

บทที่ 4 ผลการวิจัย

1 ลักษณะของโปรแกรม

โปรแกรมประมาณค่าการคืบและการหดตัวเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก 6 สำหรับระบบปฏิบัติการบนวินโดวส์ ดังนั้นความต้องการประสิทธิภาพเครื่องคอมพิวเตอร์ในการใช้โปรแกรมมีดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) มีความเร็วไม่น้อยกว่า 233 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)
2. หน่วยความจำ (RAM) ไม่น้อยกว่า 64 เมกะไบต์ (Mb)
3. พื้นที่ว่างสำหรับโปรแกรมบนฮาร์ดดิสก์ 100 เมกะไบต์ (Mb)
4. ซีดีรอม มีความเร็วไม่น้อยกว่า 12X
5. ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98 หรือวินโดวส์ที่สูงกว่า
6. ติดตั้งโปรแกรมไมโครซอฟท์เวิร์ด 97 (Microsoft Word 97) และไมโครซอฟท์เอ็กเซล 97 (Microsoft Excel 97) หรือสูงกว่า ก่อนติดตั้งโปรแกรม

1.1 การติดตั้งโปรแกรม

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมมีขั้นตอนดังนี้ คือ

1. นำแผ่นซีดีรอมใส่เข้าไปในซีดีรอมไดรฟ์ แล้วเลือกไฟล์ setup.exe จากแผ่นซีดีรอมจะแสดงภาพดังภาพที่ 4.1



2. เลือกการติดตั้งโปรแกรม โปรแกรมจะแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ (dialog box) ดังแสดงบนภาพที่ 4.2 เป็นการตั้งชื่อกลุ่มที่จะแสดงบน Start \ Programs แล้วทำงานต่อ

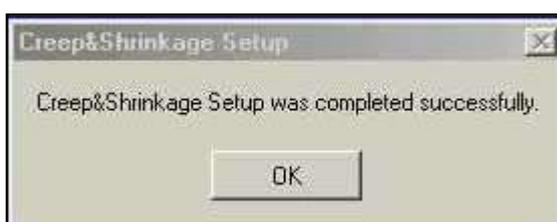


ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงการตั้งชื่อกลุ่มที่จะแสดงบน Start \ Programs

3. โปรแกรมจะทำการติดตั้งตั้งแสดงบนภาพที่ 4.3 เริ่มจาก 0 ถึง 100 % และเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จโปรแกรมจะแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ดังภาพที่ 4.4



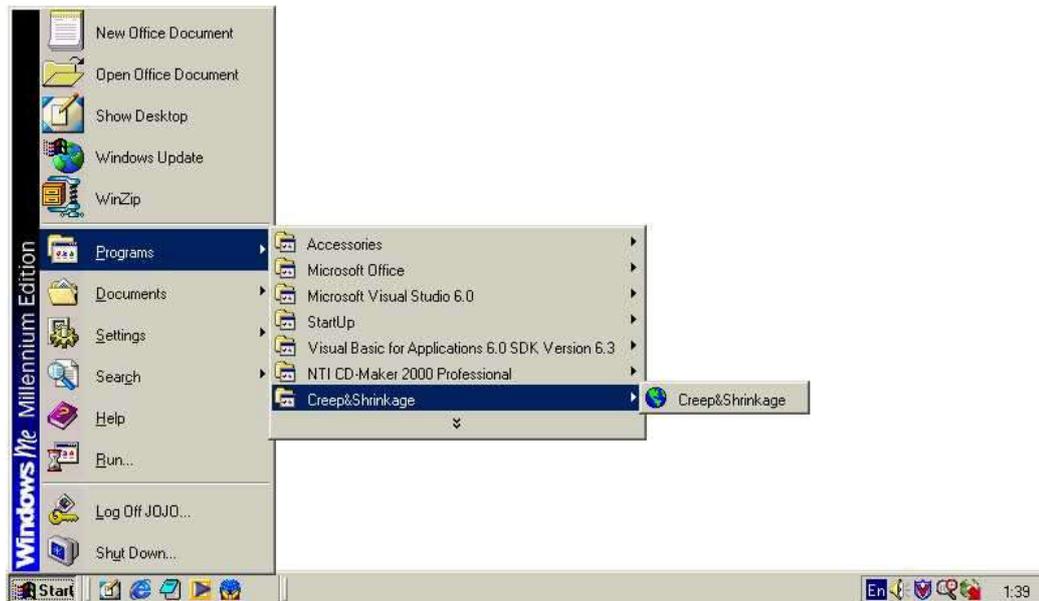
ภาพที่ 4.3 ภาพแสดงการติดตั้งไฟล์จากแผ่นซีดีรอม



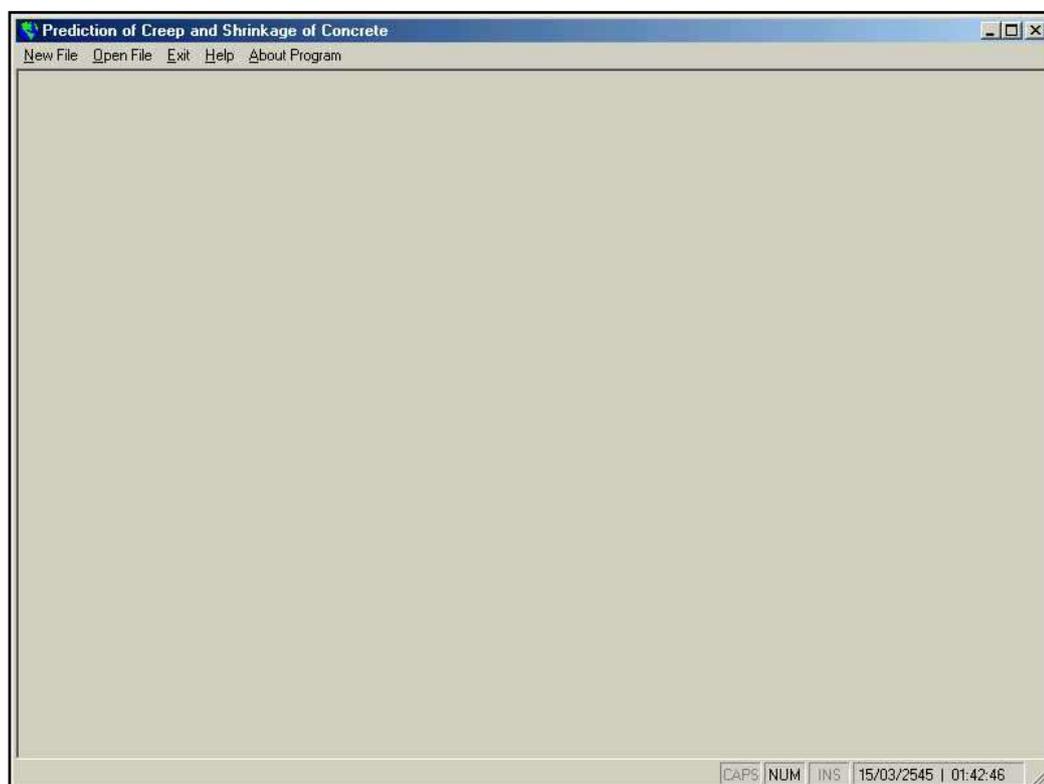
ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์

4. เมื่อติดตั้งเสร็จแล้ว เลือกปุ่ม Start \ Programs จะมีกลุ่มที่ตั้งชื่อในขั้นตอนที่ 2 แสดงอยู่ ดังรูปภาพที่ 4.5 เมื่อรันโปรแกรมจะเป็นดังรูปภาพที่ 4.6

5. ในกรณีการติดตั้งไม่สมบูรณ์ดังข้างต้นนี้ต้องทำการติดตั้งใหม่ เนื่องจากการติดตั้งครั้งแรกเป็นการปรับเปลี่ยนไดรเวอร์ของระบบที่มีเวอร์ชันต่ำกว่าไดรเวอร์ของโปรแกรม



ภาพที่ 4.5 ภาพแสดงตำแหน่งของโปรแกรมบน Start \ Programs



ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงหน้าจอแรกของการใช้โปรแกรม

1.2 การใช้โปรแกรม

แสดงขั้นตอนการใช้โปรแกรมดังตัวอย่างนี้

1. เริ่มการใช้โปรแกรมจากภาพที่ 4.5 เมื่อโปรแกรมทำงานจะแสดงดังภาพที่ 4.6 เป็นหน้าจอแรกที่เริ่มโปรแกรมทำงาน จะมีเมนูการใช้เฉพาะ New, Open, Help และ AboutProgram เมื่อเริ่มงานใหม่จะแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ดังภาพที่ 4.7 ให้เลือกวิธีการประมาณค่าขององค์กร มี 10 วิธี ในส่วนของ Combined Results เป็นการนำผลของการรันในวิธีต่าง ๆ มาแสดงเปรียบเทียบกัน
2. เมื่อเลือกวิธี ACI : 1992 จะแสดงดังภาพที่ 4.8 แสดงข้อมูลที่ต้องการให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลในการประมาณค่า เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จทำการรันโปรแกรม จะได้ผลการคำนวณดังแสดงในรูปภาพที่ 4.9, 4.10 และ 4.11
3. เมื่อต้องการนำผลการทดสอบมาแสดงเปรียบเทียบภาพกราฟของการคำนวณจะสามารถกรอกข้อมูลได้ในแท็บข้อมูลการทดสอบ(experimental data tab) แสดงดังภาพที่ 4.12 และเมื่อต้องการพิมพ์ข้อมูลเลือกเมนูพิมพ์(print menu) จะแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ดังภาพที่ 4.13 เพื่อเลือกข้อมูลในการพิมพ์
4. เมื่อต้องการนำผลการรันในวิธีต่าง ๆ มาแสดงเปรียบเทียบด้วยรูปภาพให้เลือก Combined Results เป็นการนำผลของการรันมาแสดงเปรียบเทียบด้วยรูปภาพ ดังแสดงหน้าจอการนำข้อมูลที่ทำการรันแล้วมาเปรียบเทียบในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ของการเลือกวิธีการประมาณ

Prediction of Creep and Shrinkage of Concrete - [Untitled]

New File Open File Save Close Print Clear All Change Methods Combined Results Exit Help About Program

American Concrete Institute :1992

Input Data Experimental Data Results Graph - Creep Graph - Shrinkage RUN CLEAR

General Data

Relative Humidity: 60 %
 Equivalent Thickness (Drying Path Hypothesis: Td) ?
 Average Thickness (T_a): 200 mm
 Type of Cement: I
 Type of Curing: moist curing
 Age at Time Consideration: 365 Days
 Slump: 120 mm
 Fine Aggregate/ Total Aggregate Ratio: 40 %
 Air Content: 2 %

Creep

Estimated Elastic Modulus:
 Age at loading: 14 Days
 Cylinder Strength: 40 MPa
 Applied Stress: 7 MPa
 Unit Weight: 2400 kg/m³
 Age at loading: 14 Days

Shrinkage

Shrinkage
 Moist curing duration: 7 Days
 Age at Start of Drying: 8 Days
 Cement Content: 340 kg/m³

Graph output at various age

Point	Days
PC.1	10
PC.2	15
PC.3	21
PC.4	31
PC.5	45

Point	Days
PS.1	10
PS.2	15
PS.3	21
PS.4	31
PS.5	45

CAPE NUM INE 15/04/2545 | 22:17:18

ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงหน้าจอวิธีการประมาณของ ACI : 1992

Prediction of Creep and Shrinkage of Concrete - [Untitled]

New File Open File Save Close Print Clear All Change Methods Combined Results Exit Help About Program

American Concrete Institute :1992

Input Data Experimental Data Results Graph - Creep Graph - Shrinkage

Creep

Prediction of Creep:

Relative Humidity = 60.0000 %
 Average Thickness (T_a) = 200.0000 mm.
 Type of Cement = Type I
 Type of Curing = moist curing
 Age at Time Consideration = 365 Days
 Slump = 120.0000 mm.
 Fine / Total Aggregate Ratio = 40.0000 %
 Air Content = 2.0000 %
 Cylinder Strength = 40.0000 MPa
 Applied Stress = 7.0000 MPa
 Unit Weight = 2,400.0000 kg/cu
 Age at loading = 14 Days
 Modulus of Elasticity at loading = 30,004.0600 MPa
 Strength of Concrete at loading = 35.2200 MPa
 Correction Factors
 - Loading Age = 0.9200
 - Relative Humidity = 0.8700
 - Average Thickness = 0.9600
 - Slump = 1.1400
 - Fine/Total Aggregate Ratio = 0.9800
 - Air Content = 1.0000
 The Applicable Correction Factors = 0.8580
 Creep Coefficient = 1.5545
 Creep (365 Days) = 362.6767 Microst
 Ultimate Creep = 473.3464 Microst

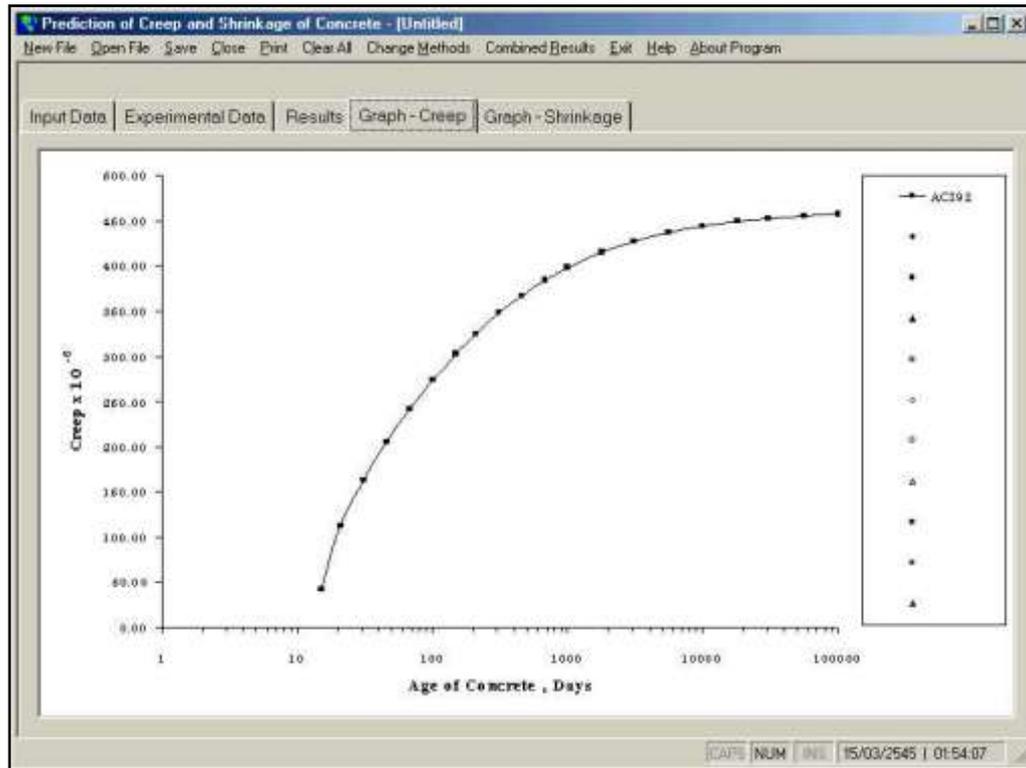
Shrinkage

Prediction of Shrinkage:

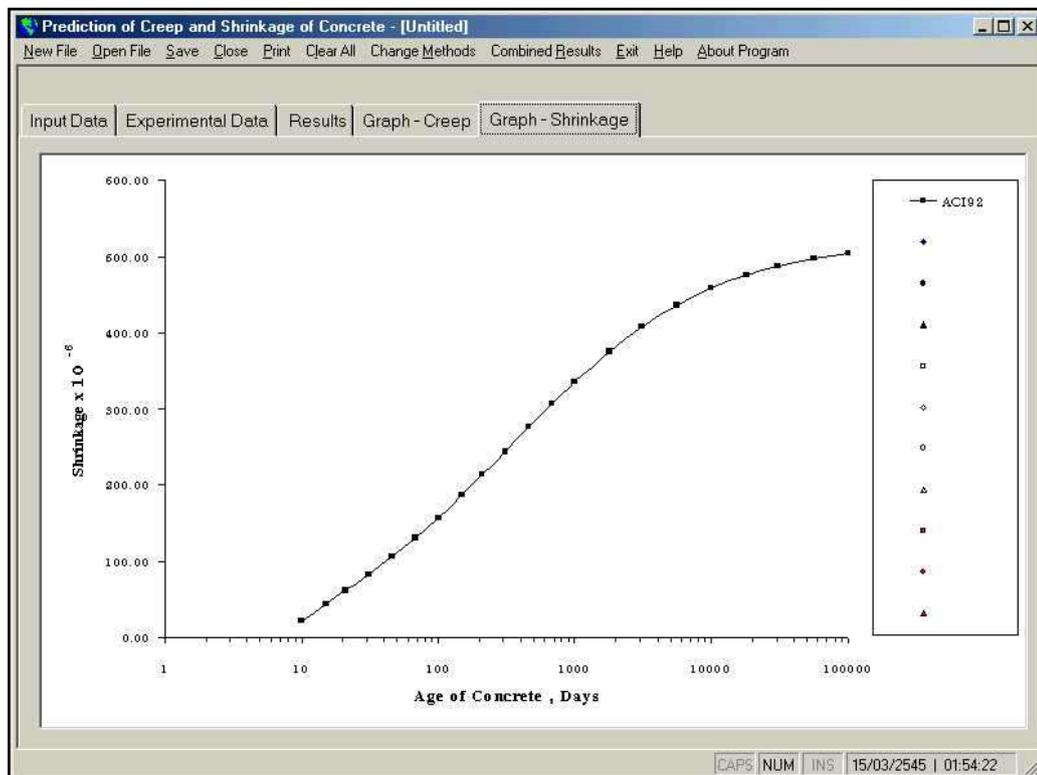
Relative Humidity = 60.0000 %
 Average Thickness (T_a) = 200.0000 mm.
 Type of Cement = Type I
 Type of Curing = moist curing
 Age at Time Consideration = 365 Days
 Slump = 120.0000 mm.
 Fine Aggregate/ Total Aggregate Ratio = 40.0000 %
 Air Content = 2.0000 %
 Moist curing duration = 7 Days
 Age at Start of Drying = 8 Days
 Cement Content = 340.0000 kg/cu
 Correction Factors
 - Initial moist curing = 1.0000
 - Relative Humidity = 0.8600
 - Average Thickness = 0.9300
 - Slump = 1.0800
 - Fine/Total Aggregate Ratio = 0.8600
 - Cement Content = 0.9600
 - Air Content = 0.9700
 The Applicable Correction Factors = 0.6430
 Shrinkage (365 Days) = 448.6573 Microst
 Ultimate Shrinkage = 493.9001 Microst

CAPE NUM INE 15/04/2545 | 22:18:36

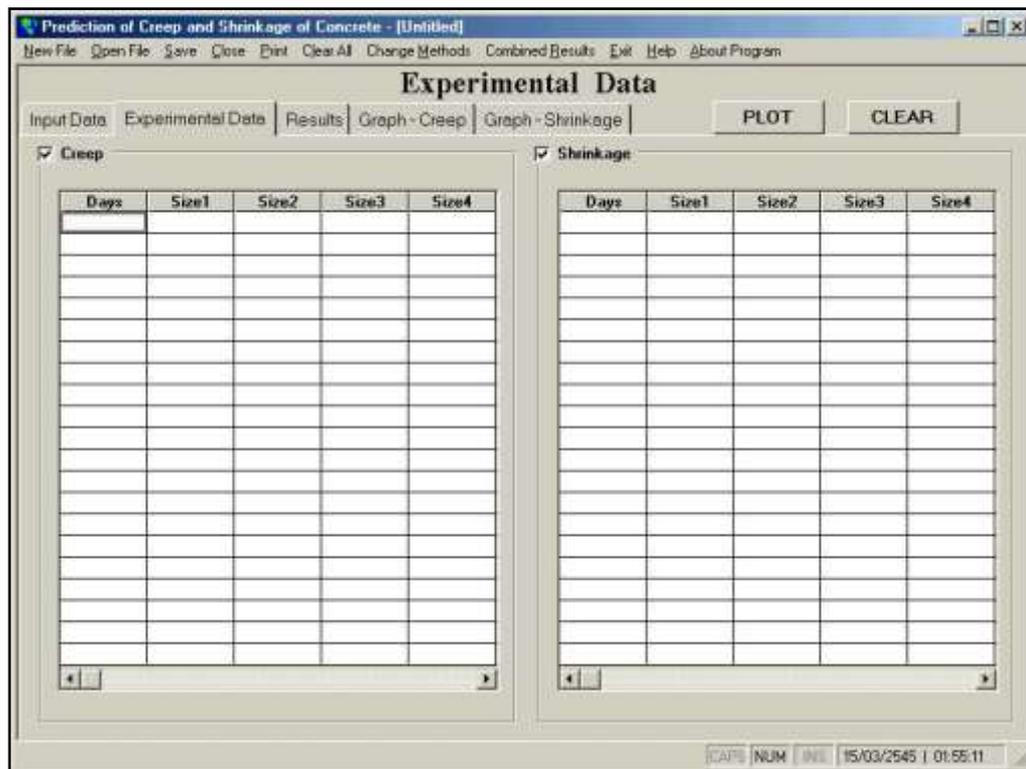
ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงผลการรันเป็นตัวเลข



ภาพที่ 4.10 ภาพแสดงผลการรันเป็นภาพกราฟของการคืบ



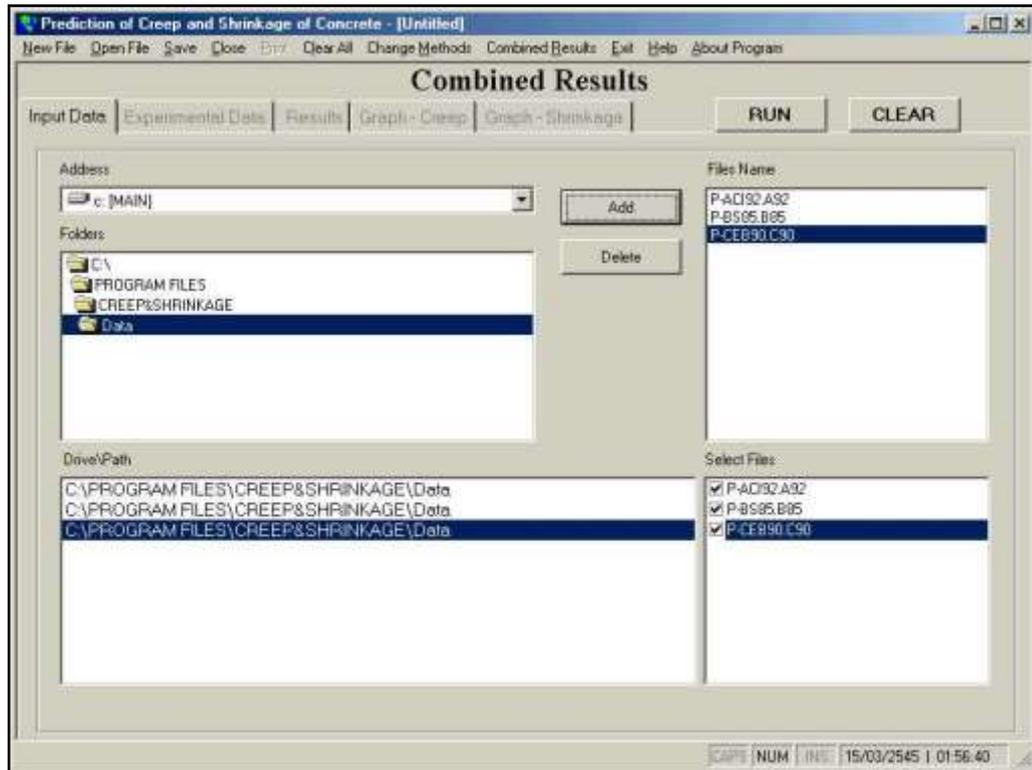
ภาพที่ 4.11 ภาพแสดงผลการรันเป็นภาพกราฟของการหดตัว



ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงหน้าจอการกรอกข้อมูลการทดสอบ



ภาพที่ 4.13 ภาพแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ของการเลือกพิมพ์ผลการคำนวณ



ภาพที่ 4.14 ภาพแสดงหน้าจอวิธีที่นำผลการรันของวิธีต่างๆมาเปรียบเทียบกับรูปกราฟ

2 ผลการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่มีผู้ทำอยู่แล้ว

นำผลการทดสอบของ Vadhanavikkit C. และ Bryant A.H. ในการทดสอบที่ประเทศนิวซีแลนด์ มาเป็นตัวอย่างในการคำนวณโดยมีข้อมูลต่างๆดังนี้

1. ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ I
2. $f_c' = 40 \text{ MPa}$
3. อายุของคอนกรีตที่เริ่มรับน้ำหนัก 14 วัน
4. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตอายุ 14 วัน 28 GPa
โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตอายุ 28 วัน 29.8 GPa
5. น้ำหนักบรรทุก $\sigma = 7 \text{ MPa}$
6. ระยะเวลาของการบ่มขึ้น 7 วัน
7. อายุของคอนกรีตเมื่อเริ่มแห้ง 8 วัน
8. ความชื้นของสภาพแวดล้อม 60 %
9. ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด 120 mm
10. ปริมาณปูนซีเมนต์ 390 kg/m^3
11. ปริมาณมวลรวมหยาบ $1,191 \text{ kg/m}^3$
12. ปริมาณมวลรวมละเอียด 794 kg/m^3
13. ปริมาณน้ำ 183 kg/m^3
14. ปริมาณอากาศ 2 %
15. หน่วยน้ำหนักคอนกรีต $2,400 \text{ kg/m}^3$

การคำนวณใช้โปรแกรมคำนวณตามข้อมูลของผลการทดสอบขนาดและลักษณะของชิ้นทดสอบดังตารางที่ 4.1 ซึ่งมีลักษณะของชิ้นส่วน 2 ลักษณะคือ ตัวอย่างแผ่นพื้น และตัวอย่างหน้าตัดจัตุรัส

ตารางที่ 4.1 ขนาดและลักษณะของชิ้นทดสอบ

โมเดลชิ้นทดสอบ	ขนาด (มม.)
100-mm slab	100 X 100 X 400
150-mm slab	150 X 150 X 600
200-mm slab	200 X 200 X 800
300-mm slab	300 X 300 X 1200
400-mm slab	400 X 400 X 1600
100-mm square prism	100 X 100 X 400
150-mm square prism	150 X 150 X 600
200-mm square prism	200 X 200 X 800
300-mm square prism	300 X 300 X 1200
400-mm square prism	400 X 400 X 1600

(Vadhanavikkit, Bryant, 1987)

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวเทียบกับเส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย

โมเดลชิ้นทดสอบ	สองเท่าของอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว ($2V/S$), มม.	สี่เท่าของเส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย ($T_d = 4dp$), มม.
100-mm slab	100	100
150-mm slab	150	150
200-mm slab	200	200
300-mm slab	300	300
400-mm slab	400	400
100-mm square prism	50	66.67
150-mm square prism	75	100
200-mm square prism	100	133.33
300-mm square prism	150	200
400-mm square prism	200	266.67

(Vadhanavikkit, Bryant, 1987)

2.1 ผลการทดสอบค่าการหดตัวเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ

นำข้อมูลมาคำนวณโดยใช้โปรแกรมประมาณค่าการคืบและการหดตัวของงานวิจัย การใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวของตัวอย่างทดสอบคำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 การประมาณค่าจะคำนวณค่าทั้ง 10 วิธี โดยใช้ทั้ง 5 ขนาดและ 2 รูปร่างของตัวอย่างดังตารางที่ 4.1

ผลการคำนวณค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. แสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.1 ถึง ข.5 ตามลำดับ และผลการคำนวณของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. แสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.6 ถึง ข.10 ตามลำดับ เมื่อนำผลการคำนวณมาแสดงรูปภาพระหว่างผลการคำนวณเทียบกับเวลาในแต่ละตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูปภาพภาพที่ 4.15 ถึง 4.19 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ กับผลทดสอบของตัวอย่างพื้นขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. ตามลำดับ จากรูปภาพกราฟของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 100 มม. พบว่าค่าที่คำนวณได้ของแต่ละวิธีมีการกระจายตัวห่างกันมาก เมื่อเทียบกับตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นจนถึงขนาด 400 มม. ค่าที่คำนวณได้จะเข้าใกล้เป็นกลุ่มเดียวกัน ยกเว้นวิธีการของสมาคมคอนกรีตอเมริกาที่มีการพัฒนาค่าของการคำนวณแตกต่างจากผลการทดสอบอย่างเห็นได้ชัดเจนในรูปภาพภาพที่ 4.19

ในทำนองเดียวกันของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสเมื่อนำมาแสดงในรูปภาพภาพที่ 4.20 ถึง 4.24 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ กับผลการทดสอบของตัวอย่างหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. ตามลำดับ จากรูปภาพกราฟของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100 มม. พบว่าการพัฒนาเป็นรูปแบบเดียวกันกับตัวอย่างทดสอบพื้น และเมื่อขนาดใหญ่ขึ้นก็เป็นรูปแบบเดียวกัน ดังนั้นจากภาพกราฟแสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการของสมาคมคอนกรีตอเมริกาเมื่อตัวอย่างทดสอบมีขนาดใหญ่ขึ้นรูปแบบการพัฒนายิ่งจะแตกต่างจากผลการทดสอบมากขึ้น

เมื่อนำผลการคำนวณของแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยใช้สถิติวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อน[8] เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนในที่นี้ไม่นำผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตอังกฤษมาพิจารณาเนื่องจากผลการคำนวณได้แสดงค่าได้สองค่าผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าผลการคำนวณของค่าสัมประสิทธิ์รวมของสมาคมคอนกรีตอเมริกาให้ค่าต่ำที่สุด คือ 36.5 ถึง 38.1% ถัดมาวิธีการของบราซิลมีค่า 57.2 ถึง 66.7% และวิธีการที่มีค่ามากที่สุดคือ สมาคมคอนกรีตยุโรป มีค่า 62 ถึง 81.3%

2.2 ผลการทดสอบค่าการคืบเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ

การเปรียบเทียบผลการคำนวณของค่าการคืบทำเช่นเดียวกับค่าการหดตัวในหัวข้อ 2.1 จะได้ผลดังนี้

ผลการคำนวณค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. แสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.11 ถึง ข.15 ตามลำดับ และผลการคำนวณของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. แสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.16 ถึง ข.20 ตามลำดับ เมื่อนำผลการคำนวณมาแสดงรูปภาพระหว่างผลการคำนวณเทียบกับเวลาในแต่ละตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูปภาพภาพที่ 4.20 ถึง 4.24 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ กับผลทดสอบของตัวอย่างพื้นขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. ตามลำดับ และรูปภาพภาพที่ 4.20 ถึง 4.24 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ กับผลทดสอบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100, 150, 200, 300 และ 400 มม. ตามลำดับ จากภาพกราฟทุกตัวอย่างทดสอบวิธีการของสมาคมคอนกรีตอเมริกาให้ค่าการคำนวณต่ำกว่าผลการทดสอบ ส่วนสมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 78 มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบเมื่อ

ขนาดตัวอย่างทดสอบเล็กและจะมีค่าสูงในขนาดตัวอย่างทดสอบใหญ่ แต่สำหรับสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 90 จะให้ค่าตรงกันข้ามกับสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 78 และสำหรับสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 70 ให้ค่าใกล้เคียงเฉพาะขนาดตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดตั้งแต่ 200 มม.ลงไปส่วนขนาดที่ใหญ่กว่า 200 มม.แนวการพัฒนาค่าแตกต่างจากผลการทดสอบ สำหรับวิธีการของบาชอนท์ในอายุเริ่มแรกจะมีค่าสูงกว่าผลการทดสอบ

เมื่อนำผลการคำนวณของแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยใช้สถิติวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อน[8] ในที่นี้ไม่นำผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตอังกฤษมาพิจารณาเนื่องจากผลการคำนวณได้แสดงค่าได้เพียงหนึ่งค่า ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการคืบแสดงในตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณของค่าสัมประสิทธิ์รวมของสมาคมคอนกรีตยุโรปให้ค่าต่ำที่สุด คือ 20 ถึง 28.1% ถัดมาเป็นวิธีการของบาชอนท์มีค่า 28.6 ถึง 36.6% และวิธีการที่มีค่ามากที่สุดคือ สมาคมคอนกรีตอเมริกามีค่า 48.8%

3 แนวทางในการพิจารณารูปแบบการประมาณค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตที่เหมาะสมกับประเทศ

ผลการคำนวณค่าประมาณการคืบและการหดตัวของคอนกรีตทั้ง 10 วิธี เมื่อนำมาเทียบกับผลการทดสอบทั้ง 10 ตัวอย่าง ยังมีค่าคลาดเคลื่อนที่สูง ดังนั้นการนำไปใช้งานในประเทศของผลการทดสอบจะต้องพิจารณาเลือกวิธีการประมาณค่าที่ใกล้เคียงและเหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการพิจารณารูปแบบอีกทางหนึ่ง โดยพิจารณาจากผลการคำนวณของแต่ละวิธีนำมาทำการปรับแก้โดยใช้ค่าคงที่คูณเข้ากับผลการคำนวณเพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด และเลือกแนวการพัฒนาค่าไปในรูปแบบเดียวกัน

3.1 ปรับแก้ผลการคำนวณค่าการหดตัวของวิธีต่าง ๆ

นำผลการทดสอบและผลการคำนวณของแต่ละตัวอย่างทดสอบของวิธีเดียวกันมาแสดงในรูปภาพกราฟที่ 4.35 ถึง 4.42 แสดงค่าการทดสอบเทียบกับผลการคำนวณของวิธีการสมาคมคอนกรีตอเมริกาในปี 1971, สมาคมคอนกรีตอเมริกาในปี 1992, สมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 1970, สมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 1978, สมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 1990, วิธีการของบาชอนท์ในปี 1978, วิธีการของบาชอนท์ในปี 1991 และ วิธีการของบาชอนท์ในปี 1995 ตามลำดับ จากภาพกราฟที่ 4.35 กับ 4.36 ของสมาคมคอนกรีตอเมริกา การกระจายของผลการคำนวณไม่เป็นในลักษณะของเส้นตรงเมื่อขนาดของตัวอย่างใหญ่ขึ้น แสดงถึงแนวการพัฒนาค่าการคำนวณไม่เป็นในรูปแบบเดียวกันกับผลการทดสอบ ภาพกราฟที่ 4.37 ถึง 4.39 ของสมาคมคอนกรีตยุโรปมีลักษณะในแนวของเส้นตรงทุกตัวอย่าง และภาพกราฟที่ 4.40 ถึง 4.42 วิธีการของบาชอนท์มีลักษณะในแนวของเส้นตรงเช่นกัน

ภาพกราฟที่ 4.35 ถึง 4.42 แสดงถึงแนวการพัฒนาค่าการคำนวณนำมาหาความชันของกราฟจากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่ผ่านจุด $x=0$ และ $y=0$ ของแต่ละตัวอย่างทดสอบ แสดงค่าความชันในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.21 เมื่อนำค่าความชันของแต่ละตัวอย่างทดสอบในวิธีเดียวกันมาแสดงบนภาพกราฟที่ 4.50 เพื่อหาสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของแต่ละวิธีที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ปรับแก้ (ความชัน) กับขนาดของตัวอย่างทดสอบ เมื่อนำสมการของแต่ละวิธีมาหาค่าคงที่ปรับแก้ของแต่ละตัวอย่างได้ผลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.23 นำค่าคงที่ที่ได้คูณผลการคำนวณเพื่อปรับแก้ค่า

ผลการคำนวณที่ทำการปรับแก้ค่าแล้วเมื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมของสมาคมคอนกรีตยุโรป กับวิธีการของบาชอนท์มีค่าใกล้เคียงกันมีค่า 15 ถึง 18 % ส่วน

วิธีการของสมาคมคอนกรีตอเมริกามีค่าสูงกว่า คือ 28.9 % เมื่อนำผลการคำนวณก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้มาแสดงบนตารางที่ 4.7 พบว่าวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 70 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

3.2 ปรับแก้ผลการคำนวณค่าการคืบของวิธีต่างๆ

นำผลการทดสอบและผลการคำนวณของแต่ละตัวอย่างทดสอบของวิธีเดียวกันมาแสดงในรูปภาพกราฟที่ 4.43 ถึง 4.49 แสดงค่าการทดสอบเทียบกับผลการคำนวณของวิธีการสมาคมคอนกรีตอเมริกาในปี 1971&1992, สมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 1970, สมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 1978, สมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 1990, วิธีการของบาชอนท์ในปี 1978, วิธีการของบาชอนท์ในปี 1991 และ วิธีการของบาชอนท์ในปี 1995 ตามลำดับ จากรูปภาพที่ 4.43 ของสมาคมคอนกรีตอเมริกาการกระจายของผลการคำนวณไม่เป็นในลักษณะของเส้นตรงเมื่อขนาดของตัวอย่างใหญ่ขึ้น แสดงถึงแนวการพัฒนาการคำนวณไม่เป็นในรูปแบบเดียวกันกับผลการทดสอบ ภาพกราฟที่ 4.44 ถึง 4.45 ของสมาคมคอนกรีตยุโรปมีลักษณะในแนวของเส้นตรง ส่วนภาพกราฟที่ 4.46 ของสมาคมคอนกรีตยุโรปในปี 1990 มีลักษณะในแนวของเส้นตรงในช่วงต้นและกระจายตัวเมื่อมีค่าการคืบมากขึ้น และภาพกราฟที่ 4.47 ถึง 4.49 ของวิธีการของบาชอนท์ที่มีการกระจายของผลการคำนวณในลักษณะของเส้นตรงแต่แนวของเส้นไม่ผ่านจุด $x=0$ และ $y=0$ ซึ่งมีลักษณะขนานกับเส้นตรงความชันเท่ากับหนึ่ง แสดงถึงแนวการพัฒนาการคำนวณไม่เป็นในรูปแบบเดียวกันกับผลการทดสอบ

ภาพกราฟที่ 4.43 ถึง 4.49 แสดงถึงแนวการพัฒนาการคำนวณนำมาหาความชันของกราฟจากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่ผ่านจุด $x=0$ และ $y=0$ ของแต่ละตัวอย่างทดสอบ แสดงค่าความชันในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.22 เมื่อนำค่าความชันของแต่ละตัวอย่างทดสอบในวิธีเดียวกันมาแสดงบนภาพกราฟที่ 4.51 เพื่อหาสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของแต่ละวิธีที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ปรับแก้ (ความชัน) กับขนาดของตัวอย่างทดสอบ เมื่อนำสมการของแต่ละวิธีมาหาค่าคงที่ปรับแก้ของแต่ละตัวอย่างได้ผลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข ตารางที่ ข.24 นำค่าคงที่ที่ได้คูณผลการคำนวณเพื่อปรับแก้ค่า

ผลการคำนวณที่ทำการปรับแก้ค่าแล้วเมื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมของสมาคมคอนกรีตยุโรปต่ำที่สุดมีค่า 10.9 ถึง 14.3% ถัดมาเป็นของสมาคมคอนกรีตอเมริกามีค่า 14.8 % ส่วนวิธีการของบาชอนท์มีค่าสูง คือ 20.4 ถึง 26 % เมื่อนำผลการคำนวณก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้มาแสดงบนตารางที่ 4.7 พบว่าวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 78 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

4 ผลการคำนวณโดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยเปรียบเทียบกับการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว

คำนวณค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตทั้ง 5 วิธี โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยในตารางที่ 4.2 แทนอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว วิธีการที่ไม่นำมาคำนวณคือ วิธีการของสมาคมมาตรฐานอังกฤษเพราะให้จำนวนผลการคำนวณไม่ให้นำมาเปรียบเทียบไม่ได้ และวิธีการของบาชอนท์เนื่องจากวิธีการของบาชอนท์ได้มีตัวแปรปรับแก้รูปร่าง การนำเส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยมาใช้จะเป็นการกำหนดค่าตัวแปรรูปร่างซ้ำซ้อน

ผลการคำนวณของการใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.1 ถึง ค.10 แต่มีเฉพาะตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัส เนื่องจากตัวอย่างทดสอบพื้นให้ค่าเส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยเท่ากับ

อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวจึงได้ค่าคำนวณเหมือนกัน เมื่อนำผลการคำนวณมาหาค่าปรับแก้ตามหัวข้อ 3 จะได้ค่าความชันแสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.11 ของการหัตถ์และตารางที่ ค.12 ของการคืบ นำค่าความชันไปแสดงในรูปภาพกราฟที่ 4.52 และ 4.53 แล้วหาสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของแต่ละวิธีและคำนวณค่าปรับแก้ได้แสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.13 ของการหัตถ์ และตารางที่ ค.14 ของการคืบ

ผลการคำนวณของค่าการหัตถ์ที่ทำการปรับแก้ค่าแล้วเมื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งผลการคำนวณของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมของสมาคมคอนกรีตยุโรปต่ำกว่ามีค่า 11 ถึง 18% ส่วนวิธีของสมาคมคอนกรีตอเมริกามีค่า 26.7 % เมื่อนำผลมาเทียบกับการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวในตารางที่ 4.10 พบว่าทุกวิธีเมื่อใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยให้ค่าที่ต่ำกว่าการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว

ผลการคำนวณของค่าการคืบที่ทำการปรับแก้ค่าแล้วเมื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งผลการคำนวณของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมของสมาคมคอนกรีตยุโรปต่ำกว่ามีค่า 8.8 ถึง 12.8% ส่วนวิธีของสมาคมคอนกรีตอเมริกามีค่า 13.9 % เมื่อนำผลมาเทียบกับการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวในตารางที่ 4.10 พบว่าทุกวิธีเมื่อใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยให้ค่าที่ต่ำกว่าการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการหดตัว

Model	ACI:71	ACI:92	CEB-FIP:70	CEB-FIP:78	CEB-FIP:90	Bazant:78	Bazant:91	Bazant:95
Slab 100	0.3448	0.3655	0.7768	0.6581	0.5800	0.6000	0.5298	0.4887
Slab 150	0.3929	0.4130	0.8357	0.7000	0.6798	0.6908	0.6370	0.5985
Slab 200	0.3647	0.3836	0.8451	0.6856	0.7016	0.7078	0.6632	0.6192
Slab 300	0.4622	0.4767	0.9123	0.7079	0.7715	0.7714	0.7426	0.6918
Slab 400	0.5741	0.5837	0.9815	0.6816	0.8033	0.7995	0.7780	0.7193
Square 100	0.2046	0.2264	0.7301	0.5904	0.4045	0.4897	0.4136	0.3570
Square 150	0.3021	0.3236	0.7520	0.6164	0.4943	0.5844	0.5129	0.4711
Square 200	0.2681	0.2906	0.7421	0.6085	0.5217	0.6174	0.5537	0.5142
Square 300	0.2452	0.2603	0.7398	0.5691	0.5360	0.6469	0.5951	0.5485
Square 400	0.3436	0.3489	0.7770	0.5746	0.5923	0.7073	0.6683	0.6160
ω_{all}	0.3651	0.3807	0.8131	0.6412	0.6205	0.6674	0.6184	0.5719
%	36.51	38.07	81.31	64.12	62.05	66.74	61.84	57.19

หมายเหตุ

สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อน (coefficient of variation of errors)

$$\omega_j = \frac{S_j}{\bar{J}_j} \quad : \quad \omega_{all} = \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \omega_j^2 \right]^{1/2}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อน (standard deviation of errors)

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-1}} \quad : \quad e_i = \text{ผลต่างของการทดสอบกับการคำนวณ}$$

ค่าเฉลี่ยของการทดสอบ

$$\bar{J}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i \quad : \quad J_i = \text{ผลการทดสอบ}$$

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการคืบ

Model	ACI:71	ACI:92	CEB-FIP:70	CEB-FIP:78	CEB-FIP:90	Bazant:78	Bazant:91	Bazant:95
Slab 100	0.5990	0.5990	0.2406	0.1552	0.4311	0.2046	0.3751	0.3783
Slab 150	0.4677	0.4677	0.1351	0.1111	0.2749	0.3166	0.2613	0.2293
Slab 200	0.5021	0.5021	0.2012	0.2002	0.2324	0.3830	0.2766	0.2099
Slab 300	0.4233	0.4233	0.3021	0.2934	0.1361	0.4853	0.3549	0.2057
Slab 400	0.3350	0.3350	0.3725	0.4057	0.0662	0.6269	0.5177	0.3040
Square 100	0.5781	0.5781	0.0967	0.1714	0.3989	0.1908	0.3985	0.3997
Square 150	0.5712	0.5712	0.1189	0.0776	0.3718	0.2130	0.3614	0.3568
Square 200	0.4906	0.4906	0.0899	0.0674	0.2922	0.2288	0.2771	0.2710
Square 300	0.4188	0.4188	0.0848	0.1963	0.2159	0.3098	0.2363	0.2032
Square 400	0.4326	0.4326	0.1351	0.3262	0.1502	0.4375	0.3112	0.2069
ω_{all}	0.4883	0.4883	0.2009	0.2263	0.2811	0.3659	0.3462	0.2862
%	48.83	48.83	20.09	22.63	28.11	36.59	34.62	28.62

หมายเหตุ

สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อน (coefficient of variation of errors)

$$\omega_j = \frac{S_j}{\bar{J}_j} \quad : \quad \omega_{all} = \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \omega_j^2 \right]^{1/2}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อน (standard deviation of errors)

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-1}} \quad : \quad e_i = \text{ผลต่างของการทดสอบกับการคำนวณ}$$

ค่าเฉลี่ยของการทดสอบ

$$\bar{J}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i \quad : \quad J_i = \text{ผลการทดสอบ}$$

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการหาค่าหลังปรับแก้

Model	ACI:71	ACI:92	CEB-FIP:70	CEB-FIP:78	CEB-FIP:90	Bazant:78	Bazant:91	Bazant:95
Slab 100	0.1138	0.1081	0.1238	0.1630	0.1577	0.1034	0.0988	0.1238
Slab 150	0.1974	0.1925	0.1533	0.1919	0.2393	0.1813	0.1818	0.2023
Slab 200	0.2369	0.2353	0.0979	0.1484	0.2142	0.1708	0.1808	0.1998
Slab 300	0.3897	0.3887	0.0796	0.1390	0.1936	0.1718	0.1838	0.1937
Slab 400	0.5433	0.5433	0.0625	0.1185	0.1929	0.1842	0.1865	0.1942
Square 100	0.1316	0.1363	0.1329	0.1393	0.1267	0.1398	0.1255	0.1478
Square 150	0.0560	0.0508	0.0976	0.1227	0.0860	0.0999	0.0955	0.1206
Square 200	0.0630	0.0631	0.0774	0.1152	0.1103	0.1280	0.1305	0.1561
Square 300	0.2712	0.2766	0.2294	0.1984	0.2041	0.1603	0.1691	0.1924
Square 400	0.4229	0.4288	0.2817	0.2189	0.2180	0.1565	0.1683	0.1835
ω_{all}	0.2884	0.2891	0.1496	0.1593	0.1810	0.1524	0.1558	0.1740
%	28.84	28.91	14.96	15.93	18.10	15.24	15.58	17.40

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการคืบหลังปรับแก้

Model	ACI:71	ACI:92	CEB-FIP:70	CEB-FIP:78	CEB-FIP:90	Bazant:78	Bazant:91	Bazant:95
Slab 100	0.1589	0.1589	0.1542	0.1455	0.1780	0.2282	0.2488	0.1962
Slab 150	0.1779	0.1779	0.0547	0.0577	0.1496	0.2387	0.2742	0.2158
Slab 200	0.1606	0.1606	0.0849	0.0708	0.1425	0.2331	0.2766	0.2219
Slab 300	0.1222	0.1222	0.1764	0.0550	0.0727	0.1858	0.2156	0.1756
Slab 400	0.1123	0.1123	0.2589	0.1448	0.1011	0.2289	0.2972	0.2144
Square 100	0.0804	0.0804	0.0776	0.1098	0.1032	0.1821	0.2055	0.1631
Square 150	0.1127	0.1127	0.1022	0.0388	0.1309	0.2143	0.2362	0.1785
Square 200	0.1444	0.1444	0.0988	0.0785	0.1426	0.2090	0.2405	0.1845
Square 300	0.2107	0.2107	0.1077	0.1312	0.1661	0.2197	0.2743	0.2125
Square 400	0.1554	0.1554	0.1399	0.1663	0.1940	0.2408	0.3112	0.2563
ω_{all}	0.1479	0.1479	0.1377	0.1087	0.1425	0.2189	0.2601	0.2036
%	14.79	14.79	13.77	10.87	14.25	21.89	26.01	20.36

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมก่อนและหลังปรับแก้ค่าการคืบและการหดตัว

Method	Shrinkage		Creep	
	ก่อนปรับ	หลังปรับ	ก่อนปรับ	หลังปรับ
ACI :71	36.51	28.84	48.83	14.79
ACI :92	38.07	28.91	48.83	14.79
CEB-FIP :70	81.31	14.96	20.09	13.77
CEB-FIP :78	64.12	15.93	22.63	10.87
CEB-FIP :90	62.05	18.10	28.11	14.25
Bazant :78	66.74	15.24	36.59	21.89
Bazant :91	61.84	15.58	34.62	26.01
Bazant :95	57.19	17.40	28.62	20.36

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการหัดตัวหลังปรับแก้โดยใช้เส้นทางการหัดตัวเฉลี่ยแทนอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว

Model	ACI:71	ACI:92	CEB-FIP:70	CEB-FIP:78	CEB-FIP:90
Slab 100	0.0314	0.0344	0.1011	0.1446	0.1356
Slab 150	0.1464	0.1484	0.1212	0.1555	0.1999
Slab 200	0.2319	0.2317	0.1003	0.1360	0.1942
Slab 300	0.3871	0.3872	0.0672	0.1253	0.1862
Slab 400	0.5436	0.5436	0.0625	0.1663	0.1929
Square 100	0.1137	0.1158	0.1421	0.1771	0.1650
Square 150	0.0417	0.0454	0.1221	0.1642	0.1482
Square 200	0.0694	0.0677	0.1175	0.1646	0.1771
Square 300	0.2294	0.2281	0.1524	0.1694	0.2011
Square 400	0.3430	0.3440	0.0657	0.1394	0.1864
$\bar{\omega}_{all}$	0.2667	0.2670	0.1095	0.1551	0.1799
%	26.67	26.70	10.95	15.51	17.99

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการคืบหลังปรับแก้โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยแทนอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว

Model	ACI:71	ACI:92	CEB-FIP:70	CEB-FIP:78	CEB-FIP:90
Slab 100	0.0999	0.0999	0.0802	0.0700	0.1261
Slab 150	0.2348	0.2348	0.1023	0.1348	0.1867
Slab 200	0.1641	0.1641	0.0918	0.1366	0.1691
Slab 300	0.1138	0.1138	0.1754	0.0444	0.0717
Slab 400	0.1123	0.1123	0.2596	0.1171	0.1206
Square 100	0.0977	0.0977	0.0498	0.0995	0.1017
Square 150	0.1067	0.1067	0.0638	0.0409	0.1289
Square 200	0.1346	0.1346	0.0441	0.0513	0.1191
Square 300	0.1324	0.1324	0.1073	0.0602	0.1099
Square 400	0.1375	0.1375	0.1312	0.0445	0.1041
ω_{all}	0.1390	0.1390	0.1268	0.0879	0.1277
%	13.90	13.90	12.68	8.79	12.77

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมหลังปรับแก้ของการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว(V/S)กับการใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย(Td)

Method	Shrinkage		Creep	
	V/S	Td	V/S	Td
ACI :71	28.84	26.67	14.79	13.90
ACI :92	28.91	26.70	14.79	13.90
CEB-FIP :70	14.96	10.95	13.77	12.68
CEB-FIP :78	15.93	15.51	10.87	8.79
CEB-FIP :90	18.10	17.99	14.25	12.77