บทที่ 5

การประเมินผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตในอดีต

วัตถุประสงค์หลักของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากสนามก็คือ เพื่อประเมินผลและควบคุมให้แน่ใจว่า คอนกรีตที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพและกำลังอัดที่สม่ำเสมออยู่ในระดับที่ต้องการ แต่เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่มวลที่เกิดจากการผสมของวัตถุจนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นคอนกรีตจึงมีสมบัติที่แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นผสม และแม้แต่รุ่นผสมเดียวกันก็ยังมีสมบัติผันแปรกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ปฏิภาคส่วนผสม การผสม การลำเลียง การเท และการบ่ม แต่ละตัวอย่างคอนกรีต นอกจากการผันแปรอันเกิดจากลักษณะของคอนกรีตเองแล้ว สมบัติของคอนกรีตยังถูกทำให้เปลี่ยนแปรออกไปได้เนื่องจากวิธีการทดสอบเพื่อหาสมบัตินั้นๆอีกด้วย เช่น การหล่อแท่งตัวอย่าง การดูแล และการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต เป็นต้น สรุปแล้วก็คือ ในการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากสนามต้องยอมรับว่า ค่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่แตกต่างและผันแปรกันออกไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะต้องควบคุมให้ค่าความผันแปรเหล่านี้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ด้วย สำหรับการที่จะกำหนดขอบเขตและควบคุมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางสถิติพร้อมกันไปกับความเข้าใจในลักษณะของคอนกรีตและการทดสอบคอนกรีตด้วย อันเป็นหลักการของมาตรฐาน ACI 214-65 ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

5.1 การประเมินผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ตามมาตรฐาน ACI 214-65 (3)

5.1.1 ความผันแปรของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ปริมาณความแตกต่างในค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับระดับการควบคุมทั้งวัสดุส่วนผสม การผลิต และการทดสอบ ซึ่งสรุปแล้ว สาเหตุที่ทำให้ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมีค่าผันแปรกันออกไปก็มีอยู่ 2 สาเหตุสำคัญที่แสดงไว้ใน

ตารางที่ 5.1 คือ 1) การผันแปรในสมบัติของวัสดุผสมในคอนกรีต และ 2) การคลาดเคลื่อนในวิธีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

ตารางที่ 5.1[3] สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการผันแปรในค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

การผันแปรในสมบัติของคอนกรีตเอง	การคลาดเคลื่อนในวิธีการทดสอบ
การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ – ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ – ความชื้นในมวลรวมมีการเปลี่ยนแปลงมาก การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม – ส่วนขนาดคละของมวลรวม – วัสดุผสมมีสมบัติไม่สม่ำเสมอ การผันแปรในคุณภาพและปฏิภาคส่วนผสมของวัสดุ – มวลรวม – ซีเมนต์ การผันแปรในด้านการลำเลียง เท และทำให้แน่น การผันแปรของอุณหภูมิ และการบ่ม	วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน – ปริมาณการกระทุ้ง – การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง – การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม – อุณหภูมิ – ความชื้น วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี – การหล่อฝา – การทดสอบกำลังอัด

5.1.2 <u>การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ</u> เมื่อจะวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของคอนกรีตที่ผลิตขึ้น จะต้องเข้าใจก่อนว่า สาเหตุที่ทำให้เกิดการผันแปรในค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตในตารางที่ 5.1 นั้นเป็นสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ กล่าวคือ แม้จะมีการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตอย่างดีที่สุดเพียงใด ก็ทำได้เพียง <u>ลด</u> การผันแปรลงเท่านั้น แต่ไม่สามารถที่จะ <u>กำจัด</u> การผันแปรในค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตให้หมดไปได้ ดังนั้นการจะวิเคราะห์ผลจากข้อมูลการทดสอบ จึงไม่สามารถวิเคราะห์จากข้อมูลแต่ละตัวได้ แต่ต้องวิเคราะห์จาก <u>รูปแบบรวม</u> ของข้อมูลนั้น (ซึ่งในทางสถิติเรียกว่า <u>การแจกแจงความถี่</u>) และประเมินออกมาในรูปของ

ฟังก์ชันทางสถิติที่ง่ายแก่การเข้าใจ และจดจำ

ก) ฟังก์ชันทางสถิติ สำหรับรูปแบบรวมของกลุ่มข้อมูลจากการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตนั้น เมื่อนำมาแสดงเป็นเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แล้ว ในทางปฏิบัติพอจะอนุโลมให้อยู่ในรูปของ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ ซึ่งมีสมการเป็น

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \qquad (5.1)$$

โดย x เป็นค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต และ Y เป็นความถี่ในการเกิดค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตเมื่อทำการทดสอบซ้ำๆกัน ส่วน $\bar{x}$ และ σ เป็นฟังก์ชันทางสถิติของเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้คือ

1) ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) เป็นค่าโดยเฉลี่ยของกำลังอัดทุกตัวอย่างของคอนกรีต

$$\bar{x} = \frac{x_1+x_2+x_3+.....+x_n}{n} \qquad (5.2)$$

โดย $x_1, x_2, x_3, ..., x_n$ เป็นค่ากำลังอัดของแต่ละตัวอย่างของคอนกรีต และ n เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการทดสอบ

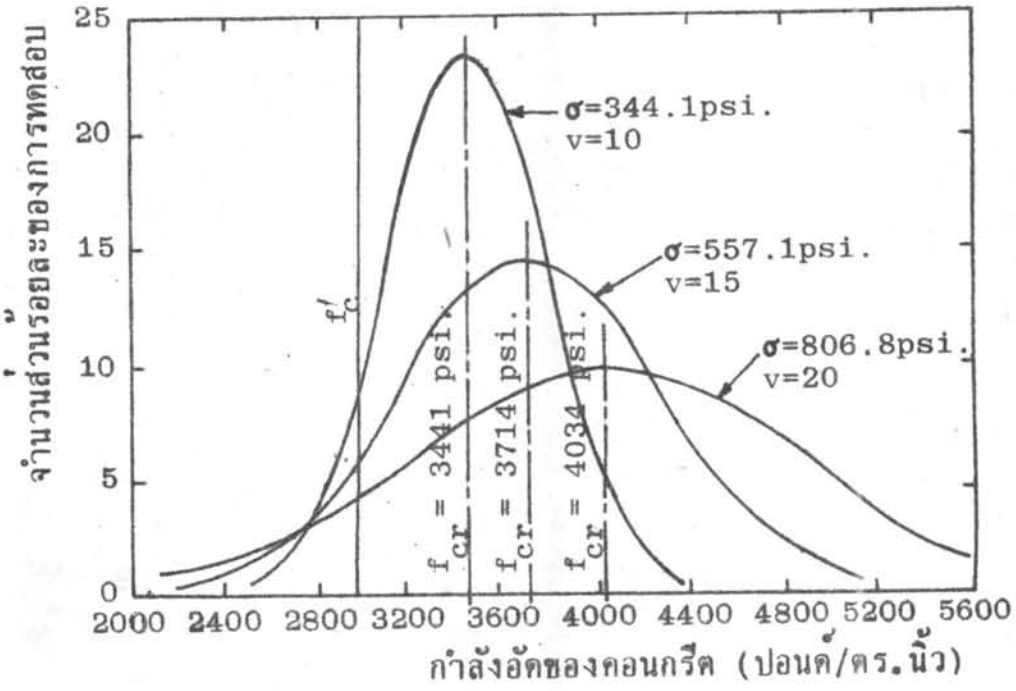
2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายออกของข้อมูลกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากค่าเฉลี่ยกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1-\bar{x})^2+(x_2-\bar{x})^2+(x_3-\bar{x})^2+...+(x_n-\bar{x})^2}{n}} \qquad (5.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{x_1^2+x_2^2+x_3^2+...+x_n^2}{n} - \bar{x}^2} \qquad (5.4)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบรวมของเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ ซึ่งทำให้ทราบถึงระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตนั้นได้อย่างคร่าวๆ กล่าวคือ ในงานที่มีการควบคุมคุณภาพคอนกรีตดี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อย นั่นคือ ค่ากำลังอัดส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ทำให้เส้นโค้งของ

การแจกแจงความถี่แบบปกติโด่งขึ้นและแคบลง แต่ถ้างานที่มีการควบคุมคุณภาพคอนกรีตไม่ดีนัก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามาก ค่ากำลังอัดก็จะกระจายออกจากค่าเฉลี่ย ทำให้เส้นโค้งเตี้ยลงและแบนออก รูปที่ 5.1 จะแสดงรูปแบบรวมของเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ ที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่างๆกัน 3 ค่า ซึ่งจะเห็นว่าเป็นไปตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 5.1[3] แสดงตัวอย่างเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แตกต่างกัน

3) สัมประสิทธิ์การผันแปร (v) คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงในรูปจำนวนส่วนร้อยละของค่าเฉลี่ยกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต นั่นคือ

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \qquad (5.5)$$

สัมประสิทธิ์การผันแปร ทำให้สามารถแสดงขีดการกระจายของข้อมูลในรูปจำนวนส่วนร้อยละ ไม่มีหน่วยการวัดเหมือนในกรณีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่ก็สามารถชี้ถึงระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตได้เช่นเดียวกัน ตารางที่ 5.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรสำหรับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่ระดับต่างๆกัน การกำหนดระดับการควบคุมคุณภาพนี้กำหนดขึ้นจากประสบการณ์ โดยรวบรวมจากโครงงานที่ใช้คอนกรีตจำนวนหลายโครงงาน แต่การกำหนดนี้ก็เพียงเพื่อใช้เป็นแนวทางทั่วๆไปในการประเมินผลอย่างคร่าวๆเท่านั้น

ตารางที่ 5.2[3] มาตรฐานของการควบคุมคุณภาพคอนกรีต

ระดับการทำงาน	สัมประสิทธิ์การผันแปรสำหรับมาตรฐานการควบคุม			
	ดีเยี่ยม	ดี	พอใช้	เลว
การผันแปรทั้งหมด				
งานก่อสร้างทั่วไป	ต่ำกว่า10.0	10.0–15.0	15.0–20.0	สูงกว่า20.0
สภาพควบคุมในห้องปฏิบัติการ	ต่ำกว่า 5.0	5.0– 7.0	7.0–10.0	สูงกว่า10.0
การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ				
สภาพสนาม	ต่ำกว่า 4.0	4.0– 5.0	5.0– 6.0	สูงกว่า 6.0
สภาพควบคุมในห้องปฏิบัติการ	ต่ำกว่า 3.0	3.0– 4.0	4.0– 5.0	สูงกว่า 5.0

ข้อสังเกต มาตรฐานนี้ใช้กับค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรที่คำนวณจากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วันเท่านั้น

ข) การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การผันแปรของผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต เกิดจากสาเหตุ 2 ประการคือ 1) การผันแปรในสมบัติของคอนกรีตเอง และ 2) การคลาดเคลื่อนในวิธีการทดสอบ สำหรับการผันแปรเนื่องจากสาเหตุแรก ทั้งนิยามและการคำนวณได้แสดงไปในตอนที่แล้ว (ฟังก์ชันทางสถิติ) ต่อไปจะได้แสดงวิธีการคำนวณหาค่าการผันแปรจากสาเหตุหลัง

การผันแปรของค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตในรุ่นผสมเดียวกัน สามารถหาได้โดยคำนวณจากความแตกต่างในค่ากำลังอัดของกลุ่มตัวอย่างที่เก็บมาจากรุ่นผสมนั้น ทั้งนี้โดยมีสมมติฐานว่า ตัวอย่างคอนกรีตที่เก็บมาจากรุ่นผสมเดียวกัน จะมีสมบัติเหมือนกัน ดังนั้นผลต่างระหว่างค่ากำลังอัดของกลุ่มตัวอย่างในรุ่นผสมเดียวกันจะเกิดขึ้นเนื่องจาก การเตรียมตัวอย่าง การบ่ม และการผันแปรในการทดสอบ สำหรับปริมาณตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์นั้น มาตรฐาน ACI 214-65 กำหนดให้ใช้ข้อมูลผลต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่างในรุ่นผสมเดียวกันอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง จึงจะเพียงพอที่จะนำมาคำนวณหา พิสัยเฉลี่ยของการทดสอบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ ได้ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\bar{R} = \frac{R_1+R_2+R_3+\ldots+R_n}{n} \qquad (5.6)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2}\bar{R} \qquad (5.7)$$

$$v_1 = \frac{\sigma_1}{\bar{x}} \times 100 \qquad (5.8)$$

โดย $\bar{R}$ = พิสัยเฉลี่ยของการทดสอบ

$R_1, R_2, R_3, \ldots, R_n$ = พิสัยของค่ากำลังอัดในรุ่นผสมเดียวกัน แต่ละรุ่นผสม

n = จำนวนรุ่นผสม

σ_1 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจากการทดสอบ

$\frac{1}{d_2}$ = ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนตัวอย่างที่นำมาทดสอบในแต่ละรุ่นผสม (ตามตารางที่ 5.3)

v_1 = สัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ

$\bar{x}$ = ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีต

ตารางที่ 5.3[3] ตัวประกอบสำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ

จำนวนตัวอย่างในรุ่นผสม	d_2	$1/d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

และค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบนี้ ก็จะแสดงระดับการควบคุมการทดสอบว่า ดีหรือเลวเพียงใด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ทำนองเดียวกันกับที่ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรทั้งหมด แสดงระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่ผลิตขึ้น ดังได้กล่าวมาแล้วนั่นเอง

5.1.3 หลักการที่ใช้เป็นมาตรฐานในการผลิตคอนกรีต แนวความคิดที่นับได้ว่าเป็นหลักการใหม่ และสำคัญในมาตรฐาน ACI 214-65 ก็คือ ในการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตนั้น เราไม่เพียงแต่ยอม ให้ผลการทดสอบ บางค่า ต่ำกว่ากำลังอัดที่กำหนดเป้าหมายไว้ (f'_c) ได้เท่านั้น แต่ควรจะ คาดการณ์ ได้ก่อนเลยว่า จะต้องมีผลการทดสอบ จำนวนหนึ่ง ที่มีค่าต่ำกว่ากำลังอัดที่กำหนดเป้าหมายไว้เสมอด้วย แนวความคิดดังกล่าวนี้ก็ได้มาจากลักษณะของการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตนั่นนั่นเอง กล่าวคือ

1. ในการวัดหรือทดสอบหาค่าสิ่งใดก็ตาม ไม่จำเพาะแต่การทดสอบคอนกรีตเท่านั้น ค่าที่ได้จากการวัดหรือทดสอบนั้นหลายๆครั้ง จะแตกต่างกันออกไป แม้จะกระทำกับสิ่งเดิม ที่มีสมบัติคงเดิมก็ตาม ดังนั้นเมื่อยอมรับกันว่า ค่าที่ได้จากการวัดหรือทดสอบจะไม่เท่ากัน ก็เท่ากับยอมรับว่า ค่าบางค่าที่ได้จะต่ำกว่าค่าอื่นๆที่วัดได้เช่นเดียวกัน ซึ่งนั้นไม่ได้หมายความว่าค่าที่ต่ำกว่าเหล่านั้นจะเป็นค่าที่ใช้ไม่ได้

2. นอกจากค่าที่ได้จากการวัดหรือทดสอบแต่ละครั้งจะแตกต่างกันออกไปแล้ว "รูปแบบรวม" ยังแตกต่างกันออกไปด้วย ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 5.1.2

ดังนั้นปัญหาการผลิตคอนกรีตก็เหลืออยู่เพียงว่า จะกำหนดปริมาณส่วนที่มีค่าการทดสอบต่ำกว่าเป้าหมายไว้มากน้อยเพียงใด เมื่อเทียบกับจำนวนการทดสอบทั้งหมดแล้วจึงจะเหมาะสม เพราะถ้ากำหนดค่าดังกล่าวนี้ได้ ก็สามารถจะหาค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่จะผลิต (f_{cr}) ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ได้ เมื่อทราบถึงรูปแบบรวมของการผลิตคอนกรีตนั้นๆ (หรือทราบค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรทั้งหมดนั่นเอง) โดยคำนวณได้จากสมการ

$$f_{cr} = \frac{f'_c}{1-tv} \qquad (5.9)$$

โดย f_{cr} = ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่จะต้องผลิต

f'_c = ค่ากำลังอัดที่กำหนดเป้าหมายไว้

t = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนในการเกิดค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่ากำหนดและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่า v (ดูตารางที่ 5.4)

v = ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรทั้งหมด เป็นเศษส่วน

ตารางที่ 5.4(3) ค่าของ "t"

จำนวนตัวอย่างลบด้วย1	จำนวนส่วนร้อยละที่อยู่ในขอบเขต $\bar{x} \pm tv$							
	50	60	70	80	90	95	98	99
	โอกาสที่จะต่ำกว่าขอบเขตต่ำสุด							
	2.5ใน10	2ใน10	1.5ใน10	1ใน10	1ใน20	1ใน40	1ใน100	1ใน200
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

ค่าอื่นของ t สำหรับ n - 1 = ∞		
จำนวนส่วนร้อยละที่อยู่ใน $\bar{x} \pm t\sigma$	โอกาสที่จะเกิดค่าต่ำกว่าขอบเขตต่ำสุด	
40.00	3 ใน 10	0.524
68.27	1 ใน 6.3	1.000
95.45	1 ใน 44	2.000
99.73	1 ใน741	3.000

5.1.4 ข้อกำหนดในการผลิตคอนกรีต สำหรับการกำหนดจำนวนส่วนร้อยละของการยอมให้เกิดค่าการทดสอบที่ต่ำกว่าเป้าหมายนี้ มาตรฐาน ACI 214-65[3] แนะนำให้ ยอมรับคอนกรีตที่ได้จากการผลิตทั้งหมดนั้น ถ้ามีความน่าจะเป็นในการเกิดค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ต่ำกว่าค่ากำลังอัดที่เป็นเป้าหมาย (f'_c) ไม่เกิน 1 ใน 10 (หรือไม่เกินจำนวนส่วนร้อยละ 10) ซึ่งเหตุผลบางประการที่กำหนดดังกล่าวก็คือ

1. การเก็บตัวอย่าง การบ่ม และการทดสอบคอนกรีตอาจไม่เหมาะสม ทำให้ตัวอย่างคอนกรีตไม่ได้เป็นตัวแทนที่แท้จริงของคอนกรีตในโครงสร้าง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า การคลาดเคลื่อนในวิธีการทดสอบจากมาตรฐานส่วนใหญ่แล้ว จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

2. ถ้าผลการทดสอบจำนวนส่วนร้อยละ 10 มีค่าต่ำกว่า ค่ากำลังอัดที่เป็นเป้าหมายแล้ว ผลการทดสอบอีกจำนวนส่วนร้อยละ 90 ก็จะมีค่าสูงกว่าเป้าหมาย และส่วนใหญ่จะมีค่ากำลังอัดสูงกว่าค่ากำลังอัดที่เป็นเป้าหมายมากดังแสดงโดยเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ นอกจากนั้น ยังมีความน่าจะเป็นถึงจำนวนส่วนร้อยละ 90 ที่คอนกรีตส่วนที่มีกำลังอัดสูงกว่าเป้าหมายจะอยู่ในส่วนที่เกิดหน่วยแรงวิกฤติของโครงสร้างอีกด้วย

3. ในการออกแบบโครงสร้าง ยังมี"ส่วนปลอดภัย"ที่เผื่อไว้ในสมการออกแบบ ซึ่งยอมให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผันแปรไปจากเป้าหมายที่ได้คำนวณไว้พอสมควร โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อความปลอดภัยของโครงสร้างนั้นเป็นส่วนรวม

5.2 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจากสภาพสนาม

5.2.1 ลักษณะของข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง ข้อมูลทั้งหมดที่นำมาทำการวิเคราะห์และประเมินผลการควบคุมคุณภาพนี้ได้มาจาก การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด ϕ 15x 30 ซ.ม. ทั้งที่ 7 วันและ 28 วัน ของตัวอย่างคอนกรีตทุกตัวอย่างจาก 2 ส่วนผสม (ในตารางที่ 2.1 หรือ 2.2) ซึ่งเก็บมาจากสนามโดยผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในช่วงปี พ.ศ. 2517 ถึง พ.ศ. 2519

ข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมดของส่วนผสมที่ 1 และส่วนผสมที่ 2 แสดงไว้ในภาคผนวก ก. และ ภาคผนวก ข. ตามลำดับโดยแยกตามงานก่อสร้าง ซึ่งส่วนมากสร้างโดยผู้รับเหมารายเดียวกัน จึงสมมติได้ว่า ความสามารถในการทำงานเท่ากันในแต่ละกลุ่มของงานก่อสร้างคือ งานก่อสร้าง A,B,C และ D เป็นลำดับไป งานก่อสร้างที่แยกออกมาวิเคราะห์ คืองานก่อสร้างที่มีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตตั้งแต่ 30 ตัวอย่างขึ้นไป งานก่อสร้างที่มีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตไม่ถึง 30 ตัวอย่างจะไม่แยกออกมาวิเคราะห์ แต่จะนำไปคิดในการวิเคราะห์รวมทั้งหมด สำหรับส่วนผสมที่ 1 มีงานก่อสร้างที่แยกออกมาวิเคราะห์ 6 งาน รวมจำนวนตัวอย่างการทดสอบทั้งหมดที่ 7 วันจำนวน 510 ตัวอย่าง และที่ 28 วันจำนวน 625 ตัวอย่าง ส่วนผสมที่ 2 ประกอบด้วยงานที่แยกออกมาวิเคราะห์ 7 งาน รวมจำนวนตัวอย่างการทดสอบทั้งสิ้นที่ 7 วันจำนวน 1025 ตัวอย่าง และที่ 28 วันจำนวน 1314 ตัวอย่าง

สำหรับการเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากสนามมีลักษณะที่น่าสังเกต 3 ประการคือ

1. โดยทั่วไปในงานก่อสร้างแต่ละแห่ง จะเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพียงวันละครั้ง และจากรถผสมคันเดียวเท่านั้น และเนื่องจากงานก่อสร้างแต่ละงานจะใช้คอนกรีตผสมเสร็จประมาณวันละ 30 – 50 ลบ.ม. ดังนั้นการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบหากำลังอัดจึงอยู่ในขอบเขตที่มาตรฐานเกี่ยวกับคอนกรีตผสมเสร็จ ASTM C94 กำหนดไว้ซึ่งกล่าวว่า[1] จะต้องเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบหากำลังอัด 1 ตัวอย่างทุกๆ 115 ลบ.ม. หรือถ้าในวันหนึ่งๆใช้คอนกรีตน้อยกว่านี้ ก็ให้ทดสอบหากำลังอัดอย่างน้อยที่สุดวันละ 1 ตัวอย่าง

2. การเลือกเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างไม่ได้ทำด้วยการสุ่ม คือ ไม่ได้กำหนดตารางเก็บตัวอย่างล่วงหน้าให้รถผสมทุกคันมีโอกาสที่จะถูกเก็บตัวอย่างไปเท่าๆกัน ผู้ควบคุมงานก่อสร้างแต่ละแห่งนั้นจะเป็นผู้ตัดสินเอาในสนามว่า จะให้เก็บตัวอย่างคอนกรีตจากรถผสมคันใด ซึ่งส่วนมากจะพยายามเก็บจากรถผสมคันที่ให้คอนกรีตค่อนข้างเหลวกว่าปกติ ดังนั้นข้อมูลทั้งหมดจากการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตในงานก่อสร้างหนึ่งๆ จึงไม่ใช่ตัวแทนที่ดีของคอนกรีตทั้งหมดที่ใช้ในงานนั้น แต่จะให้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำกว่าเป็นจริง

3. ตัวอย่างคอนกรีตที่เก็บแต่ละครั้ง ส่วนมากจะประกอบด้วยคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด ϕ 15x 30 ซ.ม. ที่จะนำไปทดสอบกำลังอัดที่ 7 วันและ 28 วันอย่างละ 1 และ 2 ลูกตามลำดับ โดยเก็บจากส่วนกลางโม่พร้อมกันทั้ง 3 ก้อน ดังนั้น ค่าพิสัยของกำลังอัดคอนกรีตจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความบกพร่องในการผสมของรถ-ผสม แต่จะขึ้นอยู่กับ การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต การบ่ม และวิธีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเท่านั้น

5.2.2 <u>ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพของคอนกรีต</u> ตารางที่ 5.5 และ 5.6 ได้แสดงพังก์ชันทางสถิติที่คำนวณได้จากข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 และ 2 ตามลำดับโดยแยกตามงานก่อสร้าง พังก์ชันทางสถิติเหล่านี้ได้แก่

1. ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตทั้งที่ 7 วันและ 28 วัน

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์การผันแปรทั้งหมด (ซึ่งคิดจากข้อมูลกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน)

นอกจากนั้นยังได้แสดงถึง

3. ระดับการควบคุมคุณภาพคอนกรีตที่บ่งตามมาตรฐาน ACI 214-65 และ

4. อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่ 28 วัน กับค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่ 7 วัน

จากตารางที่ 5.5 และ 5.6 พบว่า ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่ 7 วันและ 28 วันของทั้ง 2 ส่วนผสม จะเปลี่ยนแปรไปในแต่ละงานก่อสร้าง แต่โดยทั่วไปแล้ว คอนกรีตจากส่วนผสมที่ 2 จะให้ค่ากำลังอัดที่อายุเดียวกันสูงกว่าคอนกรีต

ตารางที่ 5.5 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 แยกตามงานก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519

	คอนกรีตที่อายุ 7 วัน			คอนกรีตที่อายุ 28 วัน							
	①	②	③ = ②/①	④	⑤	⑥	⑦ = ⑤/④	⑧ = $\sqrt{\frac{⑥}{④} - ⑦^2}$	⑨ = ⑧/⑦ ×100	⑩	⑪ = ⑦/③
	n_7	Σx_7	$\bar{x}_7$	n_{28}	Σx_{28}	Σx^2_{28}	$\bar{x}_{28}$	σ	v	ระดับการควบคุมคุณภาพ	$\frac{\bar{x}_{28}}{\bar{x}_7}$
งานก่อสร้าง A	53	9951.0	187.75	70	17647.5	4566705.3	252.11	40.996	16.4	พอใช้	1.34
งานก่อสร้าง B	31	5937.0	191.19	31	8152.0	2191643.5	262.97	39.321	15.0	พอใช้	1.38
งานก่อสร้าง C	82	17539.5	213.90	96	26231.0	7317512.0	273.24	39.550	14.5	ดี	1.28
งานก่อสร้าง D	30	6390.9	213.03	30	8281.2	2342759.8	276.04	43.519	15.8	พอใช้	1.30
งานก่อสร้าง E	150	32195.0	214.63	185	51647.5	14888345.1	279.18	50.383	18.0	พอใช้	1.30
งานก่อสร้าง F	77	17681.6	229.63	84	23794.1	6850554.0	283.26	36.280	12.8	ดี	1.23
งานอื่นๆ	87	17483.0	–	129	34677.4	9675399.1	–	–	–	–	–
รวม	510	107168.0	210.13	625	170430.7	47832918.8	272.70	46.619	17.1	พอใช้	1.30

ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 แยกตามงานก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519

	คอนกรีตที่อายุ 7 วัน			คอนกรีตที่อายุ 28 วัน							
	①	②	③ = ②/①	④	⑤	⑥	⑦ = ⑤/④	⑧ = $\sqrt{\frac{⑥}{④} - ⑦^2}$	⑨ = ⑧/⑦ × 100	⑩	⑪ = ⑦/③
	n_7	Σx_7	$\bar{x}_7$	n_{28}	Σx_{28}	Σx_{28}^2	$\bar{x}_{28}$	σ	v	ระดับการควบคุมคุณภาพ	$\frac{\bar{x}_{28}}{\bar{x}_7}$
งานก่อสร้าง G	220	50134.5	227.88	229	66618.2	19884481.2	290.91	46.943	16.1	พอใช้	1.28
งานก่อสร้าง H	130	31102.0	239.25	142	42454.5	12954009.5	298.98	42.885	14.3	ดี	1.25
งานก่อสร้าง I	50	11990.0	239.80	53	15981.5	4895939.7	301.54	38.095	12.6	ดี	1.26
งานก่อสร้าง J	96	22771.5	237.20	163	49352.5	15222156.0	303.35	41.386	13.6	ดี	1.28
งานก่อสร้าง K	108	25447.0	235.62	118	36651.5	11552503.0	310.61	37.769	12.2	ดี	1.32
งานก่อสร้าง L	151	36927.0	244.55	284	89080.5	28437695.2	313.66	41.807	13.3	ดี	1.28
งานก่อสร้าง M	63	16000.5	253.97	73	24021.3	8102214.6	329.06	52.053	15.8	พอใช้	1.30
งานอื่นๆ	207	50432.4	–	252	79240.9	25390975.0	–	–	–	–	–
รวม	1025	244804.9	238.83	1314	403400.9	126439974.2	307.00	44.431	14.5	ดี	1.29

จากส่วนผสมที่ 1 ประมาณ 40 – 50 ก.ก./ตร.ซ.ม. และถ้าพิจารณาส่วนผสมหนึ่งๆ ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่อายุเดียวกัน ก็จะมีค่าแตกต่างกันออกไปโดยมีช่วงในการผันแปรประมาณ 10 – 30 ก.ก./ตร.ซ.ม.

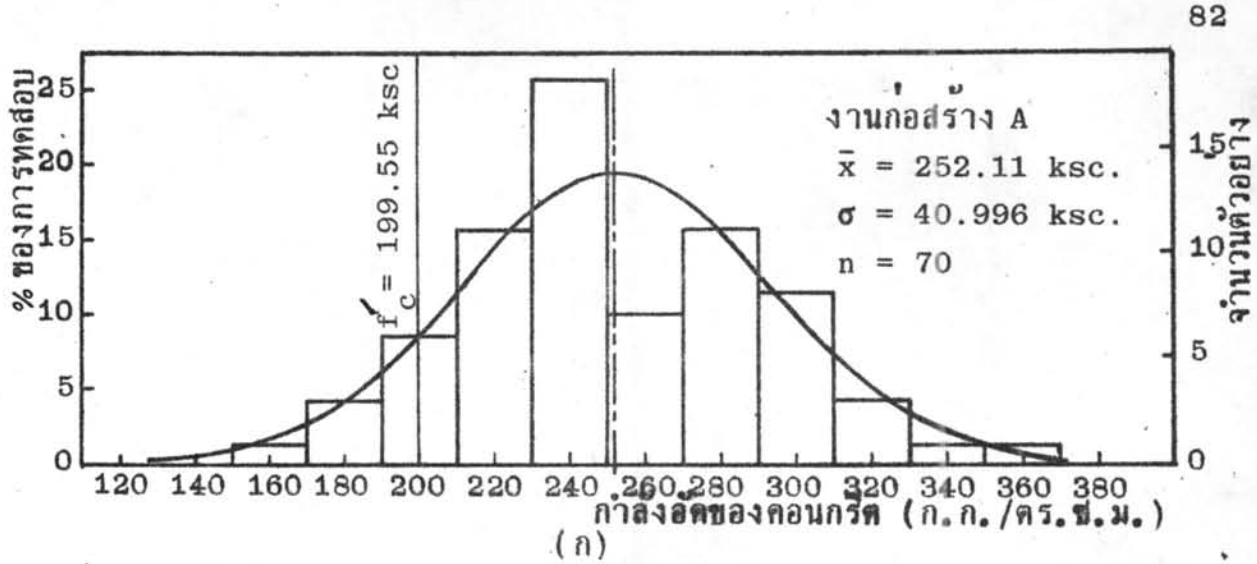
อัตราส่วนระหว่าง ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่ 28 วัน ต่อ ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่ 7 วัน จากงานก่อสร้างเดียวกันของทั้ง 2 ส่วนผสม จะมีค่าประมาณ 1.30 โดยส่วนผสมที่ 2 มีค่าอัตราส่วนดังกล่าวค่อนข้างต่ำกว่าส่วนผสมที่ 1 เล็กน้อย ซึ่งแสดงว่า คอนกรีต(จากส่วนผสมที่ 2)ที่มีปริมาณปูนซีเมนต์สูงกว่านั้น จะก่อตัวและรับแรงในระยะแรกได้รวดเร็วกว่า คอนกรีต(จากส่วนผสมที่ 1) ที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำกว่า

ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จากทั้ง 2 ส่วนผสม มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงประมาณ 35 ถึง 50 ก.ก./ตร.ซ.ม. จึงทำให้ส่วนผสมที่ 2 ซึ่งมีค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยสูงกว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรต่ำกว่าเล็กน้อย หรือสรุปได้ว่า การใช้คอนกรีตส่วนผสมที่ 2 ซึ่งมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมที่สูงกว่า มีการควบคุมคุณภาพดีกว่าการใช้คอนกรีตส่วนผสมที่ 1 ซึ่งมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมต่ำกว่า ดังจะเห็นจากการที่ระดับการควบคุมคุณภาพตามมาตรฐาน ACI 214-65 บ่งว่า การใช้คอนกรีตจากส่วนผสมที่ 1 มีการควบคุมคุณภาพ "พอใช้" ส่วนการใช้คอนกรีตจากส่วนผสมที่ 2 มีการควบคุมคุณภาพ "ดี" ค่อนข้างมาทาง "พอใช้" ที่เป็นดังนี้ก็เพราะ คอนกรีตส่วนผสมที่ 1 เป็นคอนกรีตที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างธรรมดาทั่วไป หรือถ้านำไปใช้กับงานก่อสร้างใหญ่ๆ ก็มักจะใช้ในส่วนของโครงสร้างที่มีความสำคัญรองลงไป แต่คอนกรีตส่วนผสมที่ 2 นั้นมักจะถูกนำไปใช้ในงานก่อสร้างใหญ่ๆที่มีความสำคัญ และมีความต้องการกำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 1 ทำให้การใช้คอนกรีตเป็นไปด้วยความระมัดระวังกว่า อีกทั้งงานก่อสร้างที่สำคัญกว่านี้ ก็มักจะใช้ผู้รับเหมาก่อสร้างระดับที่ดีกว่า และมีเครื่องทุ่นแรงมากกว่าด้วย การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตจึงอยู่ในระดับที่ดีกว่าเล็กน้อย

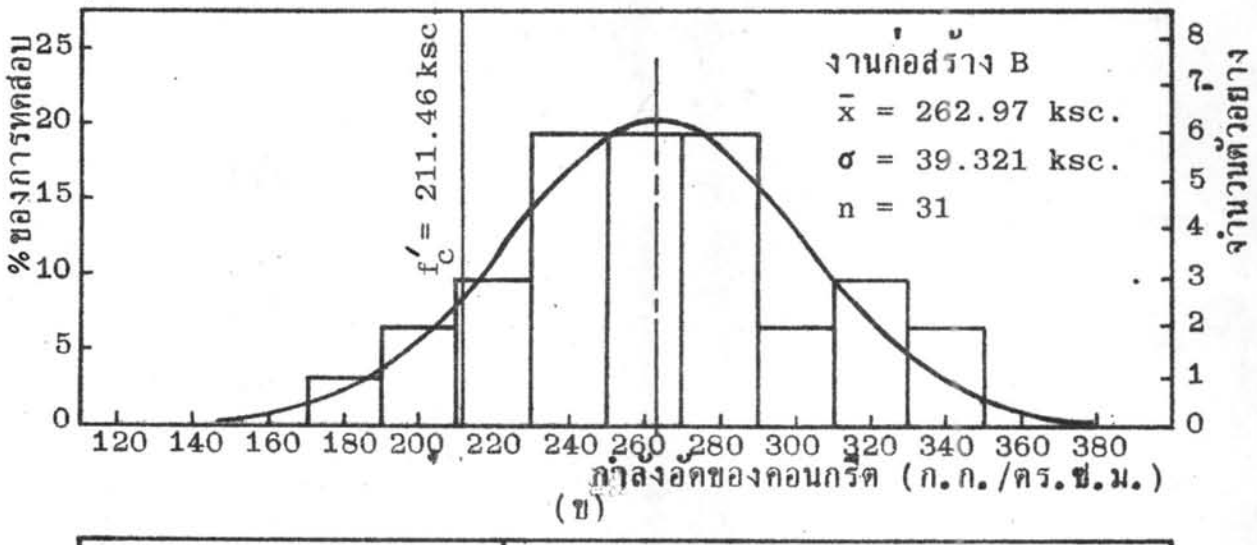
เพื่อแสดงให้เห็นรูปแบบการกระจายของข้อมูลการทดสอบ กับ เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถแทนรูปแบบการกระจายนี้ได้ด้วย ฟังก์ชันทางสถิติของเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ รูปที่ 5.2 และ 5.3 ได้นำข้อมูลการทดสอบมาแสดงในรูปของการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรม เพื่อเปรียบเทียบกับเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติที่ได้จากฟังก์ชันทางสถิติจากการคำนวณ โดยรูปที่ 5.2 (ก) ถึง (ฉ) เป็นกราฟของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 จากงานก่อสร้าง A ถึง F ตามลำดับ และรูปที่ 5.2 (ช) เป็นกราฟของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1 รวมทั้งหมด ส่วนรูปที่ 5.3 (ก) ถึง (ช) เป็นกราฟของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 จากงานก่อสร้าง G ถึง L ตามลำดับ และรูปที่ 5.3 (ฌ) ก็เป็นกราฟของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2 รวมทั้งหมด

จากรูปที่ 5.2 และ 5.3 ทั้งหมดจะเห็นว่า เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติ มีลักษณะและรูปแบบรวมใกล้เคียงกันกับ การแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรมมาก (ยกเว้นในรูปที่ 5.2 (จ) ของงานก่อสร้าง D ซึ่งแตกต่างกันมาก เนื่องจากข้อมูลการทดสอบมีน้อยเพียง 30 ตัวอย่างเท่านั้น) แสดงให้เห็นว่า เราสามารถแสดงถึงลักษณะและรูปแบบของข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตได้อย่างคร่าวๆโดยฟังก์ชันทางสถิติเพียง 2 ตัว คือ ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีต และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปร) เท่านั้น

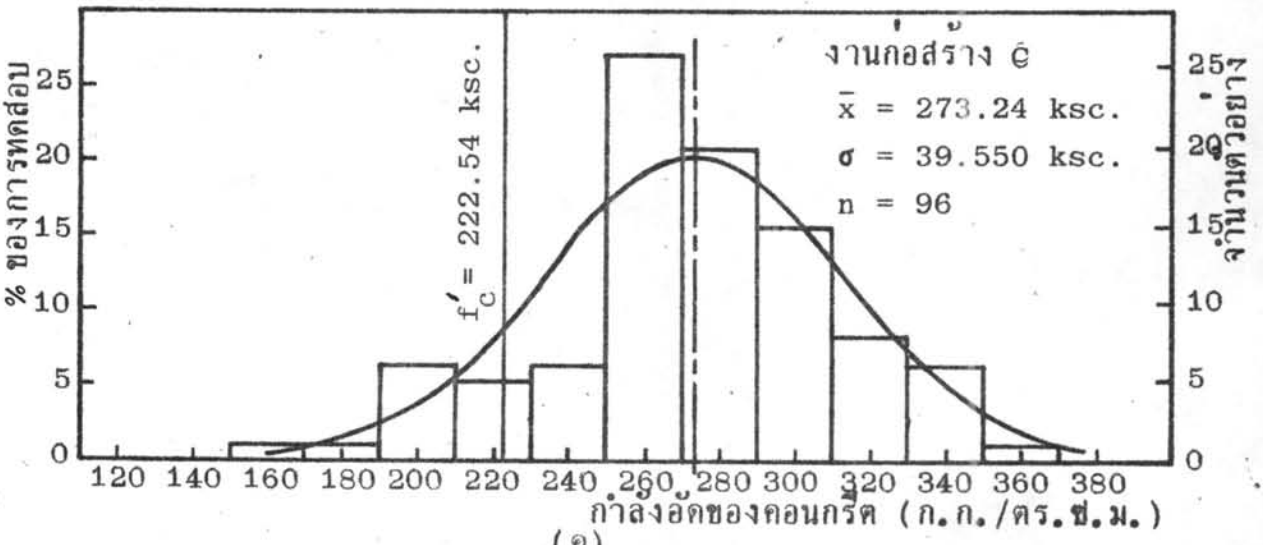
5.2.3 <u>ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพการทดสอบคอนกรีต</u> ตารางที่ 5.7 และ 5.8 แสดงผลการคำนวณ พิสัยเฉลี่ยในการทดสอบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ กับแสดงระดับการควบคุมคุณภาพของการทดสอบคอนกรีตในแต่ละงานก่อสร้างของคอนกรีตจากส่วนผสมที่ 1 และส่วนผสมที่ 2 ตามลำดับ แต่ที่เห็นว่างานก่อสร้างบางงานคือ งาน D ในส่วนผสมที่ 1 และงาน H,J และ L ในส่วนผสมที่ 2 ขาดหายไปนั้น ก็เพราะ งานก่อสร้างดังกล่าวเก็บตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วันเพียงตัวอย่างเดียวในรุ่นผสมหนึ่งๆ นอกจากนั้นในการคำนวณครั้งนี้ ได้ตัดค่ากำลังอัดส่วนที่ได้จากการเก็บตัวอย่างที่มีจำนวนตัวอย่างต่อรุ่นผสม ไม่ตรงกับตัวอย่างส่วนใหญ่ออก เพื่อนำค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตส่วนที่นำมาคำนวณหาพิสัยเฉลี่ยในการทดสอบที่แท้จริงเท่านั้นมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ ดังนั้นค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ย



(ก)

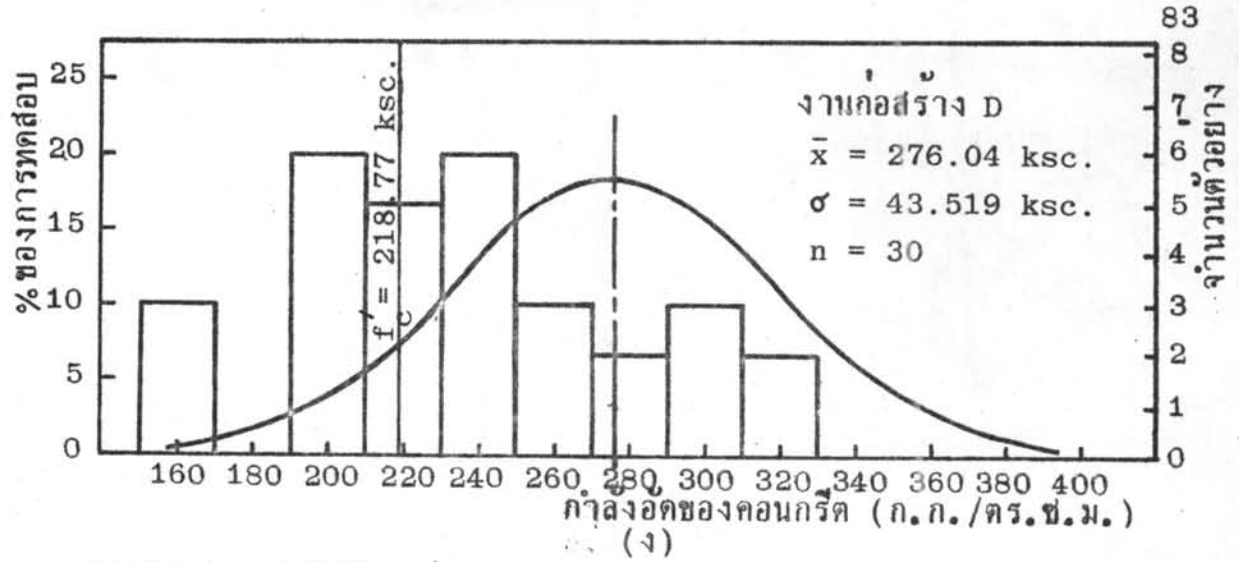


(ข)

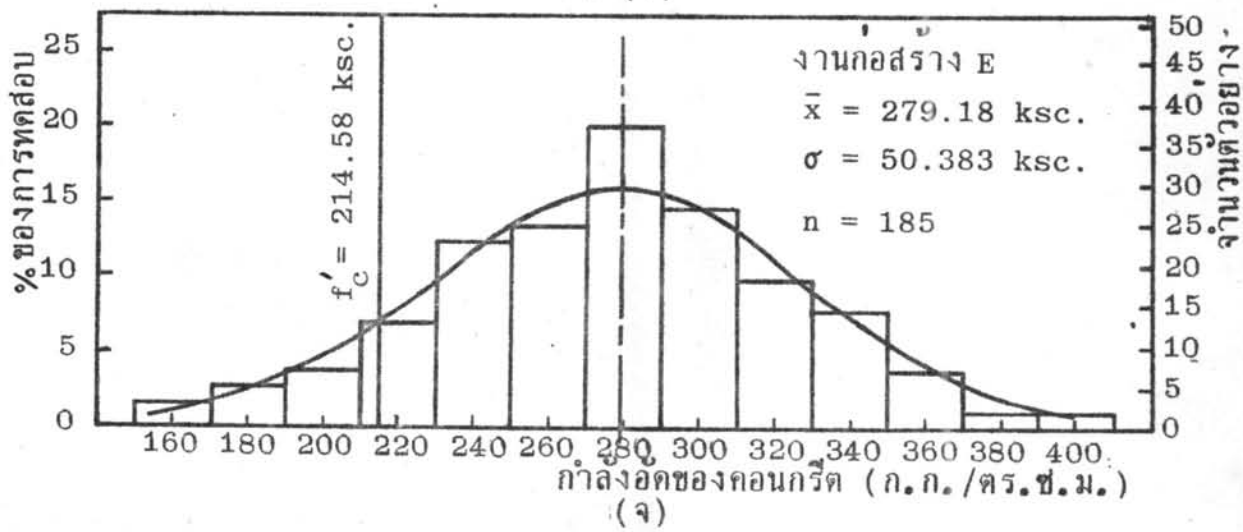


(ค)

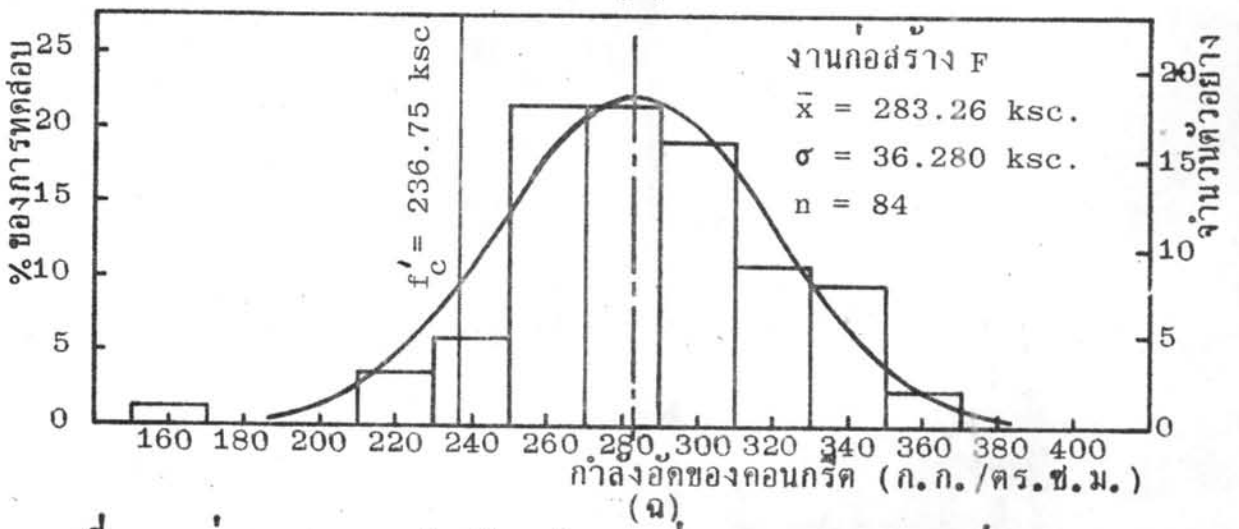
รูปที่ 5.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรมของข้อมูลการทดสอบ กับเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติจากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสมที่ 1



(ง)

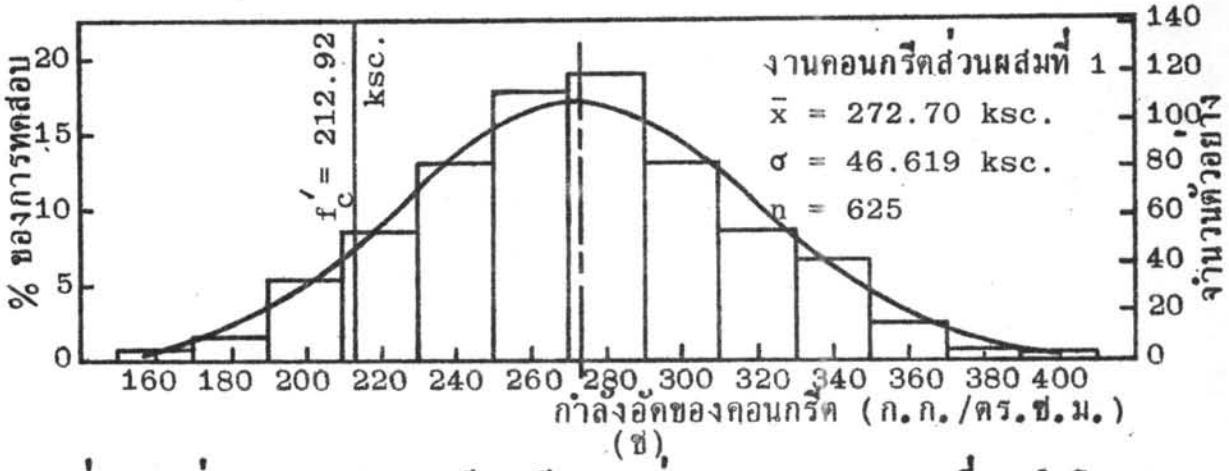


(จ)



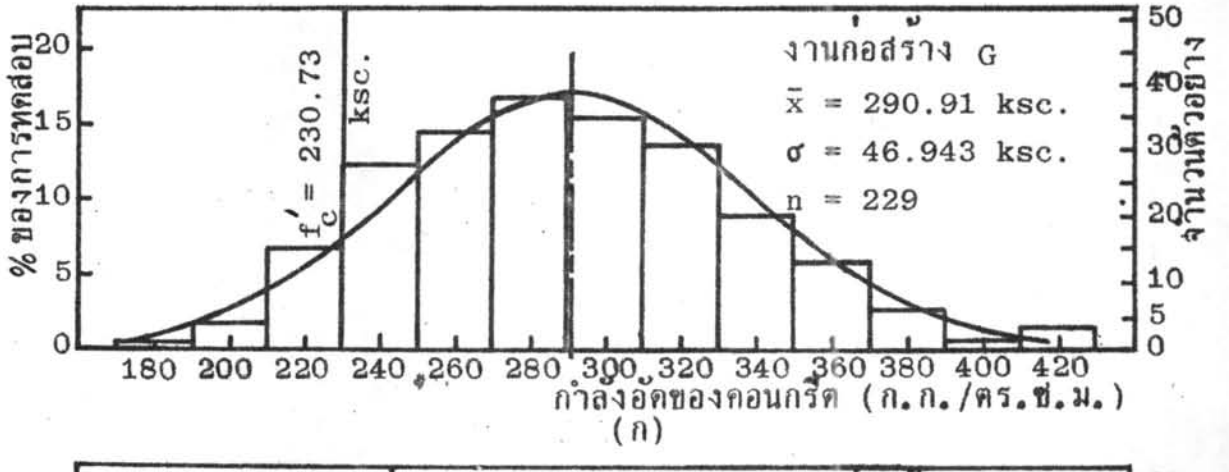
(ฉ)

รูปที่ 5.2 (ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรม ของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติจาก ฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสมที่ 1

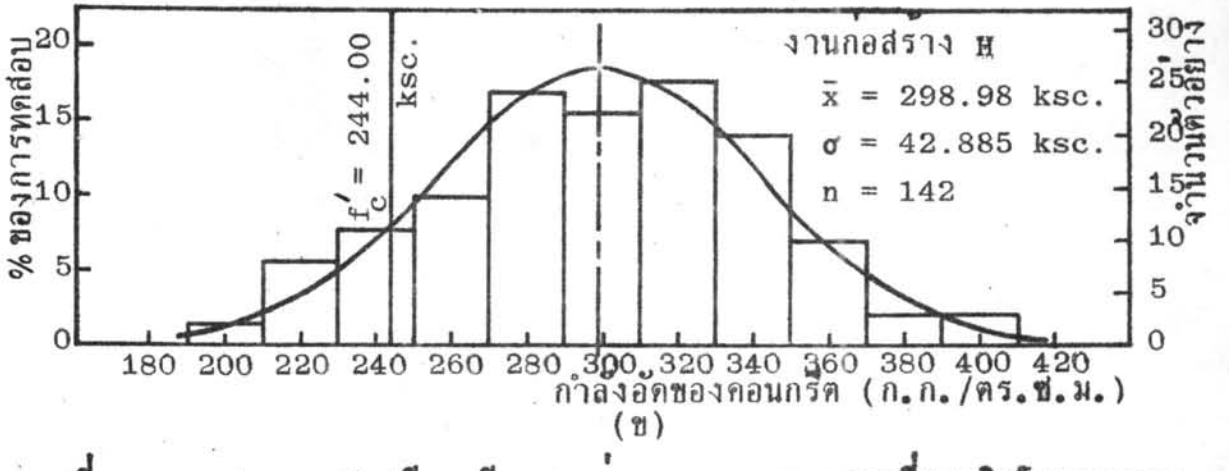


(ข)

รูปที่ 5.2(ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรมของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติจากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสมที่ 1

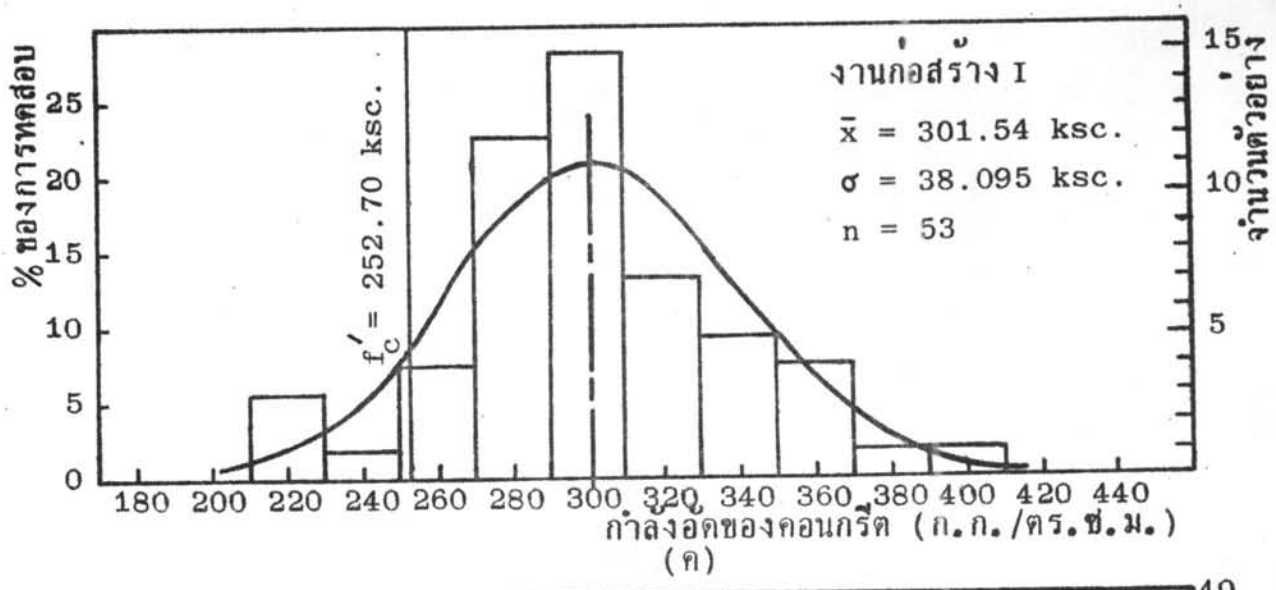


(ก)

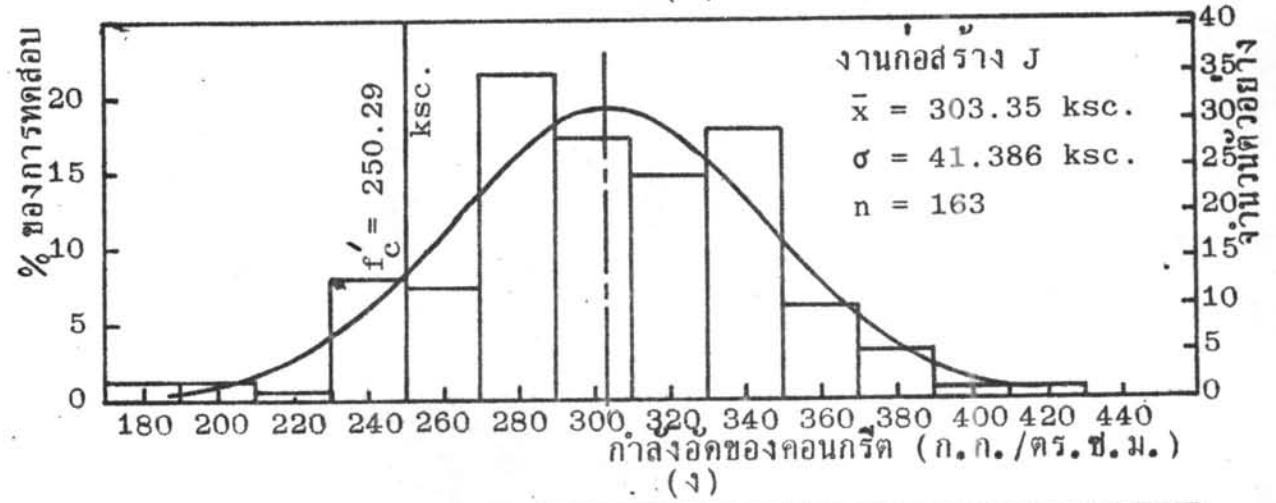


(ข)

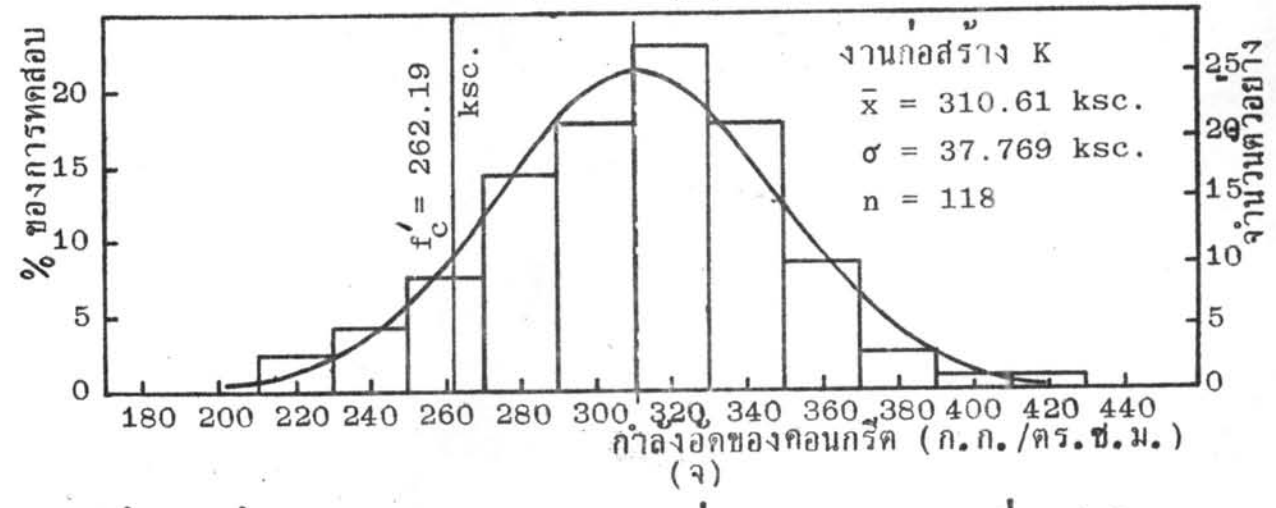
รูปที่ 5.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรมของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติจากฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสมที่ 2



(ค)

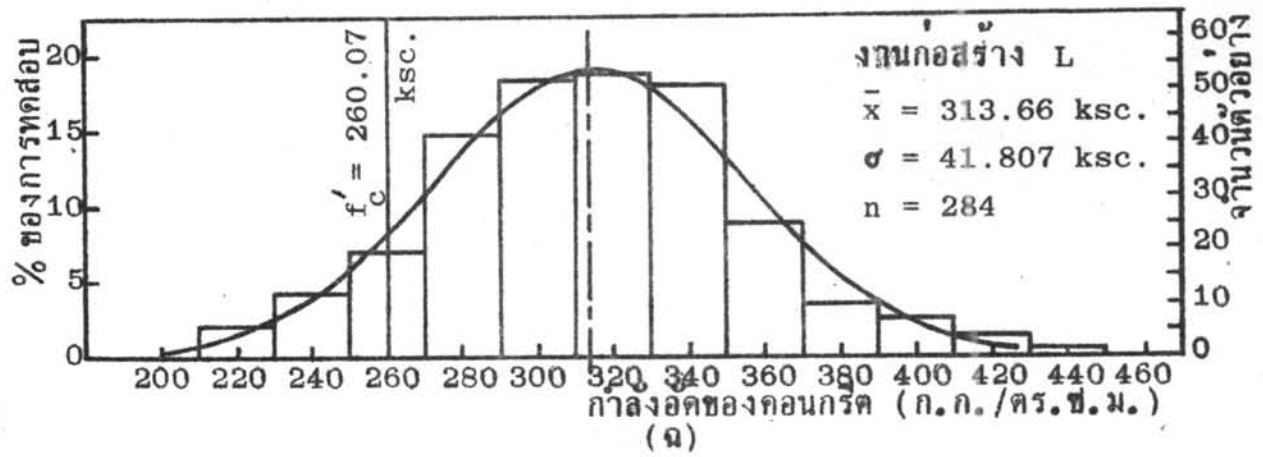


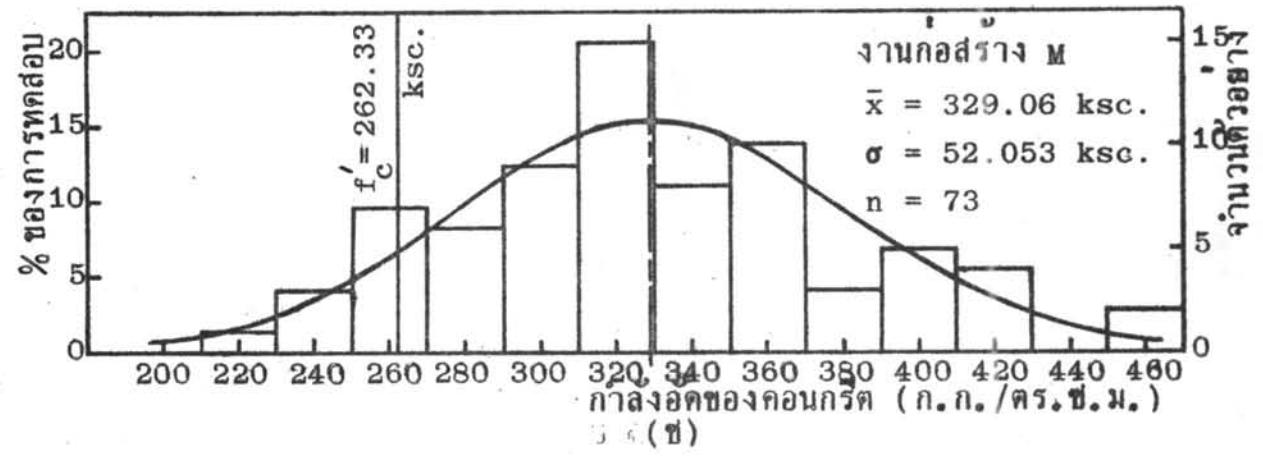
(ง)

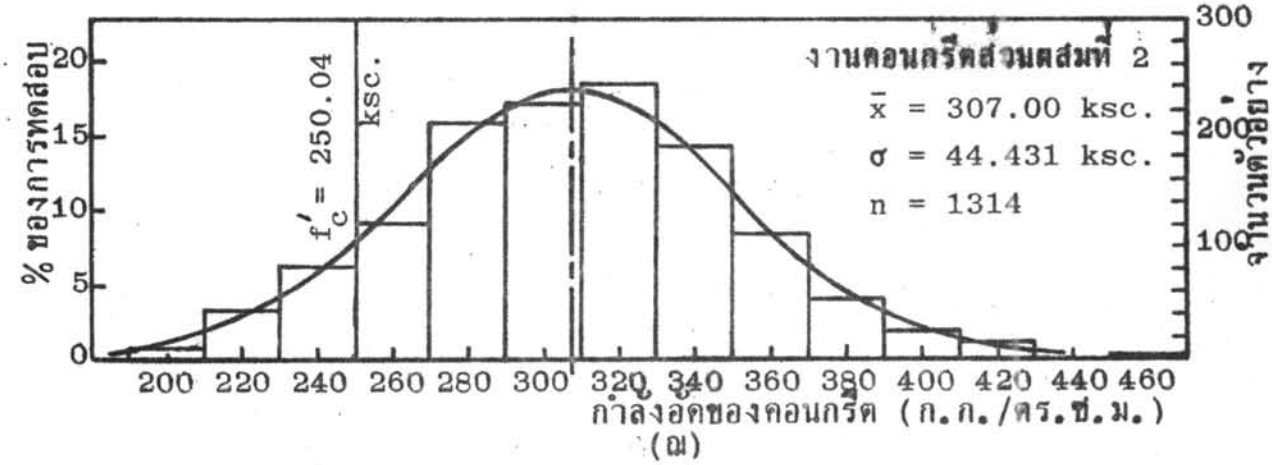


(จ)

รูปที่ 5.3 (ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรม ของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติจาก ฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสมที่ 2







รูปที่ 5.3(ต่อ) แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างการแจกแจงความถี่แบบฮิสโตแกรม ของข้อมูลการทดสอบ กับ เส้นโค้งของการแจกแจงความถี่แบบปกติจาก ฟังก์ชันทางสถิติของแต่ละงานก่อสร้าง สำหรับคอนกรีตส่วนผสมที่ 2

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพการทดสอบกอนกรีตส่วนผสมที่ 1 แยกตามงานก่อสร้าง ระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519

	①	②	③ = ②/①	④	⑤ = ④/①	⑥ = ⑤ × 1/d_2	⑦ = ⑥/③ ×100	ระดับการควบคุมการทดสอบ
	n	Σx	$\bar{x}$	ΣR	$\bar{R}$	σ_1	v_1	
งานก่อสร้าง A	41	10637.5	259.45	701	17.10	15.157	5.8	พอใช้–เลว
งานก่อสร้าง B	30	7834.0	261.13	536	17.87	15.839	6.1	เลว–พอใช้
งานก่อสร้าง C	83	22688.0	273.35	1512	18.22	16.149	5.9	พอใช้–เลว
งานก่อสร้าง E	157	44312.5	282.25	3191	20.32	18.018	6.4	เลว
งานก่อสร้าง F	57	16466.5	288.89	1177	20.65	18.305	6.3	เลว

ตารางที่ 5.8 ผลวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพการทดสอบกอนกรีตส่วนผสมที่ 2 แยกตามงานก่อสร้าง ระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2519

	①	②	③ = ②/①	④	⑤ = ④/①	⑥ = ⑤ × 1/d_2	⑦ = ⑥/③ ×100	ระดับการควบคุมการทดสอบ
	n	Σx	$\bar{x}$	ΣR	$\bar{R}$	σ_1	v_1	
งานก่อสร้าง G	204	59237.5	290.38	3859	18.92	16.770	5.8	พอใช้–เลว
งานก่อสร้าง I	49	14858.5	303.23	781	15.94	14.130	4.7	ดี
งานก่อสร้าง K	103	32100.5	311.66	1979	19.21	17.033	5.5	พอใช้
งานก่อสร้าง M	58	19192.0	330.90	1390	23.97	21.245	6.4	เลว

ของคอนกรีตในแต่ละงานก่อสร้าง จึงไม่ตรงกับค่าเฉลี่ยที่ได้คำนวณไว้แล้วในตารางที่ 5.5 และ 5.6

จากตารางที่ 5.7 และ 5.8 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การผันแปรเนื่องจากการทดสอบคอนกรีตทั้ง 2 ส่วนผสม มีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5.8 - 6.3 ซึ่งตามมาตรฐาน ACI 214-65 (ตารางที่ 5.2) ระบุว่า กายเกี่ยวอยู่ในช่วงการควบคุมคุณภาพการทดสอบคอนกรีตที่ "พอใช้" กับ "เลว" ทั้งนี้ก็เพราะสาเหตุ 2 ประการคือ

1. การดูแลตัวอย่างคอนกรีตหลังการหล่อลงแบบยกพร่อง เช่น ปล่อยให้กระสอบที่ใช้คลุมตัวอย่างคอนกรีตแห้งก่อนครบเวลา 24 ชั่วโมงที่จะแกะออกจากแบบ ทำให้กระทบกระเทือนถึงปริมาณน้ำในคอนกรีต ซึ่งจะส่งผลถึงกำลังอัดของคอนกรีต นอกจากนั้นการขนย้ายตัวอย่างคอนกรีตจากบริเวณก่อสร้างไปยังโรงผสมคอนกรีตเพื่อบ่ม และจากโรงผสมคอนกรีตไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบ ยังทำให้คอนกรีตได้รับการกระทบกระเทือนก่อนการทดสอบ

2. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต จากการไปสังเกตในห้องปฏิบัติการทดสอบ พบว่า มีข้อพกพร่องเนื่องจาก จำนวนตัวอย่างที่ต้องทดสอบในวันหนึ่งๆมีมากเกินกว่าที่ผู้ดำเนินการทดสอบจะมัวมากำนึงถึง การควบคุมอัตราการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกแก่ตัวอย่างคอนกรีตให้อยู่ในมาตรฐานการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ASTM C39 (ซึ่งกำหนดให้ใช้อัตราการเพิ่มน้ำหนักอยู่ในช่วง 90 ถึง 210 ก.ก./ตร.ซ.ม. ใน 1 นาที) ได้ จากการจับเวลาดู พบว่า การทดสอบคอนกรีตในห้องปฏิบัติการนี้ ใช้อัตราการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกสูงถึง 200 - 240 ก.ก./ตร.ซ.ม. ต่อนาที ซึ่งนับว่าสูงกว่ามาตรฐานมาก และที่สำคัญก็คือ อัตราการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกยังไม่สม่ำเสมอตลอดการทดสอบอีกด้วย

5.3 การปรับปรุงปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นจริง

ประโยชน์ของการประเมินผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตนั้น นอกจากจะทำให้ทราบถึงระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต และระดับการควบคุมคุณภาพการทดสอบแล้ว ยังทำให้ทราบถึง ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ย กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในสภาพการผลิตจริงอีกด้วย ผลในประการหลังนี้เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นจริง โดยใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งใน 2 วิธีที่จะกล่าวต่อไปนี้ คือ

5.3.1 การออกแบบส่วนผสมใหม่ การออกแบบส่วนผสม แต่เดิมจะมีข้อบกพร่องอยู่ 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนแรก เกิดจากการกำหนดค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยที่จะทำการผลิต (f_{cr}) ซึ่งจะกำหนดตามความพอใจ ให้สูงกว่าค่ากำลังอัดที่เป็นเป้าหมาย (f'_c) เป็นจำนวนส่วนร้อยละ 15 ถึง 20 การกำหนดด้วยวิธีนี้ทำให้ไม่สามารถระบุลงไปได้ว่ามีคอนกรีตส่วนที่มีค่ากำลังอัดต่ำกว่าเป้าหมายอยู่เป็นจำนวนส่วนร้อยละเท่าไร เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด ทำให้การรับรองกำลังอัดของคอนกรีตไม่สมบูรณ์

2. ขั้นตอนที่สอง ก็คือ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั้น กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตได้มาจากการผสมของโม่ผสมขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ซึ่งถ้านำส่วนผสมดังกล่าวไปผสมในรถผสมคอนกรีตที่สภาพสนามแล้ว กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตจะแตกต่างกันออกไปเล็กน้อย

สำหรับการแก้ไขการออกแบบส่วนผสมนั้น ทำโดยนำค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตที่เกิดขึ้นในสภาพสนามจริงของแต่ละส่วนผสม มาแสดงเป็น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ แทนค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการผสมของโม่ผสมขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ต่อจากนั้นก็กำหนดค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยที่จะทำการผลิต จากค่ากำลังอัดที่เป็นเป้าหมาย โดยคำนวณจากสมการที่ 5.9 และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการประเมินผลกับข้อกำหนดในการผลิตคอนกรีตที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 5.1.4

ในการวิจัยนี้ จะไม่แสดงตัวอย่างวิธีการออกแบบส่วนผสมใหม่ เพราะได้คำนวณหาค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตจากสภาพสนามจริงมาเพียง 2 ส่วนผสมเท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาแสดง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ได้อย่างน่าเชื่อถือเพียงพอ

5.3.2 <u>การกำหนดค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตใหม่</u> การปรับปรุงคอนกรีตด้วยวิธีแรกนั้นลำบากและยุ่งยาก ทั้งต้องเปลี่ยนแปลงปฏิภาคส่วนผสมอีกด้วย วิธีหลังนี้จะสะดวกกว่า เพราะไม่ต้องเปลี่ยนส่วนผสมของคอนกรีต เพียงแต่ระบุค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตเสียใหม่ให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นจริงโดยอาศัยสมการที่ 5.9 ทั้งนี้โดยสมมติให้ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตจากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 5.2.2 เป็นค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่จะทำการผลิต (f_{cr}) ส่วนเทอม v และ t ใช้สัมประสิทธิ์การผันแปร (หรือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วแต่ความเหมาะสม) ของการผลิตจริงจากหัวข้อที่ 5.2.2 และข้อกำหนดในการผลิตคอนกรีตจากหัวข้อที่ 5.1.4 ตามลำดับ ดังนั้น ค่ากำลังอัดที่เป็นเป้าหมาย (f_c') ที่คำนวณได้ ก็คือ ค่าใหม่ที่จะกำหนดเป็นค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งจะสอดคล้องกับสภาพการผลิต และ ข้อกำหนดในหัวข้อที่ 5.1.4 เช่น

จากสมการที่ 5.9 $$f_{cr} = \frac{f_c'}{1 - tv} = \frac{f_c'}{1 - t\frac{\sigma}{\bar{x}}}$$

$\because \bar{x} = f_{cr}$; $$1 = \frac{f_c'}{f_{cr} - t\sigma}$$

นั่นคือ $$f_c' = f_{cr} - t\sigma$$

ในงานก่อสร้าง $f_{cr} = \bar{x} = 252.11$ ก.ก./ตร.ซ.ม.

$\sigma = 40.996$ ก.ก./ตร.ซ.ม.

$t = 1.282$ (จากตารางที่ 5.4 เมื่อ $n - 1 > 30$)

$f_c' = 252.11 - (1.282 \times 40.996) = 199.55$ ก.ก./ตร.ซ.ม.

ตารางที่ 5.9 และ 5.10 แสดงค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีต และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการผลิตจริง กับค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตที่คำนวณได้

ตารางที่ 5.9 ผลการคำนวณหาค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตส่วนผสมที่ 1

	n_{28}	$f_{cr}(\bar{x}_{28})$ ก.ก./ตร.ซ.ม.	σ ก.ก./ตร.ซ.ม.	t	$f'_c = f_{cr} - t\sigma$ ก.ก./ตร.ซ.ม.
งานก่อสร้างA	70	252.11	40.996	1.282	199.55
งานก่อสร้างB	31	262.97	39.321	1.310	211.46
งานก่อสร้างC	96	273.24	39.550	1.282	222.54
งานก่อสร้างD	30	276.04	43.519	1.316	218.77
งานก่อสร้างE	185	279.18	50.383	1.282	214.58
งานก่อสร้างF	84	283.26	36.280	1.282	236.75
รวมทั้งหมด	625	272.69	46.619	1.282	212.92

ตารางที่ 5.10 ผลการคำนวณหาค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตส่วนผสมที่ 2

	n_{28}	$f_{cr}(\bar{x}_{28})$ ก.ก./ตร.ซ.ม.	σ ก.ก./ตร.ซ.ม.	t	$f'_c = f_{cr} - t\sigma$ ก.ก./ตร.ซ.ม.
งานก่อสร้างG	229	290.91	46.943	1.282	230.73
งานก่อสร้างH	142	298.98	42.885	1.282	244.00
งานก่อสร้างI	53	301.54	38.095	1.282	252.70
งานก่อสร้างJ	163	303.35	41.386	1.282	262.19
งานก่อสร้างK	118	310.61	37.769	1.282	260.07
งานก่อสร้างL	284	313.66	41.807	1.282	260.07
งานก่อสร้างM	73	329.06	52.053	1.282	262.33
รวมทั้งหมด	1514	307.00	44.431	1.282	250.04

ด้วยวิธีการข้างต้นของงานก่อสร้างแต่ละงาน สำหรับส่วนผสมที่ 1 และส่วนผสมที่ 2 ตามลำดับ ส่วนการกำหนดค่ารับรองกำลังอัดของคอนกรีตก็จะพิจารณาใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณรวมส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้น ในระดับการควบคุมคุณภาพที่เป็นอยู่ สามารถให้การรับรองได้ว่า คอนกรีตจากส่วนผสมที่ 1 และส่วนผสมที่ 2 จะมีกำลังอัดที่ 28 วันสูงกว่า 210 (หรือ 212.92) ก.ก./ตร.ซ.ม. และ 250 (หรือ 250.04) ก.ก./ตร.ซ.ม. ตามลำดับ โดยมีโอกาส 1 ใน 10 ที่ค่ากำลังอัดจากการทดสอบจะต่ำกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้นี้