บทที่ 3

ข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลต่างๆที่ถูกรวบรวมได้นั้นจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติต่างๆ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน ถ้าข้อมูลที่มีค่ากำหนด (Nominal Value) ค่าเดียวแต่มีค่าทางสถิติที่มาจากข้อมูลหลายๆแห่งก็จะทำการเฉลี่ยหาค่าทางสถิติที่เป็นตัวแทนของค่ากำหนดค่านั้น โดยถือว่าข้อมูลที่ได้จากสถานที่แต่ละแห่งมีน้ำหนักความสำคัญเท่าๆกันจึงไม่คำนึงถึงจำนวนข้อมูล

นอกจากนี้ค่าจากข้อมูลและค่าจริงอาจมีความแตกต่างกัน ถ้า x เป็นค่าจริง และ x_1 เป็นค่าจากข้อมูล ค่าทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$x = N_x x_1 \qquad (3.1)$$

โดยที่ N_x เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าที่เป็นจริงและค่าจากข้อมูล และมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม ค่าเฉลี่ยของ N_x เรียกว่าความเอนเอียง (Bias) และสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของ N_x เรียกว่าค่าผิดพลาดในการทำนาย (Prediction Error, Δ)

นำค่าทางสถิติที่ได้มาคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำหนด (X_n) และค่าต่างๆต่อไปนี้

1. ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}_E$)

โดยการเขียนกราฟระหว่างค่ากำหนดและค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละประเภท แล้วประมาณโดยใช้การถดถอย (Regression) เข้าช่วย หรือประมาณโดยใช้สมการ $\bar{X}_E = X_n + a$ โดยที่ a เป็นค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย

2. ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (δ)

โดยการเขียนกราฟระหว่างค่ากำหนดและค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนแล้วพยายามแทนความสัมพันธ์โดยประมาณด้วยเส้นกราฟ ถ้าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของข้อมูลสำหรับค่ากำหนดต่างๆมีค่าใกล้เคียงกันจะประมาณด้วยกราฟชนิดเส้นตรง แต่ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกันจะประมาณด้วยกราฟชนิดไฮเปอร์โบลา

3. ค่าความเอนเอียง ($\bar{B}$)

คือค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างค่าจริงและค่าจากข้อมูล ค่า ความเอนเอียงสำหรับข้อมูลประเภทขนาดหน้าตัดขององค์อาคารจะกำหนดให้เท่ากับ 1

4. ค่าผิดพลาดในการทำนาย (Δ)

เกิดจากความคลาดเคลื่อน 2 ชนิดคือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าจริงและค่าจากข้อมูลที่รวบรวมได้ไม่เท่ากัน (Δ_1) และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประมาณค่าเฉลี่ยโดยใช้สมการหรือเส้นกราฟ (Δ_2)

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าจริงและค่าจากข้อมูลไม่เท่ากันจะเกิดกับตัวแปรบางตัวเช่น กำลังของเหล็กเสริมที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะไม่เท่ากับกำลังของเหล็กเสริมจริง พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ใช้ไม่เท่ากับที่คำนวณได้ เป็นต้น

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประมาณค่าเฉลี่ยโดยใช้สมการหาได้จาก [6]

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum (\bar{X} - \bar{X}_E)^2 \qquad (3.2)$$

โดยที่

n = จำนวณจุดของข้อมูลที่ใช้หาสมการ

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่รวบรวมได้

$\bar{X}_E$ = ค่าเฉลี่ยจากการประมาณโดยใช้สมการ

ค่าผิดพลาดในการทำนาย (Δ_2) จะเท่ากับ

$$\Delta_2 = 6/\bar{X}_E \qquad (3.3)$$

5. ฟังก์ชันของความน่าจะเป็นของข้อมูล

พยายามแทนด้วยฟังก์ชันของการกระจายที่มีดังข้อ 2.2.2 ทดสอบความเหมาะสมโดยใช้การทดสอบไคแสควร์ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 5 %

3.1 กำลังที่จุดคลากของเหล็กเสริม

ข้อมูลได้จากโรงงานผลิตเหล็ก ประกอบด้วยเหล็กที่มีกำลังคลากกำหนดเป็น 2400 3000 และ 4000 กก./ซม.^{2} และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกัน ค่าทางสถิติต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1-3.4

ค่าเฉลี่ยของกำลังที่จุดคลากของเหล็กเสริมเกรด SR24 สูงกว่าค่ากำหนดถึง 44 % ส่วนเหล็กเสริมเกรด SD30 และ SD40 มีค่าเฉลี่ยของกำลังที่จุดคลากสูงกว่าค่ากำหนดประมาณ 31 % และ 15 % ตามลำดับ ในการวิเคราะห์โดยการถดถอยจะได้ค่าเฉลี่ยของกำลังที่จุดคลากของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ $X_n + (1762 - 0.286X_n)$ ซึ่งแสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.1

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังที่จุดคลากของเหล็กเสริมเกรด SD30 และ SD40 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนเหล็กเสริมเกรด SR24 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าเล็กน้อย ค่าสัมประ-

สิทธิ์ของความแปรปรวนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.04 และ 0.07 และสามารถประมาณให้มีค่าเท่ากับ $160/X_n$ แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.2

การทดสอบแรงดึงที่ทำกันในห้องปฏิบัติการจะให้ค่ากำลังที่จุดคลากสูงกว่าที่เป็นจริง เนื่องจากการทดสอบใช้ระยะเวลาสั้น Julian ได้ประมาณว่าผลการทดสอบจะได้กำลังที่จุดคลากสูงกว่าที่เป็นจริงประมาณ 5 - 10 เปอร์เซ็นต์ [8]

ดังนั้นค่าความเอนเอียง จะมีค่าประมาณ $(1/1.05 + 1/1.10)/2 = 0.93$

ค่าผิดพลาดในการทำนาย ประกอบด้วยสองส่วนคือความความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าเฉลี่ยจากการทดสอบและค่าเฉลี่ยที่เป็นจริงไม่เท่ากันและคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าเฉลี่ยด้วยเส้นกราฟ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าเฉลี่ยจากการทดสอบไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยที่เป็นจริงหาได้โดยการประมาณว่าค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยจริงและค่าเฉลี่ยจากข้อมูลอยู่ห่างกันเท่ากับ 2σ ดังนั้น

$$\Delta_1 = (0.93 - 1/1.10)/2 = 0.10$$

และความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าเฉลี่ยด้วยเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ $20/\bar{X}_E$

ผลการทดสอบแบบไคสแควร์แสดงได้ว่าการกระจายของกำลังของเหล็กเสริมสามารถเป็นได้ทั้งการกระจายแบบปกติ และการกระจายแบบล็อก-ปกติ

3.2 เส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

ได้ข้อมูลจากโรงงานผลิตเช่นเดียวกับข้อ 3.1 ค่าทางสถิติต่างๆแสดงไว้ดังตารางที่ 3.5-3.8

เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่าค่ากำหนดโดยเฉลี่ยประมาณ

0.004 ซม. เหล็กขนาดเล็กจะมีค่าความแตกต่างนี้น้อยกว่าเหล็กขนาดใหญ่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมชนิดเดียวกันจำนวน n เส้น จะมีค่าเท่ากับ = $n\pi(X_n - 0.004)^2/4$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมขนาดต่างๆมีค่าต่างกัน สำหรับเหล็กขนาดใหญ่จะมีค่ามากกว่าเหล็กขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนโดยสมมุติให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคงที่ก็ไม่ทำให้ค่าที่ได้ผิดไปมาก โดยประมาณให้มีค่าเท่ากับ = $0.011/X_n$ แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.3 และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมซึ่งคำนวณตามสมการที่ 2.17 จะเท่ากับ $0.022/X_n$ โดยที่ X_n เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่ใช้

ค่าความเอนเอียง ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมกำหนดให้เท่ากับ 1 พื้นที่หน้าตัดรวมของเหล็กเสริมที่ใช้ในองค์อาคารเกิดจากการรวมของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเส้นที่นำมาใช้ ซึ่งขนาดของเหล็กเส้นที่ผลิตนั้นเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดเหล็กเสริมนี้ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ใช้จริงจึงไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่คำนวณได้ ค่า ความเอนเอียง จะมีค่าไม่เท่ากับ 1 Mirza และ MacGregor [9] ได้ให้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ใช้จริงต่อพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่คำนวณได้ไว้เท่ากับ 1.01

ค่าความผิดพลาดในการทำนายของพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมประกอบด้วยสองส่วนคือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ใช้จริงและพื้นที่ที่คำนวณได้ไม่เท่ากัน และความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าเฉลี่ยด้วยเส้นกราฟ Mirza และ MacGregor [9] ได้ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่ใช้จริงและพื้นที่ที่คำนวณได้ไม่เท่ากันคือ $\Delta_1 = 0.04$ และจากข้อมูลที่ได้ ความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าเฉลี่ยด้วยเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ $\Delta_2 = 0.06/\bar{X}_E$

การทดสอบแบบไคสแควร์พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมมีการกระจายเป็นได้ทั้งแบบปกติและล็อก-ปกติ ในที่นี้จึงสมมติให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมมีการกระจายเป็นแบบปกติ

3.3 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

ข้อมูลได้จากการวัดกำลังของคอนกรีตที่โครงสร้างที่มีอายุของคอนกรีตเกินกว่า 28 วัน โดยใช้ Schmidt Hammer จุดที่ทำการวัดกำลังคือบริเวณ พื้น คาน และ เสา

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตในองค์อาคารประเภทต่างๆมีค่าไม่เท่ากัน และไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ในสถานที่ก่อสร้างบางแห่งกำลังอัดประลัยของคอนกรีตในเสามีแนวโน้มที่จะสูงกว่าในคาน แต่บางแห่งก็เป็นไปในทางตรงกันข้าม ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของกำลังอัดประลัยในเสามีค่าต่ำกว่าในคานเล็กน้อย ค่าทางสถิติต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 3.9-3.10

การก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมไม่ทำให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าแตกต่างกันมากนัก โดยเทียบข้อมูลของกำลังอัดประลัยที่ 280 กก./ซม.^{2} และแนวโน้มของกำลังอัดประลัยที่ 240 กก./ซม.^{2} ของการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ส่วนกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กก./ซม.^{2} ในการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมนั้นไม่สามารถหาข้อมูลได้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างทั้งสองประเภทจะแสดงได้โดยเส้นกราฟดังรูป 3.4 ซึ่งเขียนขึ้นโดยใช้การถดถอยเข้าช่วย แสดงให้เห็นว่าที่กำลังอัดประลัยต่ำกว่า 200 กก./ซม.^{2} ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยจะมีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ และมีค่าไม่ต่ำกว่า 200 กก./ซม.^{2} แต่เมื่อกำลังอัดประลัยเกินกว่า 200 กก./ซม.^{2} ค่าเฉลี่ยจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดประมาณ 15 กก./ซม.^{2}

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากขึ้นเมื่อกำลังอัดประลัยสูงขึ้นในการก่อสร้างทั้งสองประเภท ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของกำลังอัดประลัยมีค่าเกือบคงที่และเกือบเท่ากันในการก่อสร้างทั้งสองประเภท สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าประมาณ 0.161 และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าประมาณ 0.166 แสดงโดยกราฟดังรูปที่ 3.5

ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเฉลี่ยด้วยเส้นกราฟ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $18/\overline{X}_{\varepsilon}$

จากงานวิจัยของ Julian ,Shalon และ Reintz พบว่าฟังก์ชันของความน่าจะเป็นของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตควรจะเป็นการกระจายแบบปกติ [4]

3.4 ความกว้างของคาน

วัดจากบริเวณท้องคานหรือหลังคานที่แกะแบบหล่อแล้วและยังไม่ฉาบปูน ค่าทางสถิติต่างๆแสดงในตาราง 3.11-3.14

ความกว้างของคานโดยเฉลี่ยจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.2 - 0.7 ซม. อันอาจเนื่องมาจากการขยายออกของแบบหล่อขณะเทคอนกรีต ค่าเฉลี่ยของความกว้างของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม จะมีความเบี่ยงเบนในทางบวก คือมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.3 ซม. และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดประมาณ 0.4 ซม.

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความกว้างของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมมีค่าเกือบคงที่ ส่วนสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมมีค่ามากขึ้นเมื่อความกว้างของคานมากขึ้น ค่านี้จะมีค่าประมาณ 0.2 ถึง 0.6 ซม. ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนมีค่าลดลงเมื่อความกว้างของคานเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของความกว้างของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าประมาณ $0.32/X_n$ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของความกว้างของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่า โดยมีค่าเท่ากับ $0.53/X_n$ แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.6

ค่าผิดพลาดในการทำนาย มาจากการประมาณค่าเฉลี่ยโดยเส้นกราฟ สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.19/\bar{X}_E$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.22/\bar{X}_E$

จากข้อสรุปของ Mirza และ MacGregor [3] ให้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของความกว้างคานเป็นการกระจายแบบปกติ แต่จากการทดสอบแบบไคแสควร์กับข้อมูลที่รวบรวมได้พบว่า ขนาดความกว้างของคานมีการกระจายเป็นได้ทั้งการกระจายแบบปกติและล็อก-ปกติ

3.5 ความลึกทั้งหมดของคาน

มีวิธีวัดสองวิธีคือ

1. การวัดโดยตรง คือวัดจากท้องคานถึงหลังคานในกรณีที่หน้าตัดของคานเป็นรูปสี่เหลี่ยม และวัดจากท้องคานถึงหลังพื้นในกรณีที่หน้าตัดของคานเป็นรูปตัวที ซึ่งมักจะเป็นคานขอบ

2. การวัดทางอ้อม คือวัดความลึกของแบบหล่อจากท้องแบบถึงขอบบนของแบบก่อนทำการเทคอนกรีต และหลังจากเทคอนกรีตแล้วจึงวัดระยะจากหลังคานถึงขอบบนของแบบ ผลต่างของระยะทั้งสองคือความลึกทั้งหมดของคาน

ค่าทางสถิติต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 3.15-3.18

ความลึกโดยเฉลี่ยของคานจะมีค่าเบี่ยงเบนไปทางบวก ค่าเฉลี่ยของความลึกของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.2 ซม. สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น โดยมีค่าประมาณ 0.4 ซม.

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความลึกคานมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.5 ซม. และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีค่าลดลงเมื่อความลึกของคานเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของความลึกของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากันคือประมาณ $0.65/X_n$ แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.7

ค่าผิดพลาดในการทำนาย มาจากการประมาณค่าเฉลี่ย สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.29/\bar{X}_E$ สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.34/\bar{X}_E$

Mirza และ MacGregor [3] ได้ให้การกระจายของความลึกคานเป็นการกระจายแบบปกติ และจากการทดสอบไคสแควร์จากข้อมูลที่รวบรวมได้พบว่า การกระจายของความลึกคานอาจเป็นไปได้ทั้งการกระจายแบบปกติและล็อก-ปกติ

3.6 ความหนาของพื้น

วัดจากพื้นที่เทคอนกรีตแล้วและยังไม่ตกแต่งผิว มีวิธีวัด 3 วิธีคือ

1. วัดจากบริเวณขอบด้านนอกของพื้น บริเวณที่เป็นพื้นยื่น
2. วัดจากบริเวณช่องเปิดของพื้น
3. วัดโดยวิธีถ่ายระดับ

ค่าทางสถิติต่างๆแสดงในตารางที่ 3.19-3.22

ความหนาของพื้นที่ได้จะมีค่ามากกว่าความหนาที่กำหนด โดยค่าเฉลี่ยของความหนาของพื้นสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.5 ซม. และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.2 ซม.

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาพื้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 1.0 ซม. ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของความหนาของพื้นสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมมีค่าประมาณ $0.80/X_n$ ส่วนสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมนั้น มีข้อมูลน้อย จึงสมมุติให้ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนเท่ากับข้อมูลสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.8

ค่าผิดพลาดในการทำนาย จะมาจากการประมาณค่าเฉลี่ย สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.64/\bar{X}_E$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมสมมติให้ค่าผิดพลาดในการทำนาย เท่ากับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม

ข้อมูลที่รวบรวมจากหลายแหล่งโดย Mirza และ MacGregor [3] ได้ให้ความหนาของพื้นมีการกระจายเป็นแบบปกติ และจากการทดสอบไคสแควร์กับข้อมูลที่รวบรวมได้ก็พบว่าความหนาของพื้นควรมีการกระจายเป็นแบบปกติเช่นกัน

3.7 ขนาดหน้าตัดของเสา

วัดจากเสาที่เทคอนกรีตแล้วและยังไม่ฉาบปูน ค่าทางสถิติต่างๆแสดงในตารางที่ 3.23-3.26

ขนาดหน้าตัดของเสาที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดประมาณ 0.1 ถึง 0.7 ซม. ค่าเฉลี่ยของขนาดหน้าตัดเสาสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดเท่ากับ 0.3 ซม. และค่าเฉลี่ยของขนาดหน้าตัดเสาสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดเท่ากับ 0.4 ซม.

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดหน้าตัดเสามีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.5 ซม. ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของขนาดหน้าตัดเสาสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าประมาณ $0.25/X_n$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.34/X_n$ แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.9

ค่าความผิดพลาดในการทำนายจะมาจากความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่าเฉลี่ย สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.14/\bar{X}_E$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.52/\bar{X}_E$

Tso และ Zelman ,Hernandez และ Martinez กำหนดให้ขนาดหน้าตัดของเสามีการกระจายเป็นแบบปกติ [3] จากการทดสอบข้อมูลที่ได้ การกระจายของขนาดเสาเป็นได้ทั้งการกระจายแบบปกติและล็อก-ปกติ

3.8 ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่าง

วัดจากท้องแบบถึงผิวล่างของเหล็กเสริมชั้นล่างสุด ภายหลังจากเหล็กและหมอนลูกปูนพร้อมที่จะเทคอนกรีตแล้ว ค่าทางสถิติของข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 3.27-3.30

ข้อมูลที่รวบรวมได้แสดงให้เห็นว่าขนาดความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่างในงานก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีความเบี่ยงเบนไปจากค่าที่กำหนดมากกว่าในงานก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนก็มีค่ามากกว่าด้วย ซึ่งเป็นลักษณะตรงข้ามกับข้อมูลของตัวแปรอื่นๆ

ข้อมูลความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่างนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดระยะจากท้องแบบถึงผิวล่างของเหล็กเสริมชั้นล่างสุด แต่จะสมมุติให้ใช้เป็นตัวแทนของระยะจากผิวล่างของคานหรือพื้นไปยังจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมด้านล่างด้วย

เมื่อวิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมได้พบว่าค่าเฉลี่ยของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่างในกรณีของคานจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ ส่วนในกรณีของพื้นจากข้อมูลบางชุดจะให้ค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ ค่าเฉลี่ยของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่างสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.4 ซม. และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะให้ค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.1 ซม.

ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่างในคานและพื้นมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ 0.213 และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ 0.199 แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.10

ค่าความผิดพลาดในการทำนาย สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมมีค่าเท่ากับ $0.48/\overline{X}_E$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.71/\overline{X}_E$

จากการวิเคราะห์พบว่า ข้อมูลหลายชุดของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่างมีการกระจายเป็นแบบปกติ แต่มีข้อมูลบางชุดมีการกระจายเป็นแบบล็อก-ปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก๊าซ ๒๑๑๘๑

3.9 ตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบน

วัดจากท้องแบบถึงผิวบนของเหล็กเสริมชั้นบนสุด ภายหลังจากผูกเหล็กพร้อมที่จะเทคอนกรีตแล้ว ข้อมูลทางสถิติแสดงไว้ในตารางที่ 3.31-3.34

ข้อมูลที่รวบรวมได้แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนในงานก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีความเบี่ยงเบนไปจากค่าที่กำหนดมากกว่าในงานก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนก็มีค่ามากกว่าด้วย ซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกับค่าความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่างและตรงข้ามกับข้อมูลของตัวแปรอื่นๆ

ข้อมูลตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดระยะจากท้องแบบถึงผิวบนของเหล็กเสริมชั้นบนสุด แต่จะสมมุติให้ใช้เป็นตัวแทนของระยะจากผิวล่างของคานหรือพื้นไปยังจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมด้านบนด้วย

เมื่อวิเคราะห์จากข้อมูลที่รวบรวมได้พบว่าค่าเฉลี่ยของตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด (ต่ำกว่าตำแหน่งที่กำหนด) และตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนในพื้นมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่กำหนดน้อยกว่าในคาน ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดประมาณ 1.8 ซม. และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดประมาณ 1.3 ซม.

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนมีค่าประมาณ 0.4 ถึง 1.5 ซม. ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะจะมีค่าเท่ากับ $1.08/X_n$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.69/X_n$ แสดงโดยกราฟในรูปที่ 3.11-3.12

ค่าความผิดพลาดในการทำนาย สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมมีค่าเท่ากับ $0.79/\overline{X}_E$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมมีค่าเท่ากับ $0.77/\overline{X}_E$

Johnson ให้ค่าตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนมีการกระจายเป็นแบบปกติ [3] และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้ส่วนใหญ่จะให้ผลเป็นการกระจายเป็นแบบปกติ

3.10 ระยะเรียงของเหล็กปลอก

วัดจากบริเวณส่วนกลางของความกว้างคาน หลังจากผูกเหล็กและพร้อมที่จะเทคอนกรีตแล้ว ค่าทางสถิติต่างๆแสดงในตารางที่ 3.35-3.38 ซึ่งค่าเฉลี่ยของระยะเรียงของเหล็กปลอกมีค่าไม่ต่างไปจากที่กำหนด

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเรียงของเหล็กปลอกมีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 1.5 ซม. ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของระยะเรียงของเหล็กปลอกสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมจะมีค่าประมาณ 0.021 และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าประมาณ 0.043 แสดงโดยกราฟดังรูปที่ 3.12

ค่าความผิดพลาดในการทำนาย สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมมีค่าเท่ากับ $0.16/\bar{X}_E$ และสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุมจะมีค่าเท่ากับ $0.26/\bar{X}_E$

จากการทดสอบพบว่าการกระจายของระยะเรียงของเหล็กปลอกสามารถจัดให้เป็นการกระจายเป็นแบบปกติและล็อก-ปกติได้

3.11 ระยะเรียงของเหล็กเสริมในพื้น

ข้อมูลที่ได้ยังมีน้อย ค่าเฉลี่ยของระยะเรียงของเหล็กเสริมในพื้นเมื่อวิเคราะห์จากข้อมูลจะมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 0.3 ซม. มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนประมาณ $0.52/X_n$ และค่า ผิดพลาดในการทำนาย ประมาณ $0.14/\bar{X}_E$

3.12 ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมในเสา

วัดระยะจากผิวนอกของเสาถึงผิวนอกของเหล็กเสริม ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมในเสามีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 2.0 ซม. และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 0.7 และ 0.9 ซม. ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและค่า ผิดพลาดในการทำนาย มีค่าเท่ากับ 0.182 และ $0.71/\bar{X}_{\Sigma}$

ค่าสถิติของความหนาคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมนี้จะใช้เป็นตัวแทนของระยะจากผิวนอกเสาถึงจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมด้วย และให้มีการกระจายเป็นแบบปกติ

3.13 การเปรียบเทียบข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรรับแรง

ข้อมูลของตัวแปรสำหรับกำลังรับแรงขององค์อาคารชนิดต่างๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1.39 จะประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ค่าความเอนเอียง และค่าความผิดพลาดในการทำนาย ค่าเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนส่วนมากจะอยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียล (Polinomial) เว้นแต่ในบางกรณีที่เป็นค่าคงที่

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมดจากสภาพการก่อสร้างที่เกิดขึ้นจริงในกรุงเทพมหานครโดยงานวิจัยนี้ กับข้อมูลจากการก่อสร้างในประเทศสหรัฐอเมริกาและคานาดาซึ่งรวบรวมโดย Mirza และ MacGregor [9] โดยการปรับค่ากำลังวัสดุและขนาดขององค์อาคารให้สอดคล้องกันโดยวิธี Interpolate ดังแสดงในตารางที่ 3.40 พบว่าข้อมูลจากงานวิจัยนี้ให้ค่ากำลังเฉลี่ยของวัสดุสูงกว่า ขนาดขององค์อาคารทั้งหมดจะมีความเบี่ยงเบนในทางบวกมากกว่า และตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านล่างจะสูงกว่าที่กำหนด ในขณะที่ขนาดขององค์อาคารบางประเภทจากการรวบรวมโดย Mirza และ MacGregor จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าที่กำหนด เช่น ค่าความลึกรวมของคาน ส่วนค่าอื่นๆจะให้ค่าสูงกว่าที่กำหนด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังวัสดุและขนาดขององค์อาคารที่รวบรวมได้ในงานวิจัยนี้ให้ค่าต่ำกว่าที่สรุปของเอกสารอ้างอิงดังกล่าว แต่เมื่อรวมค่าผิดพลาดในการทำนายด้วยแล้วจะได้ค่าความไม่แน่นอนรวมสูงกว่า