บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความนำ

แรงที่กระทำต่อโครงสร้างอาคาร โดยทั่วไปแล้วสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1. น้ำหนักบรรทุกแบบคงที่ (Dead loads)

2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live loads) ซึ่งสามารถแยกออกเป็น

2.1 น้ำหนักบรรทุกจรในแนวดิ่ง (Vertical live loads) ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกที่ขึ้นกับสภาพการใช้งานของอาคาร เช่น น้ำหนักบรรทุกหลังคาคอนกรีต เท่ากับ 100 กก./ตร. ม. เป็นต้น

2.2 น้ำหนักบรรทุกจรในแนวราบ (Lateral live loads) โดยมากมักเป็นน้ำหนักบรรทุกจรที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แรงลม แผ่นดินไหว คลื่นชายฝั่งทะเล เป็นต้น ซึ่งเป็นแรงที่แปรผันตามเวลาและไม่สามารถคาดการณ์ได้

ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจรในแนวราบ เช่น แรงลม หรือ แรง-แผ่นดินไหวสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1. การวิเคราะห์ทางสถิตยศาสตร์ (Static analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยพิจารณาแรงลมหรือแรงแผ่นดินไหวให้เป็นแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent static force) กระทำต่อโครงสร้าง วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายต่อการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ (Dynamic analysis) เป็นวิเคราะห์โดยพิจารณาว่าแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแปรผันตามเวลา ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แบบนี้ได้แก่

2.1 การวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analysis)

2.2 การวิเคราะห์ตามช่วงเวลา (Time integration analysis)

วิธีการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์นี้ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลาค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์แบบสถิตยศาสตร์ แต่ก็ให้ผลที่ละเอียดมากกว่า

ในการออกแบบโครงสร้าง มีขั้นตอนการออกแบบโดยทั่วไปดังนี้

1. การออกแบบเบื้องต้น เป็นการออกแบบเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง หลังจากการออกแบบเบื้องต้น จะได้ค่าสติฟเนสและมวลของโครงสร้าง

2. หลังจากการออกแบบเบื้องต้น จะนำโครงสร้างที่ได้จากการออกแบบเบื้องต้น นำมาวิเคราะห์ เพื่อรับแรงด้านข้าง (Lateral forces) เช่น แรงลม หรือแรงแผ่นดินไหว ซึ่งนิยมพิจารณาในรูปแรงสถิตเทียบเท่า (Equivalent static force) โดยพิจารณาค่าการเคลื่อนที่ของโครงสร้างชั้นบนสุดไม่ให้เกินค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์แบบแรงสถิตเทียบเท่าเหมาะกับโครงสร้างที่ไม่สูงมากนักถ้าโครงสร้างมีความสูงมากอาจต้องวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์

3. การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ ในการวิเคราะห์แบบนี้ต้องพิจารณาค่ามวล ค่าสติฟเนส ลักษณะรูปร่างการสั่นไหวของโครงสร้าง (Mode shape) และ คาบธรรมชาติของการสั่นไหวของโครงสร้าง (Natural period) ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นคุณลักษณะเฉพาะของโครงสร้าง ในการออกแบบต้องพิจารณาค่าเหล่านี้ให้เหมาะสม ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีความยุ่งยากมากกว่าในการออกแบบข้อ 1 และ ข้อ 2

1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

Xiao (1982) ได้เสนอวิธีการหาการกระจายค่าสติฟเนสที่เหมาะสมของอาคารสูง ภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยแสดงถึงความสัมพันธ์ของการกระจายค่าสติฟเนสของโครงสร้าง ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์กับความสูงของโครงสร้างและแรงเฉือนของโครงสร้าง สมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว พิสูจน์จากทฤษฎีสเปกตรัม (Spectrum theory) และในการหาค่าที่เหมาะสมของการกระจายค่าสติฟเนสต้องประกอบไปด้วย เงื่อนไขที่จำเป็น (Necessary conditions) เพื่อที่ให้ได้ค่าการกระจายค่าสติฟเนสที่ต่ำที่สุด โดยใช้หลักการของ Calculus of variations และ Lagrange multiplier

Ohno และ Nishioka (1982) ได้เสนอวิธีการประมาณค่าความต้านทานแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้าง โดยใช้หลักการกระจายพลังงาน โดยใช้รูปแบบไม่เชิงเส้นของคอนกรีตเสริมเหล็ก 3 รูปแบบ ประกอบด้วย ไบลิเนียร์ (Bi-linear model) และดีเกรดิ้ง (Degrading model) 2 รูปแบบ ในการวิเคราะห์นี้ ใช้คลื่นแผ่นดินไหว 5 คลื่น จากการทดสอบพบว่า ค่าอัตราส่วนการสลายพลังงานพลาสติก (Plastic energy dissipation) ต่อพลังงานของแรงแผ่นดินไหว ขึ้นกับค่าความหน่วงของโครงสร้างและค่าพลาสติกสติฟเนส ซึ่งการใช้รูปแบบไม่เชิงเส้นทั้ง 3 แบบให้

ค่าการสลายพลังงานที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบไบลิเนียร์ที่มีรูปแบบง่ายกว่ารูปแบบดีเกรดิ้ง (Degrading model) สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย

Ohno และ Nishioka (1984) ได้ทำการทดสอบเรื่องการดูดซับพลังงานของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงกระทำซ้ำไปซ้ำมา หลาย ๆ รูปแบบจากการทดลองนี้ สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเราทราบค่าของขนาดหน้าตัดและคุณสมบัติของเหล็กเสริมแนวตั้งของเสาคอนกรีต เราสามารถหาค่าของการดูดซับพลังงานของโครงสร้าง (Energy absorption capacity of structural members) นั้นได้ โดยที่จำนวนรอบของแรงที่กระทำต่อเสาคอนกรีตเสริมไม่มีผลกระทบแต่อย่างใด

Ohno และ Nishioka (1985) ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของอาคาร 6 ชั้นที่เป็นโครงสร้างรับแรงเฉือน (Shear buildings) โดยที่โครงสร้างรับแรงเฉือนหมายถึง โครงสร้างที่คานมีความแข็งแกร่งมากกว่าเสา จึงทำให้การเสียรูปของโครงสร้างไม่มีการดัดตัวของคานเกิดขึ้น Ohno และ Nishioka ได้ใช้โครงสร้างรับแรงเฉือน ที่มีรูปแบบไม่เชิงเส้นแบบไบลิเนียร์ ภายใต้แรงกระทำแบบ Sinusoidal ซึ่งพบว่าค่าพลาสติกสติฟเนสของโครงสร้างสามารถหาได้จาก ค่าอัตราส่วนของค่าอิลาสโตพลาสติกคูณกับค่าอิลาสติกสติฟเนสของโครงสร้าง และพบว่าในสภาวะพลาสติก การเคลื่อนไหวแบบลักษณะรูปร่างการสั่นไหวพื้นฐาน (Fundamental mode shape) จะมีลักษณะเด่นกว่าการเคลื่อนไหวในแบบอื่น ๆ ในการตอบสนองต่อพลังงานของแรงภายนอก นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อกระจายอัตราส่วนพลังงานที่เข้าสู่ชั้นล่างของโครงสร้างต่อพลังงานทั้งหมดมากขึ้นเท่าไร ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่เข้าสู่โครงสร้างก็จะมีปริมาณลดลง

Ohno และ Nishioka (1986) ได้ศึกษาถึงการกระจายที่เหมาะสมระหว่างการกระจายพลังงานและ ค่าสติฟเนสของโครงสร้าง โดยใช้โครงสร้างรับแรงเฉือน (Shear buildings) 6 ชั้น รับแรงแผ่นดินไหว ซึ่ง Ohno และ Nishioka เสนอว่าควรให้อัตราส่วนการกระจายพลังงานที่เข้าสู่โครงสร้างชั้นใดๆ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนสติฟเนสของเสาชั้นนั้นต่อค่าสติฟเนสรวมของเสาของโครงสร้าง ซึ่งจะเป็นการออกแบบที่ประหยัดและปลอดภัยที่สุด โดยการใช้หลักการกระจายพลังงานจะได้ลักษณะรูปร่างการสั่นไหว จากนั้นจะหาค่าสติฟเนสของโครงสร้าง แล้วเทียบอัตราส่วนการกระจายพลังงาน ที่กระจายเข้าสู่โครงสร้าง กับอัตราส่วนสติฟเนสของเสาว่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าไม่เท่ากันจะกระทำซ้ำจนค่าทั้ง 2 มีค่าเท่ากัน

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาของ Ohno และ Nishioka โครงสร้างที่ใช้เป็นโครงสร้างรับแรงเฉือน (Shear buildings) และแรงที่กระทำเป็นแรงแผ่นดินไหวเท่านั้น ซึ่งโครงสร้างรับแรงเฉือน ไม่ได้เป็นลักษณะของโครงสร้างโดยทั่วๆไปที่ใช้กันในประเทศไทย ที่ส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างข้อแข็ง จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะใช้วิธีของ Ohno และ Nishioka มาศึกษาเพิ่มเติมว่าสามารถ

นำมาใช้กับโครงสร้างข้อแข็งทั่วไปได้หรือไม่ และศึกษาเพิ่มเติมอีกว่าค่าสติฟเนสที่ได้จากการวิเคราะห์จะสามารถมาปรับแต่งใช้ในโครงสร้างในทางปฏิบัติได้หรือไม่ รวมทั้งศึกษาผลของแรงด้านข้างโดยรวมแรงลมด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงศึกษาการกระจายที่เหมาะสมของสติฟเนสของโครงสร้างข้อแข็งรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหว โดยใช้หลักการกระจายพลังงาน ซึ่งเสนอโดย Ohno และ Nishioka เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการตอบสนองของโครงสร้าง และศึกษาถึงวิธีการนำผลของสติฟเนสที่ได้มาใช้ในทางปฏิบัติ

1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

การวิจัยในงานวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. ศึกษาถึงลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่เหมาะสม (ลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่มีการเคลื่อนตัวของจุดสูงสุดของโครงสร้างที่น้อยที่สุดเมื่อการเคลื่อนตัวที่จุดล่างสุดเท่ากัน) ของโครงสร้างโดยใช้หลักการกระจายพลังงานแบบเชิงเส้นในรูปแบบต่าง ๆ

2. ศึกษาวิธีกำหนดค่าสติฟเนสของโครงสร้าง จากลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 1 ซึ่งค่าสติฟเนสที่ได้เรียกว่า ค่าสติฟเนสเหมาะสม และปรับแก้ค่าสติฟเนสของโครงสร้างเริ่มต้นโดยปรับที่ค่าสติฟเนสของเสาโดยให้ค่าสติฟเนสของคานคงที่ เพื่อหาค่าสติฟเนสของโครงสร้างในทางปฏิบัติ

3. เปรียบเทียบผลตอบสนองที่ชั้นบนสุดของโครงสร้างต่อแรงกระทำด้านข้าง (แรงลมและแรงแผ่นดินไหว) ของโครงสร้างเริ่มต้น โครงสร้างเหมาะสม และโครงสร้างทางปฏิบัติ เพื่อนำผลตอบสนองที่ได้มาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำ หลักการกระจายพลังงานมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างให้มีผลตอบสนองที่ดีขึ้น

1.4 สมมติฐานที่ใช้และขอบเขตการศึกษา

1. โครงสร้างที่ใช้ศึกษา มีลักษณะมวลเป็นมวลกระจุกตัว (Lumped mass)

2. ในการศึกษาผลตอบสนองของโครงสร้างจะศึกษาผลของลักษณะรูปร่างการสั่นไหวในลักษณะพื้นฐาน (Fundamental mode shape) เท่านั้น

3. โครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น โครงสร้างข้อแข็ง 2 มิติ เพื่อลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์

4. แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง เป็นแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

5. พิจารณาคุณสมบัติของโครงสร้างแบบเชิงเส้น (Linear) และ แบบไม่เชิงเส้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Nonlinear) โดยที่สภาพไม่เชิงเส้นเกิดขึ้น เมื่อเสาของโครงสร้างรับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดร่วมกันจนเกิดสภาพวิบัติในหน้าตัดของเสา โดยถือว่าสภาพวิบัติดังกล่าวเป็นจุดครากในเสา ทำให้โครงสร้างเกิดสภาพไม่เชิงเส้นขึ้น

6. ในการวิเคราะห์ไม่คิดถึงผลการยึดหดในแนวแกนและการเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงเฉือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย