หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่แสดงในการวิจัยนี้ ผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ผู้วิจัยอื่นและโปรแกรมการวิเคราะห์ละเอียด ETABS โดยศึกษาถึงพฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างที่สมมาตรและไม่สมมาตรที่กระทำต่อโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีการแปรเปลี่ยนขนาดตามความสูง ผลของการแปรเปลี่ยนตำแหน่งระดับอ้างอิง

4.1 **ตัวอย่างที่ 1** โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการแปรเปลี่ยนขนาดตามความสูงรับแรงกระทำด้านข้างที่ก่อให้เกิดแรงบิดคงที่อย่างเดียว และมีขนาดระยะห่างช่วงเสาในแต่ละด้านเท่ากัน ตัวอย่างนี้เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยเมื่อมีการแปรเปลี่ยนจำนวนระดับอ้างอิงกับผลลัพธ์ของ **พูลสวัสดิ์** และ ETABS

พิจารณารูปที่ 17 ก. แสดงมิติและแปลนพื้นชั้นทั่วไปของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสูง 30 ชั้น รับแรงบิดคงที่ 162 kips-ft/ft ความสูงระหว่างชั้น 12 ฟุตและระยะห่างระหว่างช่วงเสาทั้งสองด้าน 12 ฟุต ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของชิ้นส่วนที่มีการแปรเปลี่ยนขนาดตามความสูงที่ทุกๆ 10 ชั้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสของการเฉือนเท่ากับ $5x10^5$ kips/ft^2 และ $2.07x10^5$ kips/ft^2 ตามลำดับ ค่า Stiffness Factor และ Shear Lag Parameter แสดงในตารางที่ 3

โดยอาศัยวิธีการในภาคผนวก ก ทำให้สามารถจำลองโครงสร้างดิสครีตของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นกล่องเทียบเท่าออร์โธทรอปิคที่มี มิติและแปลนพื้นชั้นทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 17 ข. และมีความหนาของผนังเทียบเท่า โมดูลัสหยืดหยุ่นเทียบเท่าและโมดูลัสการเฉือนเทียบเท่าตามการแปรเปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนตามความสูงที่ทุกๆ 10 ชั้นของโครงสร้างดิสครีตเช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ต่างๆ ในรูปที่ 18 แสดงค่ามุมบิดที่ระดับชั้นต่างๆ โดยโปรแกรม ETABS, วิธีของพูลสวัสดิ์ และการวิจัยนี้ โดยการใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 2 และ 3 เท่านั้น เนื่องจากการใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 2 เป็นการจำลองแรงบิดกระทำภายนอกคงที่ ด้วยแรงบิดเดี่ยวที่จุดยอดสุดและแรงบิดคงที่เท่านั้น พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกับ

ผลลัพธ์ของ ETABS และ พูลสวัสดิ์ ต่อมาเพิ่มจำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 3 เปรียบเสมือนเพิ่มเทอมแรงกระทำรูปสามเหลี่ยมอีกหนึ่งเทอมจากการใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 2 พบว่าผลที่ได้ไม่แตกต่างจากการใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 2 จะเห็นได้ว่า การใช้จำนวนระดับอ้างอิงที่สอดคล้องกับลักษณะการกระจายแรงบิดภายนอก จะช่วยให้ค่าที่ดีและรวดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม เพื่อการเปรียบเทียบค่าต่างๆจะใช้ผลลัพธ์จากการใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 3 เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบค่ามุมบิดที่จุดยอดสุด ดังแสดงในตารางที่ 4 กับผลลัพธ์ของ ETABS พบว่าให้ค่าสูงกว่าค่าจริง 6 เปอร์เซ็นต์

ผลลัพธ์แรงในแนวแกนของเสาต้นมุม ดังแสดงในรูปที่ 19 พบว่าแรงในแนวแกนสูงสุดที่ชั้นล่างสุดมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จาก ETABS ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ และจะมีค่าผิดพลาดมากที่ชั้นบนสุด สำหรับการกระจายแรงในแนวแกนของเสาภายในทั้งสองด้าน ดังแดงในรูปที่ 21 จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายของฟังก์ชั่นการยืดหดในแนวแกนที่สมมติขึ้น ในลักษณะสมการเส้นตรง (สมการที่ 26) พบว่าค่าของแรงในแนวแกนตามความสูงของเสาภายในทั้งสองด้านที่ระดับชั้นต่อเนื่องกัน ค่าของแรงในแนวแกนที่ชั้นบนจะให้ค่าที่ถูกต้องกว่าชั้นล่าง และในชั้นเดียวกันเสาที่อยู่ตำแหน่งใกล้เสาต้นมุมจะให้ค่าที่ถูกต้องกว่าเสาต้นที่อยู่ห่างออกไป ค่าแรงในแนวแกนจะให้ผลดีที่ชั้นที่ 1-6 ทั้งนี้ค่าของแรงในแนวแกนจะผิดพลาดที่ชั้นบนสุดเช่นเดียวกัน

ผลลัพธ์ของแรงเฉือนในเสาและคานของทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 20 พบว่าการกระจายแรงเฉือนในเสาและคานของทั้งสองด้านประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด จะให้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของ ETABS และพูลสวัสดิ์ และจะให้ค่าผิดพลาดสูงที่เสาต้นมุม โดยที่ให้ค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จาก ETABS ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลลัพธ์ของโมเมนต์ดัดในเสาต้นมุม ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าค่าที่ได้ให้ผลดีพอสมควรแต่จะมีค่าผิดพลาดสูงที่ชั้นล่างสุด

จากค่าผิดพลาดต่างๆ สำหรับแรงในแนวแกนของทั้งสองด้านเนื่องจาก การให้การกระจายฟังก์ชั่นการยืดหดในแนวแกนเหมือนกันที่ทุกระดับชั้น โดยแท้จริงแล้วแรงในแนวแกนจะเปลี่ยนเครื่องหมายที่ชั้นบน และการกระจายแรงในแนวแกนในแต่ละด้านแตกต่างจากที่สมมติจึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น สำหรับแรงในแนวแกนที่เสาต้นมุม ขึ้นอยู่กับการสมมติฟังก์ชั่นการยืดหดได้ถูกต้องเพียงใด รวมทั้งฟังก์ชั่นมุมบิดที่สมมติขึ้นไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของแรงเฉือนที่จุดยอดสุด กล่าวคือแรงเฉือนต้องมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดยอดสุด อีกประการหนึ่งควรเพิ่มเทอมของฟังก์ชั่นที่สุ่มมติให้มากขึ้นกว่าเดิม อย่างไรก็ตามการใช้ฟังก์ชั่นต่างๆดังที่แสดงไว้ก็ให้ค่าที่ถูกต้องเพียงพอสำหรับการออกแบบชั้นต้นได้

4.2 <u>ตัวอย่างที่ 2</u> โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการแปรเปลี่ยนขนาดตามความสูงรับแรงกระทำด้านข้างที่สมมาตร ตัวอย่างนี้เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยโดยใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 3 กับผลลัพธ์ของ สุธรรม, KHAN และค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ละเอียด

พิจารณารูปที่ 22 ก. แสดงมิติและแปลนพื้นชั้นทั่วไปของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสูง 50 ชั้น รับแรงกระทำคงที่ในแนวราบที่ผ่านศูนย์ 19 kips/ft ความสูงระหว่างชั้น 13 ฟุต และระยะห่างระหว่างช่วงเสาทั้งสองด้าน 12 ฟุต ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของชิ้นส่วน ตัวอย่างนี้ KHAN ไม่ได้กำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสของการเฉือน ดังนั้นกำหนดให้ใช้เท่ากับ $5x10^5$ kips/ft^2 และ $2.07x10^5$ kips/ft^2 ตามลำดับ ค่า Stiffness Factor ดังแสดงในตารางที่ 6 จากค่า Stiffness Factor และ Aspect Ratio สามารถหาค่า M_1, M_2, M_3 ได้เท่ากับ 1, 1.92, 0.52 ตามลำดับ

รูปที่ 22 ข. แสดงมิติและแปลนพื้นชั้นทั่วไปของกล่องเทียบเท่าออร์โธทรอปิค และมีความหนาของผนังเทียบเท่า โมดูลัสหยืดหยุ่นเทียบเท่าและโมดูลัสการเฉือนเทียบเท่าตามการแปรเปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนตามความสูงของโครงสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 7

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่ามุมบิดที่จุดยอดสุดของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการแปรเปลี่ยนจำนวนระดับอ้างอิง ไม่สามารถเปรียบเทียบกับการวิจัยของผู้วิจัยอื่นเนื่องจากการกำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสของการเฉือนไม่เท่ากันในการวิเคราะห์ ซึ่งการกำหนดค่าดังกล่าวไม่มีผลต่อผลลัพธ์ของแรงในแนวแกนและแรงเฉือนในเสาและคานในการวิเคราะห์

ผลลัพธ์แรงในแนวแกนของเสาต้นมุมและเสาภายในของด้านที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 8 การเปรียบเทียบจะใช้ค่าจำนวนระดับอ้างอิงที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเท่ากับ 3 โดยมีการกระจายแรงในแนวแกนในด้านที่ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 23 ซึ่งแสดงการกระจายของฟังก์ชั่นการยืดหดในแนวแกนในแต่ละด้านที่สมมติขึ้น (สมการที่ 21, 22) จากการเปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกนในตารางที่ 8 พบว่า แรงในแนวแกนสูงสุดที่ชั้นล่างสุดของเสาต้นมุมมีค่าต่ำกว่าค่าจริงไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการกระจายแรงในแนวแกนของเสาภายในด้านที่ 1 พบว่าค่าของแรงในแนวแกนที่ชั้นล่างสุดจะให้ค่าต่ำกว่าค่าจริงไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์

ผลลัพธ์ของแรงเฉือนในคานของด้านที่ 2 ที่รวมค่า 5 ชั้นแรก ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าการกระจายแรงเฉือนในคานบริเวณกึ่งกลางด้านที่ 2 ที่ให้ค่าสูงสุดจะให้ค่าผิดพลาดไม่เกินสูงกว่าค่าจริง 12 เปอร์เซ็นต์ และที่ตำแหน่งคานถัดไปทางขอบริมด้านที่ 2 จะให้ค่าผิดพลาดสูงกว่าค่าจริงไม่เกิน 17 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้ค่าผิดพลาดสืบเนื่องมาจากการใช้ฟังก์ชั่นที่สมมติขึ้น และการใช้ฟังก์ชั่นการกระจายการยืดหดเดียวกันตลอดความสูง ดังนั้นจึงไม่สามารถแทนฟังก์ชั่นการยืดหดจริงได้ที่ทุกตำแหน่งของเสา ทั้งนี้จะมีผลต่อแรงเฉือนในเสาและคานเนื่องจากแรงเฉือนส่วนหนึ่งจะได้จากการกระจายแรงในแนวแกนนี้ อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ก็เพียงพอที่จะใช้ในการออกแบบขั้นต้นได้

4.3 <u>ตัวอย่างที่ 3</u> โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมือนตัวอย่างที่ 2 แตกต่างตรงที่แปลงหน่วยของมิติ เป็นหน่วยเมตริกซ์ และลักษณะของแรงกระทำด้านข้างที่ก่อให้เกิดแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์ และแรงบิด ตัวอย่างนี้เป็นการแสดงผลลัพธ์ค่าต่างๆที่เกิดขึ้นในโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยไม่มีการเปรียบเทียบกับผู้วิจัยอื่น

พิจารณารูปที่ 24 ก. แสดงมิติและแปลนพื้นชั้นทั่วไปของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสูง 50 ชั้น รับแรงลมขนาดตามเทศบัญญัติกรุงเทพมหานครมีขนาดคงที่ 160 กก.ต่อ ตร.ม. และแรงบิดขนาด 16000 กก.-ม ต่อ ตร.ม โดยมีทิศทางของแรงกระทำดังแสดงในรูปที่ 24 ก. ความสูงระหว่างชั้น 3.90 ม. และระยะห่างระหว่างช่วงเสาทั้งสองด้าน 3.00 ม.ตารางที่ 10 แสดงคุณสมบัติต่างๆของชิ้นส่วน ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสของการเฉือนเท่ากับ 2.3×10^6 ตัน ต่อ ตร.ม. และ 0.92×10^6 ตัน ต่อ ตร.ม ตามลำดับ ค่า Stiffness Factor และ Shear Lag Parameter และ Aspect Ratio สามารถหาค่า M_1, M_2, M_3 ได้เท่ากับ 1.00, 1.92 และ 0.52 ตามลำดับ

พิจารณารูปที่ 24 ข. แสดงมิติและแปลนพื้นชั้นทั่วไปของกล่องเทียบเท่าออร์โธทรอปิค และมีความหนาของผนังเทียบเท่าในแต่ละด้าน โมดูลัสยืดหยุ่นเทียบเท่าและโมดูลัสการเฉือนเทียบเท่าตามการแปรเปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนตามความสูง ดังแสดงในตารางที่ 11

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์หาค่าต่างๆโดยการใช้จำนวนระดับอ้างอิงเท่ากับ 3 เท่านั้นมาแสดง เหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วในตัวอย่างที่ 1 ผลลัพธ์ของระยะเอนและมุมบิดดังแสดงในรูปที่ 25, 26 สำหรับผลลัพธ์ของแรงในแนวแกนของเสาในแต่ละด้านดังแสดงในรูปที่ 27-30 พบว่าด้านที่ 1 และ 3 แรงในแนวแกนจะมีขนาดเท่ากันแต่ต่างเครื่องหมาย เป็นผลสืบเนื่องจากแรงในแนวแกนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์และแรงบิดมีทิศทางสวนกัน ส่วนด้านที่ 2 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างด้านทั้งสอง การกระจายแรงในแนวแกนด้านที่ 4 จะให้ค่าที่สูงกว่าในด้านที่ 2 เนื่องจากการเสริมกันของแรงในแนวแกนในด้านที่ 4 และการหักล้างกันในด้านที่ 2 ทั้งนี้แรงในแนวแกนของทุกด้านจะมีการเปลี่ยนเครื่องหมายที่ชั้นบนๆ

สำหรับผลลัพธ์ของแรงเฉือนในเสาและคาน ดังแสดงในรูปที่ 31-34 พบว่าด้านที่ 1 และ 3 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเสาและคานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เนื่องจากผลของแรงบิด โดยมีขนาดเท่ากันแต่เครื่องหมายต่างกัน ส่วนด้านที่ 2 และ 4 แรงเฉือนในเสาและคานจะเกิดการหักล้างกันในด้านที่ 2 และแรงเฉือนในเสาและคานในด้านที่ 4 จะให้ค่าที่สูงกว่าในด้านที่ 2 เนื่องจากแรงเฉือนมีทิศทางเดียวกันเกิดการเสริมกัน

โดยแท้จริงแล้วการกระจายแรงในแนวแกนหรือแรงเฉือนในเสาและคานนั้นไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับสัดส่วนขนาดของแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์และแรงบิดที่มากระทำ ยังขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงที่มากระทำด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย