หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่แสดงในการวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์ซึ่งผู้วิจัยอื่นได้ทำการศึกษาไว้แล้ว ศึกษาถึงพฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างของโครงสร้างเมื่อโครงข้อแข็งหรือผนังรับแรงเฉือนเดี่ยว แปรขนาดตามความสูงหรือเมื่อคุณสมบัติของโครงอาคารมีค่าแปรเปลี่ยนไป และเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนตำแหน่งระดับอ้างอิง

3.1 ตัวอย่างที่ 1 โครงสร้างที่สมมาตร

ตัวอย่างนี้เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้กับวิธีแมคลีออดและเวบส์เตอร์ ศึกษาถึงผลลัพธ์เมื่อแปรเปลี่ยนจำนวนระดับอ้างอิงและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโครงข้อแข็งเมื่อมีขนาดเท่ากันตลอดความสูงและเมื่อมีการแปรขนาดตามความสูง

พิจารณารูปที่ 3.1 ก. แสดงแปลนพื้นชั้นทั่วไปของโครงสร้างซึ่งมีลักษณะสมมาตรทั้งทางรูปร่างและแรงกระทำด้านข้าง โครงอาคารสูง 10 ชั้น ประกอบด้วยผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวที่ปลายอาคารทั้งสองข้างและโครงข้อแข็ง 7 โครง เรียงอยู่ภายในระหว่างผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวทั้งสองนี้ โครงอาคารแต่ละตัววางห่างกันในแนวราบเท่ากับ 7.315 เมตร รูปที่ 3.1 ข. และ 3.1 ค. แสดงรูปตั้งของโครงข้อแข็งและผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวตามลำดับ โครงอาคารสูงทั้งหมดสูง 38.408 เมตร โดยชั้นที่ 1 และ 2 มีความสูง 4.572 เมตร ส่วนชั้นที่เหลือสูง 3.658 เมตร เท่ากันหมด แรงลมกระทำภายนอกมีค่าเท่ากับ 26.134 กิโลนิวตันต่อชั้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นขององค์อาคารมีค่าเท่ากับ 2.11×10^6 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ตารางที่ 3.1 แสดงค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของคาน เสาและค่าความแข็งแกร่งของการเฉือนเทียบเท่า (GA) ตลอดความสูงของโครงข้อแข็ง สำหรับค่าความแข็งแกร่งของการดัด (EI_s) มีค่าเท่ากับ 1.635×10^8 กิโลนิวตัน-ตารางเมตร และได้แสดงขนาดของชิ้นส่วนในองค์อาคารที่ใช้ในวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 3.2

การเปรียบเทียบค่าระยะเอนที่จุดยอดสุดและค่าโมเมนต์ที่ฐานของผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวระหว่างวิธีแมคลีออดและวิธีวิเคราะห์ทั้ง 4 วิธี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 พบว่าค่าระยะเอนที่จุดยอดสุดโดยวิธีแมคลีออดและวิธีวิเคราะห์ ก. มีค่าเท่ากับ 0.475×10^{-2} ม. และ 0.525×10^{-2} ม. ตามลำดับ ซึ่งให้ผลแตกต่างกันเท่ากับ 10.5 เปอรเซ็นต์ ในขณะที่ค่าโมเมนต์ที่ฐานมีค่าเท่ากับ 2415 ตัน-เมตร และ 2187 ตัน-เมตร ตามลำดับ ซึ่งให้ผลแตกต่างกันเท่ากับ 9.4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวิธีวิเคราะห์ ง. จะให้ค่าระยะเอนและค่าโมเมนต์น้อยลง เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ ข.

การเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนในโครงข้อแข็ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 ซึ่งจะพบว่าวิธีแมคลีออดให้ค่าแรงเฉือนตลอดความสูงของโครงข้อแข็งมีค่าคงที่เท่ากับ 1.407 ตัน ในขณะที่วิธีเวบส์เตอร์ และวิธีวิเคราะห์ ก. ให้ค่าแรงเฉือนในรูปลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยค่าแรงเฉือนที่มากสุดมีค่าเท่ากับ 1.801 ตัน และ 2.083 ตัน ตามลำดับ ซึ่งวิธีวิเคราะห์ ก. จะให้ค่ามากกว่า 15.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิธีวิเคราะห์ ง. ให้ค่ามากที่สุดที่ชั้นบนสุดมีค่าเท่ากับ 2.286 ตัน และลดลงมาตลอดความสูง รูปที่ 3.2 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนในโครงข้อแข็งตลอดความสูง

การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวในตารางที่ 3.5 ซึ่งจะพบว่า พบว่าโมเมนต์โดยวิธีแมคลีออดและวิธีวิเคราะห์ ก, ข, ค และ ง ให้ค่าใกล้เคียงกันตลอดความสูง รูปที่ 3.3 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าโมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวตลอดความสูง

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ ก, ข และ ค ดังแสดงในตารางที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 พบว่าการกำหนดจำนวนระดับอ้างอิงเป็น 3, 4 และ 6 จะมีค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ตลอดความสูงเกือบเท่ากัน ซึ่งอาจแสดงว่า ผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือได้โดยไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ โดยการเพิ่มจำนวนระดับอ้างอิงต่อไปอีก

ในตารางที่ 3.3 วิธีแมคลีออดให้ค่าแรงเฉือนต่างจากวิธีเวบส์เตอร์และวิธีวิเคราะห์ ก. มาก ซึ่งจะมีผลทำให้โมเมนต์ในคานและเสาของโครงข้อแข็งมีค่าผิดไปมากเช่นกัน ดังนั้นวิธีแมคลีออดจึงเหมาะสมเพียงเมื่อโครงสร้างมีผนังรับแรงเฉือนเดี่ยว ซึ่งมีค่าความแข็งแกร่งสูงมาก ๆ เมื่อเทียบกับโครงข้อแข็ง

3.2 ตัวอย่างที่ 2 โครงสร้างที่ไม่สมมาตร

ตัวอย่างนี้เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโครงสร้างที่มีลักษณะไม่สมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 จำนวน ระยะห่างและคุณสมบัติทั้งหมดของโครงอาคารเช่นเดียวกับในตัวอย่างที่ 1 เพียงแต่สลับตำแหน่งของโครงข้อแข็งตัวที่ 5 กับผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวตัวที่ 2 และใช้ค่า GA ที่ชั้น 5 ของโครงอาคารกับการใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 6 ในการศึกษาตัวอย่างนี้

การเปรียบเทียบค่าระยะเอนคงที่ ค่าการหมุนของพื้นในระนาบราบที่จุดยอดสุด และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าทั้งสองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.6 พบว่าโดยวิธีแบคลีออดเปรียบเทียบกับวิธีที่ใช้ในการวิจัย จะมีค่าระยะเอนคงที่เท่ากับ 2.24×10^{-3} ม. และ 2.50×10^{-3} ตามลำดับ มีผลแตกต่างกัน 11.6 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการหมุนของพื้นในระนาบราบเท่ากับ 0.125 เรเดียน และ 0.128 เรเดียน ตามลำดับ มีผลแตกต่างกัน 0.8 เปอร์เซ็นต์

การเปรียบเทียบค่าระยะเอนคงที่ของทุกโครงอาคาร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 พบว่าค่าระยะเอนจะมีค่าแตกต่างมากที่สุด ที่ผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวตัวที่ 1 เท่ากับ 11.6 เปอร์เซ็นต์ และจะมีค่าแตกต่างน้อยที่สุดที่โครงข้อแข็งตัวที่ 7 เท่ากับ 3.5 เปอร์เซ็นต์

การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ของผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวตัวที่ 2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 ซึ่งจะพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยค่าโมเมนต์ที่ฐานของผนังจะมีค่าแตกต่างกันเพียง 2.1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น รูปที่ 3.5 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นตลอดความสูง และรูปที่ 3.6 แสดงค่าระยะเอนของโครงอาคารทุกตัวตลอดความสูง ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าโครงสร้างนี้มีค่าความแข็งแกร่งของผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวสูงกว่าโครงข้อแข็งพอควร เนื่องจากลักษณะการเอนค่อนข้างที่จะเป็นแบบการดัด ทั้งนี้อาจพิจารณาได้ในอีกลักษณะหนึ่งจากรูปที่ 3.5 ซึ่งที่ชั้น 9 และ 10 ค่าโมเมนต์มีค่าเป็นลบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายใต้แรงกระทำด้านข้างทั้งโครงข้อแข็งและผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวต่างก็ช่วยกันรับแรง

3.3 ตัวอย่างที่ 3 โครงสร้างที่สมมาตรและประกอบด้วยผนังรับแรงเฉือนคู่

ตัวอย่างนี้เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยโครงข้อแข็ง ผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวและคู่ รูปที่ 3.7 แสดงแปลนพื้นชั้นทั่วไปของโครงอาคารซึ่งมีลักษณะสมมาตร ประกอบด้วยโครงข้อแข็ง 4 โครง ผนังรับแรงเฉือนเดี่ยว 2 โครง และผนังรับแรงเฉือนคู่ 1 โครง มีความสูงทั้งหมดเท่ากับ 60 เมตร จำนวนชั้นเท่ากับ 20 ชั้น สูงชั้นละ

3.0 ม. รับแรงกระทำด้านข้าง 0.1 ตันต่อตารางเมตร และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นขององค์อาคารเท่ากับ 2.0×10^6 ตันต่อตารางเมตร รูปที่ 3.8 ก และ ข แสดงรูปตั้งของโครงอาคารทั้ง 3 ชนิด คุณสมบัติต่าง ๆ ขององค์อาคาร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.9

การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการวิเคราะห์โดยวิธีเอกเซาว์และวิธีวิเคราะห์ในเล่มนี้และวิทยานิพนธ์นี้ แสดงไว้ในตารางที่ 3.10 พบว่าค่าต่างๆโดยทั่วไปให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดยมีผลต่างมากที่สุดไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ ยกเว้นค่าแรงเฉือนสูงสุดในคานเชื่อม ซึ่งให้ค่าต่างกันประมาณ 15 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากความผิดพลาดในการอ่านกราฟก็เป็นได้

3.4 <u>ตัวอย่างที่ 4</u> โครงสร้างที่สมมาตรและประกอบด้วยผนังรับแรงเฉือนคู่

เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์เมื่อใช้ระดับอ้างอิงเปลี่ยนไป โดยวิธีวิเคราะห์ ก. ได้ใช้ข้อมูลเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์ ก. ในตัวอย่างที่ 1 ตารางที่ 3.11 แสดงระดับอ้างอิงของวิธีวิเคราะห์ ก, ข, ค และ ง โดยวิธีวิเคราะห์ ข, ค และ ง กำหนดให้มีตำแหน่งระดับอ้างอิงที่จุดยอดสุดเช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ ก. ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ กำหนดให้อยู่ที่ระดับชั้นที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกับระดับอ้างอิงในวิธีวิเคราะห์ ก. โดยการสลับระดับอ้างอิงแปรเปลี่ยนไป

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าต่างๆซึ่งเกิดขึ้นในโครงอาคาร แสดงไว้ในตารางที่ 3.12 จะพบว่าค่าต่าง ๆ โดยทั่วไปผิดพลาดไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นค่าแรงเฉือนที่จุดยอดสุดในโครงข้อแข็ง ซึ่งผิดพลาดสูงสุด 27.9 เปอร์เซนต์ (วิธีวิเคราะห์ ข. เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ ก.) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ค่าแรงเฉือนที่ระดับชั้นทั่ว ๆ ไป มีความผิดพลาดไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ แสดงว่าการแปรเปลี่ยนระดับอ้างอิงให้อยู่ที่ระดับชั้นซึ่งใกล้เคียงกับการแบ่งระดับอ้างอิงเท่า ๆ กัน มีผลกระทบต่อผลลัพธ์เพียงเล็กน้อย

อนึ่งในตัวอย่างนี้ ดูการแสดงข้อมูลและการแสดงผลลัพธ์ในภาคผนวก ง.

3.5 <u>ตัวอย่างที่ 5</u> เพื่อศึกษาถึงการแปรเปลี่ยนค่าของผลลัพธ์ เมื่อแปรค่าความแข็งแกร่งของโครงข้อแข็งหรือผนังรับแรงเฉือนเดี่ยว โดยวิธีวิเคราะห์ ก. ได้ใช้ข้อมูลเช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์ ง. ในตัวอย่างที่ 1 สำหรับวิธีวิเคราะห์อื่น ๆ ได้แสดงขนาดของชิ้นส่วนในโครงอาคาร ไว้ในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.14 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้ง 4 วิธี โดยวิธีวิเคราะห์ ก, ข, ค และ ง จะพบว่า ค่า GA และค่า EI_s เปลี่ยนไปจะมีผลทำให้ค่าแรงเฉือนที่จุดยอดสุดและค่าแรงเฉือนที่มากที่สุดในโครงข้อแข็งไปมากเกือบเท่าอัตราส่วนกับค่า GA ที่เปลี่ยนไป แต่จะมีผลต่อโมเมนต์ที่ฐานของผนังรับแรงเฉือนน้อยและผลต่อค่าระยะเอนจะมีค่าน้อยและมากตามลำดับ

การเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนในโครงข้อแข็งตลอดทุกชั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.15 และรูปที่ 3.9 พบว่าอัตราส่วนแรงเฉือนของวิธีวิเคราะห์ ข,ค และ ง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ ก. ตลอดทุกชั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดความสูงเมื่อค่า GA มากขึ้น แต่จะมีค่าลดลงตลอดความสูงเมื่อค่า GA ลดลงหรือค่า EI_s เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่มากนัก

การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวตลอดทุกชั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.16 และรูปที่ 3.10 พบว่าเมื่อค่า GA ลดลงหรือค่า EI_s เพิ่มขึ้น (วิธีวิเคราะห์ ค และ ง เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ ก) แนวโน้มเส้นกราฟจะมีลักษณะที่อาจแสดงถึงพฤติกรรมการรับแรงค้อนข้างเสมือนการเคลื่อนที่แบบตัด แต่ถ้าค่า GA เพิ่มขึ้นเรื่อย (วิธีวิเคราะห์ ข. เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ ก.) ลักษณะเส้นกราฟจะแสดงถึงการรับแรงร่วมกันระหว่างโครงข้อแข็งและผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวมากขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งจะสังเกตพบว่า ที่ชั้น 8 และชั้น 9 มีค่าโมเมนต์ในผนังเป็นลบ ทั้งนี้เนื่องจากแรงดึงกำลังที่จุดยอดสุดในผนังมีค่าสูงขึ้นนั่นเอง (ดูตารางที่ 3.11 ประกอบ)

การเปรียบเทียบสัดส่วนของค่าแรงเฉือนที่จุดยอดสุดต่อแรงกระทำทั้งหมดในโครงข้อแข็งและในผนังแรงเฉือน (เดี่ยว) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.17 และ 3.18 ตามลำดับ จะพบว่าในตัวอย่างนี้ผนังรับแรงเฉือนเดี่ยวรับแรงกระทำเกือบทั้งหมด ซึ่งมีผลทำให้สัดส่วนดังกล่าวที่แปรเปลี่ยนไป มีค่าแปรผันเกือบเท่ากับอัตราส่วนค่า GA หรือ ค่า EI_s ที่เปลี่ยนไป ซึ่งก็คือ อิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเฉือนที่จุดยอดสุด ดังได้กล่าวมาแล้วนั่นเอง