บทที่ 3

การวัดน้ำหนักบรรทุกของค้ำยันระหว่างการก่อสร้าง

การเก็บข้อมูลจากสถานที่ก่อสร้าง ไม่สามารถวัดค่าของน้ำหนักที่แผ่นพื้นแบกรับได้โดยตรง จึงต้องทำการเก็บข้อมูลการยืดหดตัวของค้ำยันแทน โดยใช้วิธีการวัดความเครียดด้วยเกจวัดความเครียดเชิงกลแล้วจึงนำผลมาคำนวนเป็นน้ำหนักที่แบกรับโดยค้ำยันและแผ่นพื้นภายหลัง

3.1 ลักษณะโครงสร้าง

ในการวิเคราะห์หาน้ำหนักที่แบกรับโดยแผ่นพื้นและค้ำยัน ได้มีการไปเก็บข้อมูลจากสถานที่ก่อสร้างจริงสองแห่ง แห่งแรกคืออาคารปัญจภูมิ ซึ่งตั้งอยู่บนถนนสาธร สูง 22 ชั้น โดยมี 7 ชั้นแรกเป็นลานจอดรถ ออกแบบเป็นแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ความหนาของแผ่นพื้น 25 ซม. ความยาวระหว่างช่วงเสา 8.20 * 8.00 เมตร ใช้กำลังอัดของคอนกรีต 210 กก/ซม.^{2} ที่ 28 วัน น้ำหนักบรรทุกจร 400 กก/ม.^{2} ส่วนชั้นที่ 8 ถึงชั้นที่ 22 ใช้เป็นสำนักงานและออกแบบเป็นแผ่นพื้นสำเร็จรูป อาคารปัญจภูมิได้เริ่มทำการก่อสร้างเมื่อเดือนธันวาคม 2527 โดยทำการตอกเสาเข็มและทำการก่อสร้างฐานรากของอาคารจนเสร็จเรียบร้อยเมื่อปลายเดือนเมษายน 2528 แล้วจึงเริ่มทำการก่อสร้างแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้ระบบค้ำยัน 1 ชั้นในการก่อสร้างและมีอัตราการก่อสร้าง 14 วันต่อชั้น

รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณของแผ่นพื้นอาคารปัญจภูมิ ส่วนตารางที่ 3.1 แสดงแผนงานในการก่อสร้างแผ่นพื้นแต่ละชั้นของอาคารปัญจภูมิ โดยเริ่มทำการผูกเหล็กเสา ตั้งแบบหล่อคอนกรีตเสา เทคอนกรีตเสา จากนั้นตั้งค้ำยันรับท้องแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ตั้งแบบหล่อแผ่นพื้น ผูกเหล็กเสริมของแผ่นพื้นให้สอดคล้องกับแรงที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น และเทคอนกรีตแผ่นพื้นในวันที่ 14 ของแผนงานการก่อสร้าง แล้วเริ่มต้นแผนงานใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อก่อสร้างแผ่นพื้นชั้นถัดไป ส่วนการถอดค้ำยันใต้แผ่นพื้นชั้นที่หล่อเรียบร้อยแล้ว จะถอดค้ำยันออกเมื่อคอนกรีตแผ่นพื้น

ชั้นที่เพิ่งเทใหม่มีอายุ 12 วัน

อาคารหลังที่สองคืออาคารสิทธาคารซึ่งตั้งอยู่ที่ถนนสาธร เป็นอาคารแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความหนาของแผ่นพื้น 20 ซม. ความยาวระหว่างช่วงเสา 5.00 * 6.50 ม. และใช้กำลังอัดของคอนกรีต 240 กก/ซม^2 ที่ 28 วัน น้ำหนักบรรทุกจร 200 กก/ม^2 และใช้ค้ำยัน 4 ชั้นในการก่อสร้าง โดยมีอัตราการก่อสร้าง 7 วันต่อชั้น

รูปที่ 3.2 แสดงผังบริเวณของแผ่นพื้นอาคารสิทธาคาร ส่วนตารางที่ 3.2 แสดงแผนงานในการก่อสร้างแผ่นพื้นแต่ละชั้นของอาคารสิทธาคาร โดยเริ่มทำการผูกเหล็กเสา ตั้งแบบหล่อคอนกรีตเสา เทคอนกรีตเสา จากนั้นตั้งค้ำยันรับท้องแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ตั้งแบบหล่อแผ่นพื้น ผูกเหล็กเสริมของแผ่นพื้นให้สอดคล้องกับแรงที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น และเทคอนกรีตแผ่นพื้นในวันที่ 7 ของแผนงานการก่อสร้าง แล้วเริ่มต้นแผนงานใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อก่อสร้างแผ่นพื้นชั้นถัดไป ส่วนการถอดค้ำยันใต้แผ่นพื้นชั้นที่หล่อเรียบร้อยแล้ว จะถอดค้ำยันออกเมื่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่เพิ่งเทใหม่มีอายุ 5 วัน

3.2 วิธีการวัดความเครียดของค้ำยัน

ในการหาแรงในค้ำยันขณะการก่อสร้าง จะทำการเก็บข้อมูลการยืดหดตัวของค้ำยันแล้วนำมาคำนวนหาค่าความเครียดของค้ำยัน ซึ่งจะคำนวนได้จาก

$$\epsilon = (L_F - L_I)/L_I \qquad (3\text{-}1)$$

โดยที่ ϵ = ความเครียดของค้ำยัน

L_F = ความยาวเกจหลังเทคอนกรีตแผ่นพื้น

L_I = ความยาวเกจก่อนเทคอนกรีตแผ่นพื้น

ดังนั้นแรงในค้ำยันจะคำนวนได้จาก

$$P = \epsilon A E_p \qquad (3\text{-}2)$$

โดยที่ P = แรงในค้ำยัน

ϵ = ความเครียดของค้ำยัน

A = พื้นที่หน้าตัดของค้ำยัน

E_p = โมดูลัสยืดหยุ่นของค้ำยัน

วิธีการวัดค่าการยืดหดตัวของค้ำยันในระหว่างการก่อสร้าง จะใช้เกจชนิดเชิงกล (Machamical Strain Gauge) ที่มีความยาวเกจ 20 ซม. ก่อนการวัดค่าการยืดหดตัวของค้ำยัน จะทำการติดตั้งเม็ดกระดุม 3 คู่รอบค้ำยัน แต่ละคู่ของเม็ดกระดุมจะติดห่างกัน 20 ซม. โดยเม็ดกระดุมมีลักษณะคล้ายเม็ดกระดุมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. ที่จุดกึ่งกลางของเม็ดกระดุมมีรูเจาะเพื่อเป็นจุดวัดความยาวของเกจ

การติดตั้งเม็ดกระดุมที่ค้ำยัน เริ่มด้วยขัดบริเวณที่จะติดตั้งเม็ดกระดุมให้เรียบปราศจากรอยขรุขระ สนิม จากนั้นทำความสะอาดบริเวณดังกล่าวให้ปราศจากคราบน้ำมัน น้ำปูนซีเมนต์ ความสกปรก แล้วใช้กาวแห้งเร็วกำลังสูงมาติดเม็ดกระดุมกับค้ำยัน

การก่อสร้างอาคารปัญจภูมิได้ใช้ค้ำยันชั้นเดียวในการก่อสร้าง ดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลการยืดหดตัวของค้ำยัน 3 ชั้น คือก่อนและหลังการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยทำการเทคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่ 1, 2 และ 3 การเก็บข้อมูลการยืดหดตัวของค้ำยัน ได้กำหนดตำแหน่งของค้ำยันสำหรับติดตั้งเม็ดกระดุมเพื่อทำการบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะติดตั้งเม็ดกระดุมที่ค้ำยัน 1, 4, 13 และ 16 ส่วนค้ำยัน 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14 และ 15 จะใช้การเจาะรูที่ค้ำยันแทนการติดตั้งเม็ดกระดุม ส่วนอาคารสิทธาคารใช้ค้ำยัน 4 ชั้นในการก่อสร้าง จึงทำการเก็บข้อมูลการยืดหดตัวของค้ำยันชั้นที่ 12, 13 และ 14 โดยทำการเก็บข้อมูลก่อนและหลังการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่ 13, 14 และ 15 ตามลำดับ และตำแหน่งของค้ำยันที่ทำการเก็บข้อมูลได้ทำการเจาะรูที่ค้ำยันแทนการติดตั้งเม็ดกระดุม คือค้ำยัน 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 และ 21 ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.3 การเปรียบเทียบผลจากโครงสร้างจริงและการวิเคราะห์

3.3.1 ผลจากโครงสร้างจริง

ก. อาคารปัญจภูมิ

เมื่อทำการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่หนึ่ง น้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่หนึ่งรวมกับน้ำหนักค้ำยัน จะถ่ายน้ำหนักผ่านค้ำยันชั้นที่หนึ่งลงสู่ฐานรากทันที จากผลการวัดความเครียดและแรงในค้ำยันชั้นที่หนึ่ง พบว่าแรงในค้ำยันชั้นที่หนึ่งมีค่า 0.97 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน ดังนั้นฐานรากจะแบกรับน้ำหนักทั้งหมด เพราะแผ่นพื้นชั้นที่หนึ่งยังไม่สามารถแบกรับน้ำหนักได้อีก 12 วันต่อมาก็เริ่มทำการถอดค้ำยันชั้นที่หนึ่งออก ทำให้แผ่นพื้นชั้นที่หนึ่งต้องแบกรับน้ำหนักตัวเองเพียงอย่างเดียว มีค่า 1.00 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน เมื่อคอนกรีตแผ่นพื้นมีอายุ 12 วัน

ในการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่สอง น้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่สองรวมกับน้ำหนักค้ำยัน จะถ่ายน้ำหนักผ่านค้ำยันชั้นที่สองลงสู่แผ่นพื้นชั้นที่หนึ่งทันที จากผลการวัดความเครียดและแรงในค้ำยันชั้นที่สอง พบว่าแรงในค้ำยันชั้นที่สองมีค่า 0.87 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน ดังนั้นแผ่นพื้นชั้นที่หนึ่งจะต้องแบกรับน้ำหนักสะสมเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองและน้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่สองที่ถ่ายลงมา มีค่า 1.87 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน เมื่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่หนึ่งมีอายุ 14 วัน โดยที่แผ่นพื้นชั้นที่สองยังไม่สามารถแบกรับน้ำหนักได้ อีก 12 ต่อมาก็เริ่มทำการถอดค้ำยันชั้นที่สองออก ทำให้แผ่นพื้นชั้นที่หนึ่งและสองต้องแบกรับน้ำหนักตัวเองเพียงอย่างเดียว มีค่า 1.00 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน เมื่อคอนกรีตมีอายุ 26 และ12 วันตามลำดับ

ในการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่สาม น้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่สามรวมกับน้ำหนักค้ำยัน จะถ่ายน้ำหนักผ่านค้ำยันชั้นที่สามลงสู่แผ่นพื้นชั้นที่สองทันที จากผลการวัดความเครียดและแรงในค้ำยันชั้นที่สาม พบว่าแรงในค้ำยันชั้นที่สามมีค่า 0.95 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน ดังนั้นแผ่นพื้นชั้นที่สองจะต้องแบกรับน้ำหนักสะสมเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองและน้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่สามที่ถ่ายลงมา มีค่า 1.95 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน เมื่อคอนกรีตแผ่นพื้น

ชั้นที่สองมีอายุ 22 วัน โดยที่แผ่นพื้นชั้นที่สามยังไม่สามารถแบกรับน้ำหนักได้ อีก 12 วันต่อมาก็เริ่มทำการถอดค้ำยันชั้นที่สามออก ทำให้แผ่นพื้นชั้นที่สองและสามต้องแบกรับน้ำหนักตัวเองเพียงอย่างเดียว มีค่า 1.00 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน เมื่อคอนกรีตมีอายุ 34 และ 12 วัน ตามลำดับ

ข. อาคารสิทธาคาร

ในการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่สิบสาม น้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่สิบสามรวมกับน้ำหนักค้ำยัน จะถ่ายน้ำหนักผ่านค้ำยันลงสู่แผ่นพื้นชั้นที่สิบสอง, สิบเอ็ด, สิบและเก้าทันที จากผลการวัดความเครียดและแรงในค้ำยันชั้นที่สิบสอง พบว่าแรงในค้ำยันชั้นที่สิบสองมีค่า 1.07 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน และเมื่อทำการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่สิบสี่ น้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่สิบสี่รวมกับน้ำหนักค้ำยัน จะถ่ายน้ำหนักผ่านค้ำยันลงสู่แผ่นพื้นชั้นที่สิบสาม, สิบสอง, สิบเอ็ด และสิบทันที จากผลการวัดความเครียดและแรงในค้ำยันชั้นที่สิบสามและสิบสอง พบว่าแรงในค้ำยันชั้นที่สิบสามและสิบสองมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหล่อแผ่นพื้นชั้นที่สิบสี่มีค่า 0.74 และ 0.46 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน และเมื่อทำการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่สิบห้า น้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่สิบห้ารวมกับน้ำหนักค้ำยัน จะถ่ายน้ำหนักผ่านค้ำยันลงสู่แผ่นพื้นชั้นที่สิบสี่ สิบสาม สิบสองและสิบเอ็ดทันที จากผลการวัดความเครียดและแรงในค้ำยันชั้นที่สิบสี่ สิบสามและสิบสอง พบว่าแรงในค้ำยันชั้นที่สิบสี่ สิบสามและสิบสองเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหล่อแผ่นพื้นชั้นที่สิบห้ามีค่า 0.61, 0.40 และ 0.19 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยันตามลำดับ

3.3.2 ผลจากแบบจำลองโครงสร้าง

ก. อาคารปัญจภูมิ

ในการก่อสร้างแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ใช้การค้ำยันแผ่นพื้นที่เทใหม่เพียงชั้นเดียว ทำให้น้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นชั้นล่างจะแบกรับน้ำหนักสะสมเนื่องจากการเทแผ่นพื้นชั้นบนและน้ำหนักของตัวเอง มีค่า 2.00 เท่าของน้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน และจะมีค่าเท่ากันในการก่อสร้างแผ่นพื้นแต่ละชั้น ส่วนแผ่นพื้นชั้นล่างจะแบกรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากน้ำหนัก

ตัวเอง หลังจากการถอดค้ำยันเหนือแผ่นพื้นชั้นนั้นๆ แต่จากแบบจำลองโครงสร้างเมื่อคำนวณจากสัดส่วนระยะห่างระหว่างค้ำยันและช่วงเสาจะทำให้สัดส่วนของการถ่ายน้ำหนักลงเสาต่อน้ำหนักลงค้ำยัน 0.10 : 0.90 ดังนั้นจึงทำให้น้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงแผ่นพื้นจึงมีค่าเหลือเพียง 1.80 เท่าของ น้ำหนักแผ่นพื้นและค้ำยัน

ข. อาคารสิทธาคาร

จากการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้าง โดยใช้คุณสมบัติของอาคารสิทธาคาร ตามขั้นตอนการก่อสร้าง เมื่อคำนวณจากสัดส่วนระยะห่างระหว่างค้ำยันและช่วงเสาจากแบบจำลองโครงสร้าง พบว่าสัดส่วนของการถ่ายน้ำหนักลงเสาต่อน้ำหนักลงค้ำยัน 0.25 : 0.75 รูปที่ 3.5 แสดงน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อแผ่นพื้นและค้ำยันแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง จะเห็นได้ว่าน้ำหนักบรรทุกที่มากที่สุดที่กระทำต่อแผ่นพื้นจะกระทำต่อแผ่นพื้นชั้นที่ 4 และคอนกรีตแผ่นพื้นมีอายุ 28 วัน ในขั้นตอนการหล่อคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่ 8 มีค่า 1.64 เท่าของสัดส่วนน้ำหนักบรรทุก

3.3.3 ผลการเปรียบเทียบ

จากการเก็บข้อมูลความเครียดของค้ำยันแล้วนำมาคำนวณเป็นแรงที่ถ่ายลงค้ำยันในระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งแรงในค้ำยันแต่ละตำแหน่งก็มีค่าแตกต่างกันไป เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแรงในค้ำยันเปรียบเทียบกับแรงในค้ำยันที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองโครงสร้าง

ตารางที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบของแรงในค้ำยันจากการวัดข้อมูลและจากแบบจำลองโครงสร้างของอาคารปัญจภูมิ พบว่าเมื่อเทคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่หนึ่ง แรงของค้ำยันที่ได้จากการวัดมีค่ามากกว่า 8 % เมื่อเทคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่สอง แรงของค้ำยันที่ได้จากการวัดมีค่าน้อยกว่า 3 % ส่วนเมื่อเทคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่สาม แรงของค้ำยันที่ได้จากการวัดมีค่ามากกว่าจากแบบจำลองโครงสร้าง 5 % ดังนั้นผลที่ได้จากการวัดข้อมูลในสนามให้ค่าที่สอดคล้องกันมาก โดยมีค่าแตกต่างกันสูงสุดเพียงประมาณ 8 %

การเปรียบเทียบของแรงในค้ำยันจากการวัดและแบบจำลองโครงสร้างของอาคารสิทธาคาร ดังแสดงในตารางที่ 3.4 พบว่าเมื่อเทคอนกรีตแผ่นพื้นชั้นที่ 15 น้ำหนักของแผ่นพื้นชั้นที่ 15 จะกระจายลงสู่แผ่นพื้น เสา และค้ำยันในชั้นที่ต่ำกว่า โดยแรงในค้ำยันชั้นที่ 14 , 13 และ 12 มีค่า 0.61 , 0.40 และ 0.19 เท่า ส่วนผลที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างมีค่า 0.75 , 0.37 และ 0.19 เท่าตามลำดับ

จะเห็นว่าผลที่ได้จากการวัดในสนามจะมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการจำลองโครงสร้างถึง 20 % ที่ชั้นบนสุด และไม่เกิน 8 % ของชั้นอื่นๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย