมากยิ่งขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบค่าการ โยกตัวของแต่ละชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จากแต่ละเฟรมว่ามีความสัมพันธ์กันตามสมการ



รูปที่ 2.6 ลักษณะการ โยกตัวของอาคารในชั้นใดๆ

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{ave}} \right)^2 \leq 3.0 \quad (2.15)$$

โดยที่ A_x เป็นค่าปรับแก้ หรือค่าส่วนขยาย (Amplifier) ในชั้นที่ x

$\delta_{i, max}$ เป็นค่าการ โยกตัวของสูงสุดในชั้นที่ x

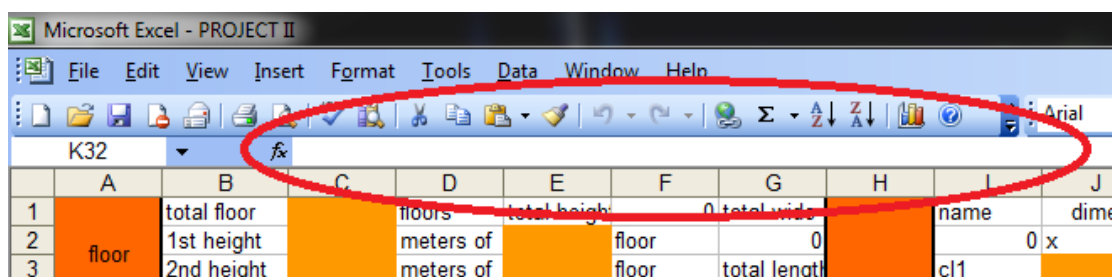
$\delta_{i, ave}$ เป็นค่าโยกตัวเฉลี่ยในชั้นที่ x

เมื่อทำการคำนวณแล้วพบว่า เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวคือ ค่าส่วนขยายมีค่าไม่เกินสาม ให้ใช้ค่าที่คำนวณได้ แต่ในกรณีที่ค่าที่คำนวณได้เกินสาม ให้ใช้ค่าเท่ากับสามเป็นค่าปรับแก้ ทั้งนี้ การปรับแก้มักทำการขยายขนาดของเสา ดังนั้น โปรแกรมสามารถแนะนำขนาดของเสาได้หากทำการพัฒนาโปรแกรมต่อไป

2.6 คำสั่งในโปรแกรม ไมโครซอฟท์ ออฟฟิศ เอ็กเซล

2.6.1 คำสั่งในเอ็กเซล

คำสั่งในเอ็กเซลมักจะถูกแสดงอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันสำเร็จรูป (function) ซึ่งปกติผู้ใช้จะสามารถเรียกใช้ได้จากกล่องฟังก์ชัน บนเมนูบาร์ ตามที่แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งกล่องฟังก์ชันในไมโครซอฟท์ เอ็กเซล

โดยมีฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับโครงการ เช่น

- 1) คำสั่ง ซัม (Sum) เป็นฟังก์ชันที่ใช้หาผลรวมของเซลล์อ้างอิง
- 2) คำสั่ง อีฟ (If) เป็นฟังก์ชันที่ใช้วางเงื่อนไข โดยจะสามารถวางซ้อนกันได้มากสูงสุดถึง 7 ชั้น
- 3) คำสั่ง เค้านท์ (Count) เป็นฟังก์ชันที่ใช้นับจำนวนเซลล์ที่มีข้อมูลจากเซลล์อ้างอิง

2.6.2 คำสั่งในวิซวลเบสิกสำหรับงานทั่วไป

วิซวลเบสิกสำหรับงานทั่วไป หรือ วิบีเอ คือการเขียนโปรแกรม โดยใช้ชุดคำสั่งที่มีความซับซ้อน เมื่อผู้ใช้เกิดความชำนาญ สามารถลดขั้นตอน หรือ เปลี่ยนแปลงรูปแบบในการใช้คำสั่งได้ แต่สำหรับโครงการนี้ จะนำเสนอเพียงเบื้องต้น เพื่อไม่ให้เกิดความสับสน ซึ่งจะแสดงให้ดูในส่วนของบทที่ 4 ในลำดับถัดไป

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

มีงานศึกษาและวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทย อันได้แก่ การจัดตั้งหน่วยตรวจวัดอัตราเร่งสูงสุดของพื้นดินจากแผ่นดินไหว (Peak Ground Acceleration – PGA) รวมทั้งอัตราเร่งของการสั่นสะเทือนของอาคารสามหลังในกรุงเทพมหานคร การเก็บข้อมูลและสถิติความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่รู้สึกได้ ตำแหน่งศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่รู้สึกได้ จำนวนครั้งที่เกิดและขนาด การทำแผนที่แสดงตำแหน่งและขนาดแผ่นดินไหวและเขตความเสี่ยงภัยจากข้อมูลแผ่นดินไหวที่บันทึกไว้ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้ในการกำหนดมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย การศึกษาวิจัยข้อมูลทางธรณีวิทยาและผลของแผ่นดินไหวต่ออาคารทั้งในประเทศไทยดังนี้

1) ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (2533) หน่วยวิจัยแผ่นดินไหวและการสั่นสะเทือน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เสนอข้อพิจารณาสำหรับการเลือกระบบโครงสร้าง คือ (1) ความเรียบง่ายและสมมาตร อาคารรูปทรงเรียบ ๆ และสมมาตรได้พิสูจน์มาในแผ่นดินไหวในอดีตแล้วว่ามีพฤติกรรมการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวดีกว่าและรอดพ้นจากการพังทลายได้มากกว่าอาคารที่ยุ่งยากหรือไม่มีสมมาตร (2) ระบบต้านแรงด้านข้าง ระบบต้านแรงด้านข้างมีมากมาย เช่น ระบบโครงข้อแข็ง (เสาคาน เป็นหลัก) ระบบผนังรับแรงเฉือน (Shear Wall System) ระบบโครงแกนแนง (Braced Frame System) เป็นต้น (3) การกระจายของกำลังและสติฟเนสตามความสูง ควรให้อาคารมีการกระจายของกำลังและสติฟเนสตามความสูงแปรเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงกะทันหัน อาคารที่จิงใจ (หรือไม่จิงใจ) ทำให้ชั้นล่างอ่อนเป็นพิเศษ (Soft Story) เพื่อลดแรงแผ่นดินไหวนั้น (4) ระบบเสาแข็ง-คานอ่อน เสาเป็นองค์อาคารที่สำคัญมาก หากเสาวิบัติโครงสร้างที่รับโดยเสานั้นจะพังทลายลงมาอย่างค่อนข้างกะทันหัน เป็นการวิบัติแบบเปราะ (Brittle failure) ซึ่งอันตรายมาก (5) เสาสั้น ในอาคารที่มีเสาช่วงสั้นและช่วงยาวอยู่ในชั้นเดียวกัน เสาช่วงสั้นจะมีสติฟเนสมากกว่าจะรับแรงแผ่นดินไหวมากกว่าเสายาว (ประมาณตามสัดส่วนสติฟเนส) จึงต้องออกแบบเสาสั้นให้มีกำลังและความเหนียวเป็นพิเศษ (6) ระบบการถ่ายแรงเฉือนในระนาบราบ โดยทั่วไปองค์อาคาร

ในแนวราบ (คานและพื้น) จะต้องทำหน้าที่ถ่ายแรงด้านข้างไปยังองค์อาคารใน แนวค้ำที่ด้านแรงด้านข้าง (7) ระบบแรงส่วนเกิน (Redundancy) ควรออกแบบ ให้โครงสร้างมีระบบแรงส่วนเกิน เพื่อให้มีระบบสำรองพอสมควร อาคารที่มี ระบบแรงส่วนเกินมากกว่าจะมีกำลังสำรองดีกว่าอาคารที่มีระบบแรงส่วนเกิน น้อยกว่า

2) วิสุทธิ ขุนศรี และ ไพบุลย์ ปัญญาตะโป บทความนี้เป็นการวิเคราะห์ หาค่าตัวประกอบกำลังส่วนเกินสำหรับอาคารที่ออกแบบด้านทานแรง แผ่นดินไหวตามกฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ. 2550 อาคารตัวอย่างที่ใช้ในการ วิเคราะห์นี้เป็นอาคารเรียนคอนกรีตเสริมเหล็กความสูง 2 , 3 , 4 และ 5 ชั้น กำหนดให้ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ความเสี่ยงภัย Zone 1 , 2A , 2B และ 3 และมี สภาพชั้นดินเป็นประเภทชั้นหิน ดินแข็ง ดินอ่อน และดินอ่อนมาก(S1, S2 , S3 และ S4) ลักษณะโครงสร้างอาคารเป็นระบบโครงสร้างด้านแรงค้ำ โดยพิจารณา โครงสร้างแบบไม่มีผนังก่อ (Bare Frame) และแบบมีผนังก่ออิฐ (Masonry in-filled Wall) ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ได้จำลองโครงสร้างในระบบ 3 มิติ ด้วย โปรแกรม ETABS ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Nonlinear Static Analysis (Pushover Analysis) และใช้พฤติกรรมการรับแรงแบบไม่เชิงเส้น ตามข้อเสนอแนะของ ATC-40 ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่ากำลังส่วนเกินสำหรับอาคารขนาดเต็ยมีค่า มากกว่าอาคารสูง อาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยต่ำ มีค่ากำลังส่วนเกิน มากกว่าอาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยสูง อาคารที่ตั้งอยู่บนสภาพชั้นดิน อ่อนมีค่ากำลังส่วนเกินลดลงกว่าอาคารที่ตั้งอยู่บนสภาพชั้นดินแข็ง และอาคารที่ พิจารณาโครงสร้างแบบผนังอิฐก่อ (Masonry in-filled wall) มีค่ากำลังส่วนเกิน มากกว่าอาคารที่พิจารณาโครงสร้างแบบไม่มีผนังก่อ (Bare Frame) ประมาณ 3 – 10 เปอร์เซ็นต์ สรุปผลการวิเคราะห์การหาค่าตัวประกอบกำลังส่วนเกินนั้นจะมี ค่าสูงเมื่ออาคารที่มีขนาดเต็ย จะลดลงเมื่ออาคารที่สูงขึ้น และจะมีค่าตัว ประกอบกำลังส่วนเกินสูงเมื่อดินที่ตั้งอาคารเป็นชั้นหิน จะลดลงเมื่อดินที่อ่อนลง ซึ่งอาคารในแต่ละหลังนั้นจะมีค่า ตัวประกอบกำลังส่วนเกินต่างกันอยู่ประมาณ 484 – 598 % ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้ Indian Code ที่มีค่าต่างกันว่า 400 – 500% ส่วนค่าที่ได้นั้นจะมีค่าระหว่าง 1.61 – 14.05 ซึ่งตามเอกสาร ASCE ได้กำหนดไว้ที่ 3.00

3) สมชาย ชูชีพสกุล (2544) ได้อธิบายวิธีการวิเคราะห์และออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า (Equivalent Static Force Method) โดยนำสมการที่ใช้คำนวณแรงแผ่นดินไหวที่มีอยู่ในมาตรฐานของ UBC (Uniform Building Code) มาอธิบาย พร้อมกับกฎกระทรวงฉบับที่ 49 และแสดงขั้นตอนในการคำนวณและการประยุกต์ ในการนำเสนอในส่วนของ UBC ไม่เกินปี 1985 ที่ว่าด้วยข้อกำหนดในการคิดคำนวณแรงกระทำด้านข้างของอาคาร ซึ่งเป็นพื้นฐานของกฎกระทรวงฉบับที่ 49 พ.ศ. 2540 ที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวของประเทศไทย

4) ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, สุรียา ทศนิยานนท์ และอุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์ (2532) ได้ขยายงานวิจัยที่ได้ในปี พ.ศ. 2529 โดยประยุกต์ทฤษฎีความเป็นไปได้ และวิธี Monte Carlo ในการจำลองการเกิดแผ่นดินไหว โดยเป็นการคำนึงถึงแหล่งกำเนิดหลายแห่งที่ส่งมายังสถานที่ที่พิจารณา ผลจากการวิจัยครั้งนี้ได้ความสัมพันธ์สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงฮิสตอริกของกรุงเทพฯ ซึ่งได้จากการเฉลี่ยผลของแผ่นดินไหวจำนวนมาก ๆ

5) ปริญญา นุตาสัย และประกาศ มานเสษฐา (2533) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์และความเสี่ยงเนื่องจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย โดยคาดคะเนโอกาสการเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย และใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวทั้งหมดที่มีอยู่ในขณะนั้น ผลจากการวิจัยสามารถหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความอุปติซ้า (Return Period) และความเร่งสูงสุดของดิน รวมทั้งได้แสดงแผนที่แสดงความเข้มของการสั่นสะเทือนด้วย ซึ่งจากแผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งสูงสุดที่เสนอพบในภาคเหนือของประเทศไทย ค่าอัตราการเร่งสูงสุดจะมีค่าประมาณ 22 แกล สำหรับในช่วงคาบอุปติซ้า 13 ปี และมีโอกาสเกิด 80 % และมีค่า 115 แกล สำหรับในช่วงคาบอุปติซ้า 90 ปี และมีโอกาสเกิด 20 % นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคาบอุปติซ้า 680 ปี พบว่าค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินของจังหวัดเชียงใหม่มีค่า 120 แกล กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของโครงสร้าง 50 ปี ความน่าจะเป็นไปได้ของการเกิดอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินเท่ากับ 120 แกล

6) ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (2548) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหวสำหรับกรุงเทพมหานครและบริเวณเขต 2 ของประเทศไทย โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราเร่งที่ผิวดินในเขตต่างๆของ Uniform Building Code ผลจาก

การศึกษานั้น ได้ค่าความสัมพันธ์ความเข้มข้นเท่ากับ 0.15 สำหรับเขต 1 และ 0.25 สำหรับเขต 2 ส่วนบริเวณที่ใกล้เคียงกับแนวถนนต่างๆได้แนะนำให้ใช้ค่าเท่ากับ 0.38 ตาม UBC รวมทั้งพิจารณาเรื่องความเหนียวเป็นพิเศษในการออกแบบด้วย

7) กรุง อังคนาพร (2535) ได้ศึกษาผลการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวต่ออาคารในภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทย ผลการศึกษาสรุปได้ค่าสัมพันธ์ความเข้มของแผ่นดินไหวสำหรับพื้นที่ดังกล่าวเท่ากับ 0.27 ยกเว้นอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรีได้ค่าเท่ากับ 0.31 และพบว่าค่าอัตราส่วนความเหนียวสำหรับอาคารที่ศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 4 ถึง 9 นอกจากนี้ผลการวิจัยยังได้ความสัมพันธ์สเปกตรัมการตอบสนองในช่วงฮิสทรีซิสสำหรับบริเวณพื้นที่ดังกล่าวอีกด้วย

8) เป็นหนึ่ง วานิชชัย และ อาศด ลิขาน โดโน (2537) ได้เสนอแผนที่ความเสี่ยงภัยของประเทศไทย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ของ Cornell ในการนี้ได้ใช้แบบจำลองการลดลงของการสั่นไหว (Attenuation Model) ของ Esteva ในการวิเคราะห์ ผลของการวิจัยได้แสดงรูปแผนที่อัตราความเร่งสูงสุดที่ผิวดินด้วย ซึ่งค่าอัตราความเร่งสูงสุดที่ผิวดินบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยมีค่าประมาณ 0.275 g (g คืออัตราความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 เมตร/วินาทียกกำลังสอง) สำหรับโอกาสความเป็นไปได้ของการเกิดอัตราเร่งเกินค่าดังกล่าวเท่ากับ 10% และในคาบเวลาของโครงสร้าง 50 ปี

งานวิจัยที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันของประเทศไทยส่วนใหญ่ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหวแล้วทำการกำหนดเขตความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว กับการคำนวณออกแบบแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวที่มีพื้นฐานมาจากมาตรฐานการออกแบบเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวของต่างประเทศซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น มาตรฐาน Uniform Building Code เป็นต้น แต่ยังมีได้มีการร่างหรือกำหนดมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย

9) ชิวสุ ปันวละ (2553) การศึกษาเปรียบเทียบแรงเฉือนทั้งหมดที่ฐานสำหรับอาคารที่ต้านทานแรงแผ่นดินไหวและแรงลม ในการวิเคราะห์ใช้วิธีแรงสถิตย์เทียบเท่า ตามกฎกระทรวงฉบับปี พ.ศ.2550 สำหรับแรงแผ่นดินไหว และข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2522 สำหรับแรงลม อาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีแปลน โครงสร้างแบบเดียวกันแต่ที่มี

ความสูงต่างกันที่ 5, 10, 15 และ 20 ชั้น ในเขตกรุงเทพมหานครและเขต เชียงใหม่ ในการวิเคราะห์โครงสร้างได้พัฒนาโปรแกรม EQWI Analysis โดยใช้ Microsoft Visual Basic 6.0 ทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวและแรงลมสำหรับอาคารสูงมีค่ามากกว่าอาคารเตี้ย อาคารที่ตั้งอยู่บนสภาพชั้นดินอ่อนมีค่าค่าแรงเฉือนที่ฐานมากกว่าอาคารที่ตั้งอยู่บนสภาพชั้นหิน อาคารที่ศึกษาในแต่ละหลังนั้นจะมีค่าแรงเฉือนที่ฐานต่างกันอยู่ประมาณ 2.57 - 7.69 เปอร์เซ็นต์ และค่าแรงเฉือนที่ฐานที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวมากกว่าค่าที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงลมอยู่ประมาณ 57.09 – 632.88 เปอร์เซ็นต์

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

สำหรับงานวิจัยและพัฒนามาตรฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อรับแรงแผ่นดินไหวในต่างประเทศ อันได้แก่ มาตรฐานของ Uniform Building Code (UBC – 1994 และ UBC- 1997) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา และประเทศอื่น ๆ และมาตรฐาน New Zealand Loadings Standard (NZS 4203 : 1992) และ New Zealand Concrete Structure Standard (NZS 3101 : 1995) ซึ่งใช้กันใน ประเทศนิวซีแลนด์ เป็นต้น ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงตามข้อมูลการวิจัยและค้นคว้าที่เกิดขึ้น เพื่อพัฒนาการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กให้มีประสิทธิภาพในการรับแรงแผ่นดินไหวและมีความปลอดภัยที่เพียงพอ โดยงานวิจัยที่นำมาศึกษามีดังนี้

1) Robert Park (1994) ทำการทดสอบโครงสร้างด้วยแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวจำลองและทำการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้อง ณ มหาวิทยาลัยแคนเบอร์รา ประเทศนิวซีแลนด์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงมาตรฐาน NZS 3101 : 1982 ไปเป็น NZS 3101 : 1985 โดยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ

- ปริมาณเหล็กปลอกในเสาที่ต้องการเพื่อเพิ่มความเหนียว (Ductility) และความสามารถในการรับแรงเฉือนได้อย่างเพียงพอเมื่อเสาต้องรับแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

- กำลังของรอยต่อเสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ค่าแรงยึดเหนี่ยวและแรงเฉือนที่ต้องการเมื่อมีแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวกระทำ

- การใช้วัสดุที่มีกำลังสูงสำหรับ โครงสร้างที่ต้องรับแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

- การให้รายละเอียดจุดต่อ (Connection) ขององค์อาคาร
คอนกรีตหล่อสำเร็จที่มีความมั่นคงเพียงพอ เมื่อมีแรงเนื่องจาก
แผ่นดินไหวกระทำ

2) J.L. Humar , J.H. Rainer and J. Oleszkiewicz , (1995) เสนอ
บทความเกี่ยวกับรูปแบบของมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรง
แผ่นดินไหวที่เน้นเกี่ยวกับสมรรถนะของโครงสร้าง (Performance Based
Building Code) ซึ่งมีจุดประสงค์ที่จะควบคุมและกำหนดวิธีการวัดสมรรถนะ
ของอาคารหรือองค์อาคารให้อยู่ภายในวัตถุประสงค์ที่ต้องการซึ่งวัตถุประสงค์
ดังกล่าวได้แก่

- ความปลอดภัยในชีวิต คือมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตต่ำ
- ระบบบริการที่สำคัญต่อการช่วยชีวิตเช่น ระบบไฟฟ้า ระบบ
ประปา เป็นต้น สามารถใช้งานได้หลังจากแผ่นดินไหว
- หลังจากเกิดแผ่นดินไหวมีการกีดขวางการใช้งานโครงสร้าง
น้อยที่สุดหรือไม่มี
- การกำหนดระดับความสูญเสียทางเศรษฐกิจที่ยอมรับได้
- ถ้าเป็นสถานที่เก็บวัสดุอันตรายหรือเป็นพิษจะไม่อนุญาตให้มี
การรั่วไหลออกมาได้ หลังจากเกิดแผ่นดินไหว

3) Portland Cement Association , (1997 & 1998) ได้เสนอบทความที่
แสดงถึงประเด็นของข้อกำหนดในการออกแบบคำนวณแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว
ที่เปลี่ยนแปลงของมาตรฐาน UBC – 1997 ไปจากมาตรฐาน UBC – 1994 ซึ่ง
ได้แก่

- ค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบซึ่งเปลี่ยนจากค่าแรงที่ใช้ออกแบบ
ด้วยวิธีแรงวิธีหน่วยแรงใช้งาน เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีกำลัง
รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการรื้อนำหน้ากับบรรทุกที่กระทำต่อ
โครงสร้าง
- การแบ่งประเภทของชั้นดินที่เพิ่มจากเดิม 4 ประเภท เป็น 6
ประเภท
- การแนะนำสัมประสิทธิ์ไคล์แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวสำหรับ
เขตความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวที่ 4

- การเพิ่มข้อกำหนดสำหรับโครงสร้างที่ไม่ใช่อาคาร (Non – Building Structures) และองค์อาคารที่ไม่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง (Non – Structures Elements)

- การแนะนำวิธีการคำนวณแรงเฉือนที่ฐานอย่างง่าย สำหรับอาคารทุกประเภทที่สูงไม่เกิน 3 ชั้นไม่นับรวมชั้นดินซึ่งก่อสร้างด้วยโครงสร้างเบา หรืออาคารประเภทอื่น ๆ ที่สูงไม่เกิน 2 ชั้นไม่นับรวมชั้นใต้ดิน

- ข้อกำหนดเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปที่สอดคล้องกัน (Deformation Compatibility) ซึ่งได้รับการทบทวนหลังจากเกิดแผ่นดินไหวที่ Northbridge ในปี ค.ศ. 1994 ส่งผลให้ข้อกำหนดของการเคลื่อนที่ในแนวราบได้รับการปรับปรุงใหม่ และข้อกำหนดของการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ได้มีการขยายเนื้อหาขึ้น

- มีกำหนดสัมประสิทธิ์ Redundancy และใช้ในการรวมแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวในแนวดิ่งและแนวราบ ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างที่มี Redundancy น้อยจะมีค่าแรงที่คำนวณได้มีค่าสูงขึ้น

4) Mcintosh และ Pezeshk (1997) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อกำหนดการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหวในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อกำหนดของ NEHRP-91, NEHRP-94, ASCE 7-93, UBC-94, SEAOC-90 และ UBC-88 ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบในหัวข้อต่าง ๆ ได้แก่ วัตถุประสงค์ของแต่ละข้อกำหนด แรงกระทำด้านข้าง และได้พิจารณาถึงความแตกต่างของข้อกำหนดที่ใช้หน่วยแรงใช้งานและวิธีกำลังด้วย

5) Choi และ Chang (1992) ได้ทำการศึกษามาตรฐานการออกแบบอาคารสูงด้านทานแผ่นดินไหวสำหรับประเทศเกาหลี โดยศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานและคาบการสั่นธรรมชาติตามข้อกำหนด UBC 85, UBC 88 และ ATC3-06 เปรียบเทียบกับการออกแบบอาคารด้านทานแรงลม ผลการศึกษาทำให้ทราบความแตกต่างของแรงเฉือนที่ฐานระหว่างข้อกำหนดและแรงลมส่งผลต่ออาคารมากกว่าแรงแผ่นดินไหว

6) Warnitchai (2004) ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกลที่ส่งผลต่ออาคารในกรุงเทพฯ โดยศึกษาคาบการสั่นธรรมชาติของชั้น

ดินในกรุงเทพฯ คุณสมบัติทางด้านพลศาสตร์ของอัตราส่วนระหว่างคาบการสั่น
ธรรมชาติของอาคารกับความสูงของอาคาร และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับจุดต่อของ
โครงสร้างที่ไม่มีความเหนียวบริเวณเสากับคานและบริเวณพื้นกับเสา

7) Nikolaou และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ชั้นดิน (S)
สำหรับการออกแบบสะพานในเมืองนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ขอ
กำหนด NYCDOT (1998) กับ NYC (1995) มาทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมการ
ตอบสนองของอัตราเร่งชั้นดิน โดยใช้ค่าอุบัติซ้ำ 500 ปี และ 2,500 ปี ผลที่ได้
แสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมการตอบสนองที่แตกต่างกันระหว่างข้อกำหนดทั้งสอง
ที่คาบการสั่นธรรมชาติสั้น ๆ ($T < 0.5$ วินาที)

8) Jinqiao และ Gengshu (1995) ได้ทำการศึกษาถึงค่าความเหนียวของ
อาคาร โดยการใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตมาทำการวิเคราะห์อาคารด้วย
โครงสร้างระบบ SDOF ผลที่ได้จากการศึกษาทำให้ทราบถึงอัตราส่วน
ความหน่วงและความเหนียวที่มีผลต่อค่า R

9) Popov และคณะ (1995) ได้ศึกษาและพัฒนาการออกแบบอาคาร
ต้านทานแผ่นดินไหวโดยใช้ข้อมูลจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในเม็กซิโกมาสร้าง
แบบจำลองเพื่อทำการทดสอบหาความแข็งแรงของจุดต่อของโครงสร้าง ผลที่ได้
ทำให้ทราบค่าการเคลื่อนตัว ค่าความเหนียว และค่า Over Strength Factor