บทที่ 6

การวิเคราะห์กำลังขององค์อาคาร

การวิเคราะห์หาค่าทางสถิติของกำลังขององค์อาคารชนิดต่างๆสามาถทำได้สองวิธีคือ วิธีทางคณิตศาสตร์ และวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติ-คาร์โล ซึ่งกล่าวไว้ในข้อ 2.1.3 วิธีทางคณิตศาสตร์จะมีความเหมาะสมถ้ากำลังขององค์อาคารสามารถคำนวณได้โดยสมการที่มีผลเฉลยเป็นแบบปิด (closed form solution) คือสามารถหาค่าของกำลังได้ทันทีเช่นในกรณีของกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงเฉือน แต่ถ้ากำลังขององค์อาคารไม่สามารถคำนวณได้ทันทีและต้องคำนวณจากการแก้สมการที่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น ในกรณีของกำลังรับแรงของคานที่มีเหล็กเสริมรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดร่วมกับแรงอัด การหาค่าทางสถิติโดยการสุ่มแบบมอนติ-คาร์โล จะเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า

ในการวิเคราะห์นี้จะใช้วิธีของการสุ่มแบบมอนติ-คาร์โลเป็นหลัก โดยใช้จำนวนครั้งที่สุ่มเท่ากับ 300 และใช้วิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการสุ่ม

6.1 กำลังรับแรงดัด

จะทำการทดสอบหาค่าทางสถิติต่างๆคือ ค่าเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน กับหน้าตัดที่เลือกไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 โดยการแปรเปลี่ยนค่ากำลังวัสดุที่ใช้ อัตราส่วนของปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์ และขนาดขององค์อาคาร

หน้าตัดหมายเลข B1.x.x B2.x.x และ B3.x.x เป็นหน้าตัดที่ใช้กำลังวัสดุต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับ หน้าตัดหมายเลข Bx.1.x เป็นหน้าตัดที่มีขนาดเล็กกว่า Bx.2.x และหน้าตัดหมายเลข Bx.x.1 ถึง Bx.x.5 เป็นหน้าตัดที่แปรเปลี่ยนการใช้ปริมาณเหล็กเสริมจากต่ำจนถึงสูง ($0.015p_b$ - $0.097p_b$)

ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 2.7 และ 2.8 ที่อัตราส่วนของปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์มากกว่า 0.6 จะเริ่มมีการเกิดการวิบัติโดยแรงอัดเป็นหลักบ้างแล้ว และเมื่ออัตราส่วนของปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์มีค่าประมาณ 0.75 จะมีการวิบัติเนื่องจากกรณีดังกล่าวมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

6.1.1 <u>อัตราส่วนกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบ ($\bar{R}/R_n$)</u>

จากการวิเคราะห์พบว่าค่า $\bar{R}/R_n$ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.05 ถึง 1.30 เมื่อใช้ปริมาณเหล็กเสริมน้อยกว่า 0.5 เท่าของปริมาณเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุลย์ และมีค่าอยู่ระหว่าง 1.00 ถึง 1.20 เมื่อปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้มากกว่า 0.5 เท่าของปริมาณเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุลย์

ปริมาณของเหล็กเสริมมีผลต่อค่า $\bar{R}/R_n$ มาก ถ้าอัตราส่วนระหว่างปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์มากขึ้น ค่า $\bar{R}/R_n$ จะมีค่าลดลง และอัตราการลดลงของค่า $\bar{R}/R_n$ จะมากขึ้นเรื่อยๆ

การใช้เหล็กเสริมและคอนกรีตกำลังสูงจะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ น้อยกว่าการใช้เหล็กเสริมและคอนกรีตกำลังต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกำลังเฉลี่ยของคอนกรีตกำลังสูงมีค่าน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ และอัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยของเหล็กเสริมต่อกำลังที่กำหนดมีค่าลดลงเมื่อเหล็กเสริมกำลังสูงขึ้น

ขนาดหน้าตัดที่ต่างกันเมื่อใช้กำลังวัสดุและปริมาณเหล็กเสริมเท่าๆกันจะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ ใกล้เคียงกัน

การก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ ต่ำกว่าการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม เนื่องจากขนาดขององค์อาคารในสภาพการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีความคลาดเคลื่อนในทางบวกมากกว่า ตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านล่างต่ำกว่าและตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนสูงกว่า ซึ่งส่งผลให้กำลังรับแรงดัดมีค่ามากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบ กำลังวัสดุ และปริมาณของเหล็กเสริม สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมแสดงไว้ในรูปที่ 6.1 และ 6.2

6.1.2 สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังรับแรงดัด (δ_R)

มีค่าอยู่ระหว่าง 0.11 ถึง 0.12 เมื่อใช้ปริมาณเหล็กเสริมเท่ากับ 0.5 เท่าของปริมาณเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุลย์ และจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.11 ถึง 0.14 เมื่อใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากหรือน้อยกว่านี้

ปริมาณของเหล็กเสริมมีผลต่อค่า δ_R มาก ถ้าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณของเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์มากขึ้น ในระยะแรกจะทำให้ค่า δ_R ลดลง และจะมีค่าต่ำสุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างปริมาณของเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณของเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์มีค่าประมาณ 0.4 จากนั้นค่า δ_R จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

การใช้คอนกรีตและเหล็กเสริมกำลังสูงจะทำให้ค่า δ_R น้อยกว่าการใช้คอนกรีตและเหล็กเสริมกำลังต่ำ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของกำลังคอนกรีตมีค่าคงที่แต่สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของกำลังเหล็กเสริมมีค่าลดลงเมื่อกำลังของเหล็กเสริมเพิ่มขึ้น

ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารไม่มีผลต่อค่าของ δ_R

การก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะทำให้ค่า δ_R น้อยกว่าการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมเล็กน้อย แต่ความแตกต่างนี้เห็นได้ไม่ชัดเจน การเปรียบเทียบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 6.5

ในคานที่มีเหล็กเสริมรับแรงอัด ถ้าอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงดัดที่รับโดยเหล็กเสริมรับแรงอัดต่อกำลังรับแรงดัดที่รับโดยคอนกรีตมีค่ามากขึ้น ค่า δ_R จะมีค่าลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของกำลังรับแรงดัด กำลังวัสดุ และปริมาณเหล็กเสริม สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมแสดงไว้ในรูปที่ 6.3 และ 6.4

6.2 กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด

จะทำการทดสอบหาค่าทางสถิติต่างๆคือ ค่าเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนกับหน้าตัดที่เลือกไว้ในตารางที่ 2.3 2.4 และ 2.5 โดยการแปรเปลี่ยนค่ากำลังวัสดุที่ใช้ อัตราส่วนของระยะเยื้องศูนย์ต่อระยะเยื้องศูนย์สมดุลย์ ขนาด และปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้

หน้าตัดหมายเลข C1.x.x และ C2.x.x เป็นหน้าตัดที่ใช้กำลังวัสดุต่ำกว่าหน้าตัดหมายเลข C3.x.x และ C4.x.x หน้าตัดหมายเลข C1.x.x และ C3.x.x เป็นหน้าตัดที่มีขนาดเล็กกว่าหน้าตัดหมายเลข C2.x.x และ C4.x.x หน้าตัดหมายเลข Cx.1.x Cx.2.x และ Cx.3.x เป็นหน้าตัดที่ใช้ปริมาณเหล็กเสริมในแนวยืนเท่ากับ 1.2% 3.3% และ 6.5% ตามลำดับ Cx.x.1 ถึง Cx.x.5 เป็นหน้าตัดที่แปรเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างระยะเยื้องศูนย์ต่อระยะเยื้องศูนย์สมดุลย์จากต่ำไปถึงสูง (0 - $1.3e_b$)

ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 2.9 ถึง 2.12

6.2.1 อัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบ ($\bar{R}/R_n$)

เมื่อปริมาณเหล็กเสริมมากขึ้น ค่า $\bar{R}/R_n$ จะมีค่ามากขึ้น การใช้เหล็กเสริมกำลังสูงและคอนกรีตกำลังสูงจะทำให้ค่า $\bar{R}/R_n$ ลดลง เนื่องจากค่าอัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยต่อกำลังที่กำหนดของเหล็กเสริมและคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อเหล็กเสริมและคอนกรีตมีกำลังมากขึ้น

ที่ระยะเยื้องศูนย์น้อยๆ ($e < 0.4e_b$) เสาขนาดใหญ่และเล็กจะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ เท่าๆกัน แต่เมื่อระยะเยื้องศูนย์มากขึ้น เสาขนาดใหญ่จะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ มากกว่าเสาขนาดเล็กมาก ทั้งนี้

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมในเสาขนาดเล็กมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับขนาดของเสา ความคลาดเคลื่อนนี้มีผลทำให้ความลึกประสิทธิผลลดลง กำลังรับโมเมนต์ที่ระยะเยื้องศูนย์มากๆจึงมีค่าลดลง

ที่ระยะเยื้องศูนย์น้อยๆ ($e < 0.4e_b$) ค่า $\bar{R}/R_n$ จะมีค่าคงที่หรือลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อระยะเยื้องศูนย์มากขึ้น แต่ที่ระยะเยื้องศูนย์ประมาณ $0.5e_b$ ถึง $0.7e_b$ ค่า $\bar{R}/R_n$ จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าต่ำที่สุดในช่วงระยะเยื้องศูนย์ $0.7e_b$ ถึง $1.0e_b$ จากนั้นมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

การก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ ไม่แตกต่างกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\bar{R}/R_n$ ปริมาณเหล็กเสริม และขนาดของเสา แสดงได้ดังรูปที่ 6.6 ถึง 6.10

6.2.2 <u>สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลัง (δ_R)</u>

การใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากขึ้น หรือใช้กำลังคอนกรีตและเหล็กเสริมมากขึ้น จะทำให้ค่า δ_R ลดลง เนื่องจากค่า δ_R ของกำลังคอนกรีตมีค่าคงที่ส่วนค่า δ_R ของกำลังเหล็กเสริมมีค่าลดลง

ที่ระยะเยื้องศูนย์น้อยๆ ($e < 0.4e_b$) และปริมาณเหล็กเสริมเท่าๆกันเสาขนาดใหญ่และเล็กจะให้ค่า δ_R เท่าๆกัน แต่เมื่อระยะเยื้องศูนย์มากขึ้น ค่า δ_R ของเสาขนาดเล็กจะมีค่ามากขึ้น ส่วนค่า δ_R ของเสาขนาดใหญ่จะมีค่าคงที่

การก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของค่า δ_R

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังเสา ปริมาณเหล็กเสริม และขนาดของเสา แสดงได้ดังรูปที่ 6.11 ถึง 6.14

6.3 กำลังรับแรงเฉือน

จะทำการทดสอบหาค่าทางสถิติต่างๆคือ ค่าเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน กับหน้าตัดที่เลือกไว้ในตารางที่ 2.6 โดยการแปรเปลี่ยนค่ากำลังวัสดุที่ใช้ อัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนโดยเหล็กเสริมต่อกำลังรับแรงเฉือนโดยคอนกรีต (v_s/v_c) และขนาดหน้าตัด โดยกำหนดให้ค่า a/d (shear span to depth ratio) เท่ากับ 1.1

หน้าตัดหมายเลข V1.x.x เป็นหน้าตัดที่ใช้กำลังวัสดุต่ำกว่าหน้าตัดหมายเลข V2.x.x หน้าตัดหมายเลข Vx.1.x เป็นหน้าตัดที่มีขนาดเล็กกว่าหน้าตัดหมายเลข Vx.2.x และหน้าตัดหมายเลข Vx.x.1 ถึง Vx.x.4 มีการแปรเปลี่ยนค่า v_s/v_c จากมากไปหาน้อย ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 2.9 ถึง 2.12

6.3.1 อัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบ ($\bar{R}/R_n$)

ค่า $\bar{R}/R_n$ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.1 ถึง 1.3 เมื่อใช้กำลังคอนกรีตและเหล็กเสริมเท่ากับ 200 และ 2400 กก./ซม.^{2} และมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 1.05 เมื่อใช้กำลังคอนกรีตและเหล็กเสริมเท่ากับ 280 และ 4000 กก./ซม.^{2}

ที่วัสดุกำลังต่ำ ค่า v_s/v_c มีผลต่อค่า $\bar{R}/R_n$ มาก เมื่อค่า v_s/v_c มากขึ้น จะทำให้ค่า $\bar{R}/R_n$ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่อัตราการเพิ่มนี้จะลดลงเมื่อค่า v_s/v_c มีค่ามากกว่า 3 ส่วนที่วัสดุกำลังสูง ค่า v_s/v_c จะมีผลต่อค่า $\bar{R}/R_n$ มากเมื่อ v_s/v_c มีค่าน้อยกว่า 1 หากเกินจากค่านี้แล้ว ค่า $\bar{R}/R_n$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การใช้เหล็กเสริมและคอนกรีตกำลังสูงจะทำให้ค่า $\bar{R}/R_n$ ลดลง เนื่องจากค่าอัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยต่อกำลังที่กำหนดของเหล็กเสริมและคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อเหล็กเสริมและคอนกรีตมีกำลังมากขึ้น

การก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ ไม่แตกต่างกันมาก โดยการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะให้ค่า $\bar{R}/R_n$ สูงกว่า ส่วนขนาดหน้าตัดไม่มีผลต่อค่า $\bar{R}/R_n$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\bar{R}/R_n$ กำลังวัสดุ อัตราส่วน v_s/v_c และขนาดหน้าตัดแสดงได้ดังรูปที่ 6.15 ถึง 6.17

6.3.2 <u>ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลัง (δ_R)</u>

ค่า δ_R มีค่าอยู่ระหว่าง 0.09 ถึง 0.12 ในกรณีที่ใช้กำลังคอนกรีตและเหล็กเสริมเท่ากับ 200 และ 2400 กก./ซม.^{2} และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.08 และ 0.11 สำหรับกรณีที่ใช้กำลังคอนกรีตและเหล็กเสริมเท่ากับ 280 และ 4000 กก./ซม.^{2}

เมื่อค่า v_s/v_c มีค่ามากขึ้น ค่า δ_R จะมีค่ามากขึ้น ที่กำลังวัสดุสูงกว่าจะให้ค่า δ_R ต่ำกว่า สำหรับหน้าตัดขนาดเล็กนั้น ในช่วงที่ใช้ค่า v_s/v_c น้อยกว่า 1.5 จะมีค่า δ_R ต่ำกว่าหน้าตัดขนาดใหญ่ แต่จะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อค่า v_s/v_c มีค่าสูงขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า δ_R กำลังวัสดุ อัตราส่วน v_s/v_c และขนาดหน้าตัดแสดงได้ดังรูปที่ 6.18 ถึง 6.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.4 <u>การเปรียบเทียบกำลังรับแรง</u>

จากการวิเคราะห์กำลังขององค์อาคารรับแรงดัด รับแรงอัด และรับแรงเฉือน จากข้อมูลที่รวบรวมได้ ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 6.1 - 6.3 จึงพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าจากการวิเคราะห์ของ Mirza และ MacGregor [9] ซึ่งอยู่ในรูปของค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังที่เกิดขึ้นจริงต่อกำลังที่คำนวณได้ในการออกแบบ ($\bar{R}_r/R_n$) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนหรือความไม่แน่นอนรวมของกำลัง (Ω_R) ซึ่งค่า $\bar{R}_r/R_n$ นี้เปรียบได้กับค่า $\bar{R}/R_n$ คูณด้วย

อัตราส่วนกำลัง ที่ได้ในงานวิจัยนี้

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทำได้ยาก เนื่องจากกำลังวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ของ Mirza และ MacGregor ต่างจากที่ศึกษาอยู่ในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้พยายามพิจารณาจากเส้นกราฟ ประกอบกับผลของกำลังวัสดุ แล้วประมาณค่าทางสถิติต่างๆ โดยใช้กำลังของวัสดุตามสภาพการก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.14

การเปรียบเทียบพบว่า ในองค์อาคารรับแรงดัด การใช้ปริมาณเหล็กเสริม (p/p_b) มากขึ้น ทำให้ค่า $\bar{R}_r/R_n$ ลดลง และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่ามากขึ้นในรูปแบบเดียวกัน แต่ค่า $\bar{R}/R_n$ ที่ได้ในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่า เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยของวัสดุต่อกำลังที่กำหนดมีค่าสูงกว่า ขนาดขององดค์อาคารมีความเบี่ยงเบนในทางบวกมากกว่า และความไม่แน่นอนรวมของกำลังวัสดุและขนาดองค์อาคารมีมากกว่า สำหรับในองค์อาคารรับแรงอัด การใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากขึ้นทำให้ $\bar{R}_r/R_n$ มีค่ามากขึ้น และ δ_R มีค่าลดลงในลักษณะเดียวกัน แต่ค่า $\bar{R}_r/R_n$ และ δ_R ที่ได้ในงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าด้วยสาเหตุอันเดียวกันกับองค์อาคารรับแรงดัด ส่วนในองค์อาคารรับแรงเฉือนจะให้ค่า $\bar{R}_r/R_n$ ใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มต่างกัน คือเมื่อ v_s/v_c มากขึ้น ผลการวิเคราะห์ของ Mirza และ MacGregor จะให้ค่า $\bar{R}_r/R_n$ ต่ำลง แต่ในงานวิจัยนี้กลับให้ค่าสูงขึ้น และค่า δ_R ที่ได้ในงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่า อาจมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความไม่แน่นอนรวมของกำลังวัสดุและขนาดขององค์อาคารที่ได้ในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่า หรืออาจเป็นเพราะการใช้ค่า a/d (shear span to depth ratio) ต่างกัน และการใช้แบบจำลองในการคำนวณกำลังรับแรงเฉือนที่ต่างกัน โดยที่ Mirza และ MacGregor ใช้แบบจำลองของ Zsutty ซึ่งให้ค่าความผิดพลาดในการทำนายกำลังเท่ากับ 0.11 แต่ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองของ Truss Analogy ซึ่งให้ความผิดพลาดในการทำนายกำลังเท่ากับ 0.164