

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในกรุงเทพมหานคร ทั้งหมด 50 อาคาร ซึ่งเป็นอาคารที่มีลักษณะการใช้งานและระบบโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยมีขนาดตั้งแต่ 5-54 ชั้น มีความสูง 20-210 เมตร ด้วยวิธีการตรวจวัดการสั่นไหวตามธรรมชาติ (Ambient Vibration) พบว่าคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์และพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ของอาคารทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ในรูปแบบค่าคาบธรรมชาติของอาคาร ได้แสดงความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของอาคาร 3 รูปแบบ คือ ความสูง จำนวนชั้น และอัตราส่วน ความสูงต่อความกว้าง โดยการวิเคราะห์ Regression ได้แสดงค่าคาบธรรมชาติพื้นฐาน ซึ่งเป็นค่าคาบธรรมชาติเฉลี่ย ( $T_R$ ) ที่ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลต่ำที่สุด (Best-Fit) แต่การนำไปประยุกต์ใช้กับมาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหว ควรให้ค่าคาบธรรมชาติต่ำกว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูล เป็นการประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตล่าง ( $T_L$ ) เพื่อให้การออกแบบมีความปลอดภัยสูงขึ้น (Conservative) แต่สำหรับข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบบางประเทศในเขตพื้นที่ที่มีผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวค่อนข้างน้อย ได้ยอมให้การประมาณค่าคาบธรรมชาติสูงกว่าค่าเฉลี่ย แต่ไม่เกินการประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตบน ( $T_U$ ) ดังนั้นในการศึกษาจึงได้แสดงเส้นสมการประมาณค่าคาบธรรมชาติทั้ง 3 รูปแบบ เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป นอกจากนี้ในการประมาณค่าคาบธรรมชาติได้วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์  $\beta$  ใน 2 รูปแบบ คือ แบบไม่มีเงื่อนไข ซึ่งเป็นเส้นสมการที่ให้ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Best-Fit) และแบบมีเงื่อนไข เพื่อความสะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้และเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่างประเทศได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยรายละเอียดสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาบธรรมชาติกับลักษณะทางกายภาพของอาคารแสดงได้ดังนี้

กรณีพิจารณาความสูง แบบไม่มีเงื่อนไข

$$T_U = 0.023H \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตบน}$$

$$T_R = 0.019H \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติการสั่นพื้นฐาน}$$

$$T_L = 0.016H \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตล่าง}$$

กรณีพิจารณาจำนวนชั้น แบบไม่มีเงื่อนไข

$$T_U = 0.063N^{1.08} \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตบน}$$

$$T_R = 0.051N^{1.08} \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติการสั่นพื้นฐาน}$$

$$T_R = 0.042N^{1.08} \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตล่าง}$$

กรณีพิจารณาจำนวนชั้น แบบมีเงื่อนไข ( $\beta = 1.10$ )

$$T_U = 0.059N^{1.10} \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตบน}$$

$$T_R = 0.048N^{1.10} \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติการสั่นพื้นฐาน}$$

$$T_R = 0.039N^{1.10} \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตล่าง}$$

กรณีพิจารณาจำนวนชั้น แบบมีเงื่อนไข ( $\beta = 1.0$ )

$$T_U = 0.078N \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตบน}$$

$$T_R = 0.063N \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติการสั่นพื้นฐาน}$$

$$T_R = 0.052N \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตล่าง}$$

กรณีพิจารณาอัตราส่วนของความสูงต่อความกว้างของอาคาร โดยการวิเคราะห์

Linear Regression

$$T_R = \frac{0.1H}{\sqrt{D}} \quad \text{สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติการสั่นพื้นฐาน}$$

2.เปรียบเทียบสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติที่ได้จากการศึกษาข้อมูลอาคารในกรุงเทพมหานครกับมาตรฐานต่างประเทศและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์เพื่อพัฒนาเป็นสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติ พบว่าข้อกำหนดในมาตรฐาน UBC1985 ที่กำหนด  $T = 0.1N$  และเป็นมาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทยในปัจจุบันมีค่าสูงกว่าสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติการสั่นพื้นฐาน แบบมีเงื่อนไข ( $\beta = 1.0$ )  $T_R = 0.063N$  ประมาณ 1.6 เท่า และมีค่าสูงกว่าสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติขอบเขตบนประมาณ 1.3 เท่า ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อกำหนด UBC1985 ที่ไม่สอดคล้องสำหรับการประมาณค่าคาบธรรมชาติของอาคารในกรุงเทพมหานคร เมื่อนำไปใช้ประมาณค่าแรงเฉือนที่ฐานของอาคารสำหรับการออกแบบอาคารด้านทานแผ่นดินไหว อาจทำให้ได้ค่าที่แตกต่างจากค่าที่อาจเกิดขึ้นจริง สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติกับความสูงของอาคาร พบว่ามีความแตกต่างกับมาตรฐานของต่างประเทศอย่างชัดเจน โดยข้อกำหนดตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่นมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับข้อมูลการศึกษานี้

มากที่สุด ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้แสดงถึงรูปแบบของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ เช่น ข้อกำหนดในการออกแบบ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะชั้นดิน และสภาพแวดล้อม เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่การตรวจวัดอาคารแบบ Ambient Vibration และอาคารที่สั่นไหวขณะเกิดแผ่นดินไหว พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยมีปัจจัยหลักที่มีผลต่อพฤติกรรมของอาคาร คือ ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว ข้อกำหนดในการออกแบบ และลักษณะของชั้นดิน ดังนั้นจากความแตกต่างที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์เพิ่มเติม เพื่อให้การประมาณค่าคาบธรรมชาติมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น สำหรับสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติสัมพันธ์กับอัตราส่วนความสูงกับความกว้างของอาคาร เป็นเพียงการวิเคราะห์แบบ Linear Regression เพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐาน UBC1985  $T = 0.09H/\sqrt{D}$  ซึ่งพบว่ามีความใกล้เคียงกับข้อมูลนี้ แต่ข้อมูลของอาคารมีการกระจายมาก และขนาดความกว้างของอาคารส่วนมากเป็นขนาดของชั้นบนสุดของอาคาร ซึ่งแตกต่างจากข้อกำหนด UBC1985 ที่กำหนดพิจารณาความกว้างที่ฐานอาคาร ดังนั้นหากนำสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติไปประยุกต์ใช้ ควรที่จะใช้สมการประมาณค่าคาบที่สัมพันธ์กับจำนวนชั้นหรือความสูงของอาคารจะให้ค่าที่เหมาะสมมากกว่า

3. การศึกษาพฤติกรรมการไหวตัวของอาคาร สามารถจำแนกพฤติกรรมการไหวตัวได้ด้วยพารามิเตอร์ 2 แบบ คือ ค่า Modal Contribution Factor (MCF) สำหรับแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคาร และรูปแบบที่สองคือ อัตราส่วนระหว่างค่าคาบธรรมชาติที่รูปแบบการสั่นไหวที่ 1 ต่อรูปแบบการสั่นไหวที่ 2 ( $T_1/T_2$ ) จากการวิเคราะห์รูปร่างการสั่นไหวของอาคารจริงเปรียบเทียบกับ การสร้างแบบจำลองอย่างง่าย พบว่าอาคารเดี่ยวมีค่า MCF สำหรับแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานเป็นพฤติกรรมการไหวตัวแบบเนียน เมื่ออาคารมีความสูงมากขึ้นมีพฤติกรรมการไหวตัวอยู่ระหว่างแบบเนียนและแบบคัต สำหรับรูปแบบ  $T_1/T_2$  พบอาคารส่วนมากมีพฤติกรรมการไหวตัวแบบเนียนมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าอาคารที่มีค่าคาบธรรมชาติหรือค่าสติเฟนส์ด้านข้างของอาคารในแต่ละด้านใกล้เคียงกันจะส่งผลให้การเคลื่อนตัวของอาคารในแนวด้านข้างมีส่วนผสมของการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างในทิศทางรองมากกว่ากลุ่มอาคารอื่นๆ

4. จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวระยะไกล 2 ครั้ง ในปี พ.ศ. 2546 เป็นผลให้กลุ่มอาคารในกรุงเทพมหานครที่เป็นอาคารเดี่ยวประมาณ 10-20 ชั้น และกลุ่มอาคารสูงประมาณ 30 ชั้นขึ้นไป เกิดการสั่นไหวในระดับที่คนรู้สึกได้ถึงขั้นตกใจ จากการตรวจวัดบางอาคารที่มีรายงานการสั่นไหวพบว่าค่าคาบธรรมชาติในรูปแบบการสั่นไหวที่ 1 ของอาคารเดี่ยวมีค่าประมาณ 1 วินาทีต่อรอบ และอาคารสูงมีค่าคาบธรรมชาติใกล้เคียง 1 วินาทีต่อรอบ ในรูปแบบการสั่นไหวที่ 2 ซึ่งได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาพบว่าค่าคาบการสั่นของดินอ่อนในกรุงเทพมหานครมีจังหวะการสั่นประมาณ 1 วินาทีต่อรอบ เป็นผลให้อาคารที่มีคาบการสั่นใกล้เคียงกับชั้นดินเกิดการสั่นไหวที่

รุนแรงกว่าอาคารอื่นๆ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การสั่นพ้อง (Resonance) จากผลการสั่นไหวในรูปแบบการสั่นไหวที่ 2 และเมื่อพิจารณาค่า MCF สำหรับแรงเฉือนที่ฐานของอาคารสูงพบว่ามีความประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการออกแบบอาคารต้านทานแรงแผ่นดินไหวสำหรับอาคารสูงจำเป็นต้องพิจารณาผลของการสั่นไหวในรูปแบบการสั่นไหวที่ 2 ด้วย เพื่อให้มีความถูกต้องและเหมาะสมมากที่สุด

5. จากการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวที่ฐานอาคาร พบว่าอาคารส่วนมากมีการเคลื่อนตัวที่ฐาน โดยมีความมากสำหรับอาคารเดี่ยว หรืออาคารที่มีค่าอัตราส่วนสตีเฟนสของอาคารต่อฐานรากสูง เมื่ออาคารมีความสูงมากขึ้นค่าการเคลื่อนตัวที่ฐานจะมีแนวโน้มลดลง สำหรับรูปแบบการสั่นไหวที่ 2 การเคลื่อนตัวที่ฐานอาคารมีค่าสูงกว่ารูปแบบที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสตีเฟนสของอาคารในรูปแบบการสั่นไหวที่สูงขึ้นมีค่ามากกว่ารูปแบบที่ 1 จากผลการเคลื่อนตัวที่ฐานอาคาร แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของชั้นดินอ่อนที่มีผลต่อพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองอย่างง่าย เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเคลื่อนตัวที่ฐานอาคาร พบว่าเมื่ออัตราส่วนค่าสตีเฟนสของอาคารต่อฐานรากสูงขึ้นและการเคลื่อนตัวที่ฐานมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ค่าคาบธรรมชาติมีค่าสูงกว่าแบบจำลองที่มีฐานรากเป็นแบบยึดแน่น และค่าอัตราส่วน  $T_1/T_2$  สำหรับการเคลื่อนตัวที่ฐานมากขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นในการพัฒนาสูตรประมาณค่าคาบธรรมชาติของอาคารในกรุงเทพมหานครที่ตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อน จำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบของชั้นดินต่อพฤติกรรมของอาคารเพิ่มเติม