การคำนวณหาค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตโดยวิธีต่าง ๆ

PREDICTION OF CREEP AND SHRINKAGE OF CONCRETE BY VARIOUS METHODS

นายสรศักดิ์ เซียวศิริกุล

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2544

ISBN 974-668-935-5

การคำนวณหาค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตโดยวิธีต่าง ๆ

นายสรศักดิ์ เซียวศิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2544

ISBN 974-668-935-5

PREDICTION OF CREEP AND SHRINKAGE OF CONCRETE BY VARIOUS METHODS

MR.SORASAK SEAWSIRIKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN STRUCTURAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
2001

ISBN 974-668-935-5

ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง

ชื่อวิทยานิพนธ์ การคำนวณหาค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตโดยวิธีต่าง ๆ
ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ นายสรศักดิ์ เชียวศิริกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพจน์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ชยาทิตย์ วัฒนวิกย์กิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ยิ่งศักดิ์ พรรณเชษฐ์)

....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ปรีเปรม) (รองศาสตราจารย์ ดร.วินิต ชินสุวรรณ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำเร็จการศึกษาเมื่อวันที่ .....

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

สรศักดิ์ เชียวศิริกุล. 2544. ***การคำนวณหาค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตโดยวิธีต่าง ๆ***. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [ISBN 974-668-935-5]
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.ชยาทิตย์ วัฒนวิกย์กิจ, รศ.ยิ่งศักดิ์ พรรณเชษฐ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแนะแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีการคำนวณหาค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตโดยวิธีขององค์กรต่าง ๆให้เหมาะสมกับประเทศที่ใช้งาน ซึ่งได้นำผลการทดสอบของการคืบและการหดตัวของคอนกรีตที่ประเทศนิวซีแลนด์มาเป็นตัวอย่างการพิจารณาแนวทางการตัดสินใจ และเขียนโปรแกรมการคำนวณค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตตามวิธีการคำนวณของสมาคมคอนกรีตอเมริกาปี 1971 และ1992 (American Concrete Institute: ACI) วิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 1970 1978 และ 1990 (Comite′ Europ′een du B′eton: CEB-FIP) วิธีของสมาคมมาตรฐานอังกฤษปี 1978 และ1985 (British Standard Institute: BS) และวิธีของบาซอนท์ปี 1978 1991 และ1995 (Bazant's Methods)

ในการศึกษาผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ กับผลการทดสอบที่ประเทศนิวซีแลนด์ พบว่าค่าการคำนวณของวิธีการต่าง ๆมีค่าแตกต่างกันมาก และแตกต่างจากผลทดสอบของประเทศนิวซีแลนด์ สำหรับการหดตัวพบว่าวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรป(1970)มีความแปรผันสูงสุดและวิธีของสมาคมคอนกรีตอเมริกา(1971)มีความแปรผันต่ำสุด ส่วนของการคืบวิธีของสมาคมคอนกรีตอเมริกา(1971)มีความแปรผันสูงสุดและวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรป(1970)มีความแปรผันต่ำสุด

ส่วนการปรับแก้ผลการคำนวณด้วยตัวคูณตามขนาดเพื่อให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดสอบสำหรับการหดตัวพบว่าค่าการคำนวณของวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรป และวิธีของบาซอนท์ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบที่สุด ส่วนการคืบพบว่าวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบที่สุด

ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่าที่คำนวณได้ของทุกขนาด สำหรับการหดตัวพบว่าวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปกับวิธีของบาซอนท์ให้ผลที่มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับผลทดสอบ ซึ่งจะทำให้การปรับแก้ค่าได้ใกล้เคียงที่สุด ส่วนการคืบพบว่าวิธีการของสมาคมคอนกรีตยุโรปให้ผลที่มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับผลทดสอบเช่นเดียวกัน

สำหรับการพิจารณาในเรื่องขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วน งานวิจัยนี้ได้นำเส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยมาพิจารณาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว โดยทำการคำนวณและการปรับแก้ผลเช่นเดียวกันกับการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวตั้งแต่ต้น พบว่าสามารถปรับแก้ผลการคำนวณได้ใกล้เคียงของการคืบและการหดตัวมากกว่าการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว

วิธีการคำนวณหาค่าการหดตัวของคอนกรีตที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบของประเทศนิวซีแลนด์ และใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยแทนอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว คือ วิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 70 สำหรับวิธีการคำนวณหาค่าของการคืบของคอนกรีตที่เหมาะสม คือ วิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรปปี 78

Sorasak Seawsirikul. 2001. ***Prediction of Creep and Shrinkage of Concrete by Various Methods*.** Master of Engineering Thesis in Structural Engineering, Graduate School, Khon Kaen University. [ISBN 974-668-935-5]

Thesis Advisory Committee : Assoc. Prof. Chayatit Vadhanavikkit,
Assoc. Prof. Yingsak Pannachet

Abstract

This thesis aims to find appropriate method for the prediction of creep and shrinkage of concrete from various institution's. The test results in New Zealand were chosen as a guideline sample in computation and programming. Then the results of American Concrete Institute (ACI:1971 &1992), Comite' Europ'een du B'eton (CEB-FIP:1970, 1978 and 1990), British Standard Institute (BS:1978 & 1985) and Bazant's Methods (1978, 1991 and 1995) were compared.

It was found that the results from these methods were markedly different. For shrinkage, the CEB-FIP:1970 method had the highest variation while the ACI:1971 method had the lowest. For creep, the ACI:1971 method had the highest variation while the CEB-FIB:1970 method had the lowest.

In order to adjust the computation to the New Zealand results a correction value by sample size was created. For shrinkage, it was found that the CEB-FIP and Bazant's Methods were very close to the results. For the creep, only the CEB-FIP method had very satisfactoty results.

In comparison between the results of computation, refferred to the sample size and the test results in New Zealand, shrinkage results of CEB-FIP and Bazant's Methods had very good correlation while the creep only the CEB-FIB method had.

In this research, the average drying path method was employed to compare results with the conventional valume/surface ratio method.

Besides, the sample size and shape had been taken into account in all computations. It is also found that the introduced average drying path method had more acceptable results than the conventional one.

Insummary, based on the test results in New Zealand and employed the average drying path method, both shrinkage and creep of concrete, the CEB-FIP:1970 and CEB-FIP:1978 methods, respectively were the most suitable.

งานวิทยานิพนธ์นี้มอบส่วนดีให้บุพการีและคณาจารย์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์ชยาทิตย์ วัฒนวิกย์กิจ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้รับคำแนะนำตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ ปลูกฝังให้ผู้วิจัยรักการทำงาน และเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ยิ่งศักดิ์ พรรณเชษฐ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์รังษี นันทสาร และพันเอกชูชัย สินไชย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์แพทย์หญิงเพลินจันทร์ เชษฐ์โชติศักดิ์ ทันตแพทย์หญิงสมพิศ ธรรมรังรอง และคุณปาริชาติ บุญยประวิทย์ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆด้าน

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่งในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สรศักดิ์ เชียวศิริกุล

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
คำอุทิศ		ค
กิตติกรรมประกาศ		ง
สารบัญตาราง		ช
สารบัญภาพ		ฎ
บทที่ 1	บทนำ	1
1	ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
3	ขอบเขต และข้อจำกัดของการวิจัย	2
4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	วิธีการขององค์กรต่าง ๆ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
1	บทนำ	3
2	สมาคมคอนกรีตอเมริกา	3
2.1	สมาคมคอนกรีตอเมริกา ปี 1971	3
2.2	สมาคมคอนกรีตอเมริกา ปี 1992	10
3	สมาคมคอนกรีตยุโรป	10
3.1	สมาคมคอนกรีตยุโรป ปี 1970	10
3.2	สมาคมคอนกรีตยุโรป ปี 1978	16
3.3	สมาคมคอนกรีตยุโรป ปี 1990	20
4	สมาคมมาตรฐานอังกฤษ	23
4.1	สมาคมมาตรฐานอังกฤษ ปี 1978	23
4.2	สมาคมมาตรฐานอังกฤษ ปี 1985	26
5	วิธีการของบาซอนท์	28
5.1	แบบจำลองบีพี ปี 1978	28
5.2	แบบจำลองบีพี-เคเอ็ก ปี 1991	31
5.3	แบบจำลองบีสาม ปี 1995	34

หน้า

6 สมมติฐานเส้นทางการแห้งตัว 36

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 42

1 แผนการดำเนินงาน 42

2 โครงสร้างโปรแกรม 43

บทที่ 4 ผลการวิจัย 45

1 ลักษณะของโปรแกรม 45

1.1 การติดตั้งโปรแกรม 45

1.2 การใช้โปรแกรม 48

2 ผลการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่มีผู้ทำอยู่แล้ว 52

2.1 ผลการทดสอบค่าการหดตัวเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ 54

2.2 ผลการทดสอบค่าการคืบเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของวิธีต่าง ๆ 54

3 แนวทางในการพิจารณารูปแบบการประมาณค่าการคืบและการหดตัวของคอนกรีตที่เหมาะสมกับประเทศ 55

3.1 ปรับแก้ผลการคำนวณค่าการหดตัวของวิธีต่าง ๆ 55

3.2 ปรับแก้ผลการคำนวณค่าการคืบของวิธีต่าง ๆ 56

4 ผลการคำนวณโดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยเปรียบเทียบกับการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว 56

บทที่ 5 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 103

เอกสารอ้างอิง 105

ภาคผนวก 107

ภาคผนวก ก. ตารางตัวเลขภาพกราฟ 108

ภาคผนวก ข. ตารางผลการคำนวณวิธีต่าง ๆ โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว 117

ภาคผนวก ค. ตารางผลการคำนวณวิธีต่าง ๆ โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย 140

ประวัติผู้เขียน 154

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าคงที่ a และ β	5
ตารางที่ 2.2	แสดงค่าสภาวะมาตรฐานการคืบของสมาคมคอนกรีตอเมริกา	5
ตารางที่ 2.3	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวและการคืบของความหนาเฉลี่ย	5
ตารางที่ 2.4	แสดงค่าสภาวะมาตรฐานการหดตัวของสมาคมคอนกรีตอเมริกา	7
ตารางที่ 2.5	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว เนื่องจากการระยะเวลาการบ่ม	8
ตารางที่ 2.6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นสัมพัทธ์ของการหดตัวและการคืบ :CEB-FIP 78	19
ตารางที่ 2.7	แสดงค่าอัตราส่วนกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานต่อเวลา :BS 78	24
ตารางที่ 2.8	แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐาน ที่อายุ t วัน :BS 85	27
ตารางที่ 4.1	ขนาดและลักษณะของชิ้นทดสอบ	53
ตารางที่ 4.2	อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวเทียบกับเส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	53
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการหดตัว	58
ตารางที่ 4.4	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการคืบ	59
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการหดตัวหลังปรับแก้	60
ตารางที่ 4.6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการคืบหลังปรับแก้	61
ตารางที่ 4.7	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมก่อนและหลังปรับแก้ค่าการคืบและการหดตัว	61
ตารางที่ 4.8	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการหดตัวหลังปรับแก้โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยแทนอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	62
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนของการคืบหลังปรับแก้โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ยแทนอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	63
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความคลาดเคลื่อนรวมหลังปรับแก้ของการใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว(V/S)กับการใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย(Td)	63
ตารางที่ 5.1	แสดงตัวคูณปรับแก้ผลการคำนวณของการคืบตามขนาดสำหรับวิธีของสมาคมคอนกรีตยุโรป ปี 1978	104
ตารางที่ ก.1	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมของการคืบ :CEB-FIP 70 (ภาพที่ 2.1)	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ก.2	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์อายุคอนกรีตเริ่มรับน้ำหนักของการคืบ :CEB-FIP 70 (ภาพที่ 2.2)	109
ตารางที่ ก.3	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์ส่วนประกอบคอนกรีตของการคืบและการหดตัว :CEB-FIP 70 (ภาพที่ 2.3)	109
ตารางที่ ก.4	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์ความหนาชิ้นส่วนของการคืบ :CEB-FIP 70 (ภาพที่ 2.4)	110
ตารางที่ ก.5	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์การพัฒนาการคืบและการหดตัวกับเวลา :CEB-FIP 70 (ภาพที่ 2.5)	110
ตารางที่ ก.6	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมของการหดตัว:CEB-FIP 70 (ภาพที่ 2.6)	111
ตารางที่ ก.7	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์ความหนาชิ้นส่วนของการหดตัว :CEB-FIP 70 (ภาพที่ 2.7)	111
ตารางที่ ก.8	แสดงค่าตัวเลขของกราฟอัตราส่วนความแข็งแรงของคอนกรีต :CEB-FIP 78 (ภาพที่ 2.8)	111
ตารางที่ ก.9	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์การพัฒนาความเครียดยืดหยุ่นที่ตามมาภายหลังกับเวลา:CEB-FIP 78 (ภาพที่ 2.9)	112
ตารางที่ ก.10	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์ความหนาโนชั่นนอลของการคืบ :CEB-FIP 78 (ภาพที่ 2.10)	112
ตารางที่ ก.11	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์ความหนาโนชั่นนอลของการหดตัว :CEB-FIP 78 (ภาพที่ 2.12)	112
ตารางที่ ก.12	แสดงค่าตัวเลขของกราฟพารามิเตอร์การไหลพลาสติกของการคืบ :CEB-FIP 78 (ภาพที่ 2.11)	113
ตารางที่ ก.13	แสดงค่าตัวเลขของกราฟฟังก์ชั่นการพัฒนาการหดตัวที่เวลา t :CEB-FIP 78 (ภาพที่ 2.13)	113
ตารางที่ ก.14	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์การคืบ :BS 78 (ภาพที่ 2.14)	114
ตารางที่ ก.15	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์การหดตัว :BS 78 และBS 85 (ภาพที่ 2.15 และ 2.17)	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ก.16	แสดงค่าตัวเลขของกราฟสัมประสิทธิ์การคืบ :BS 85 (ภาพที่ 2.16)	116
ตารางที่ ข.1	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 100 มม.	118
ตารางที่ ข.2	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 150 มม.	119
ตารางที่ ข.3	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 200 มม.	120
ตารางที่ ข.4	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 300 มม.	121
ตารางที่ ข.5	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 400 มม.	122
ตารางที่ ข.6	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	123
ตารางที่ ข.7	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 150 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	124
ตารางที่ ข.8	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 200 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	125
ตารางที่ ข.9	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 300 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	126
ตารางที่ ข.10	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 400 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	127
ตารางที่ ข.11	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 100 มม.	128
ตารางที่ ข.12	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 150 มม.	129
ตารางที่ ข.13	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 200 มม.	130
ตารางที่ ข.14	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 300 มม.	131
ตารางที่ ข.15	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 400 มม.	132
ตารางที่ ข.16	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	133
ตารางที่ ข.17	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 150 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	134
ตารางที่ ข.18	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 200 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ข.19	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 300 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	136
ตารางที่ ข.20	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 400 มม. โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	137
ตารางที่ ข.21	ค่าความชันของสมการถดถอยเชิงเส้นของการหดตัวของวิธีการต่าง ๆ	138
ตารางที่ ข.22	ค่าความชันของสมการถดถอยเชิงเส้นของการคืบของวิธีการต่าง ๆ	138
ตารางที่ ข.23	ค่าคงที่ของการปรับแก้การหดตัวของตัวอย่างทดสอบของวิธีการต่าง ๆ	139
ตารางที่ ข.24	ค่าคงที่ของการปรับแก้การคืบของตัวอย่างทดสอบของวิธีการต่าง ๆ	139
ตารางที่ ค.1	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	141
ตารางที่ ค.2	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 150 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	142
ตารางที่ ค.3	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 200 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	143
ตารางที่ ค.4	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 300 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	144
ตารางที่ ค.5	ผลการคำนวณการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 400 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	145
ตารางที่ ค.6	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	146
ตารางที่ ค.7	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 150 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	147
ตารางที่ ค.8	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 200 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	148
ตารางที่ ค.9	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 300 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ ค.10	ผลการคำนวณการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 400 มม. โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	150
ตารางที่ ค.11	ค่าความชันของสมการถดถอยเชิงเส้นของการหดตัวของวิธีการต่าง ๆโดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	151
ตารางที่ ค.12	ค่าความชันของสมการถดถอยเชิงเส้นของการคืบของวิธีการต่าง ๆโดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	152
ตารางที่ ค.13	ค่าคงที่ของการปรับแก้การหดตัวของตัวอย่างทดสอบของวิธีการต่าง ๆโดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	153
ตารางที่ ค.14	ค่าคงที่ของการปรับแก้การคืบของตัวอย่างทดสอบของวิธีการต่าง ๆ โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	154

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	สัมประสิทธิ์ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมของการคืบ:CEB-FIP 70	11
ภาพที่ 2.2	สัมประสิทธิ์อายุคอนกรีตเริ่มรับน้ำหนักของการคืบ:CEB-FIP 70	12
ภาพที่ 2.3	สัมประสิทธิ์ส่วนประกอบคอนกรีตของการคืบและการหดตัว:CEB-FIP 70	12
ภาพที่ 2.4	สัมประสิทธิ์ความหนาชิ้นส่วนของการคืบ:CEB-FIP 70	13
ภาพที่ 2.5	สัมประสิทธิ์การพัฒนาการคืบและการหดตัวกับเวลา:CEB-FIP 70	13
ภาพที่ 2.6	สัมประสิทธิ์ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมของการหดตัว:CEB-FIP 70	14
ภาพที่ 2.7	สัมประสิทธิ์ความหนาชิ้นส่วนของการหดตัว:CEB-FIP 70	15
ภาพที่ 2.8	อัตราส่วนความแข็งแรงของคอนกรีต :CEB-FIP 78	15
ภาพที่ 2.9	สัมประสิทธิ์การพัฒนาความเครียดยืดหยุ่นที่ตามมาภายหลังกับเวลา :CEB-FIP 78	17
ภาพที่ 2.10	สัมประสิทธิ์ความหนาโนชั่นนอลของการคืบ :CEB-FIP 78	17
ภาพที่ 2.11	พารามิเตอร์การไหลพลาสติกของการคืบ :CEB-FIP 78	18
ภาพที่ 2.12	สัมประสิทธิ์ความหนาโนชั่นนอลของการหดตัว :CEB-FIP 78	18
ภาพที่ 2.13	ฟังก์ชั่นการพัฒนาการหดตัวที่เวลา t :CEB-FIP 78	19
ภาพที่ 2.14	ค่าสัมประสิทธิ์การคืบ :BS 78	25
ภาพที่ 2.15	การหดตัวของคอนกรีตน้ำหนักปกติ :BS 78	25
ภาพที่ 2.16	ค่าสัมประสิทธิ์การคืบ :BS 85	26
ภาพที่ 2.17	การหดตัวของคอนกรีตน้ำหนักปกติ :BS 85	27
ภาพที่ 2.18	แสดงตัวอย่างแนวทางการกระจายความชื้น	37
ภาพที่ 2.19	แสดงแนวทางการกระจายความชื้นของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	37
ภาพที่ 2.20	แสดงรูปร่างพื้นฐาน	37
ภาพที่ 2.21	แสดงค่าการคำนวณสี่เท่าของเส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย เทียบกับสองเท่าของอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิว	38
ภาพที่ 2.22	แสดงรูปหน้าตัดตัวไอใช้ในการคำนวณ	40
ภาพที่ 2.23	แสดงรูปหน้าตัดตัวไอใช้ในการประมาณค่า	40
ภาพที่ 2.24	แสดงความเครียดของการหดตัวรูปร่างต่าง ๆเทียบกับอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวที่ความชื้นของสภาพแวดล้อม 50 %	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 2.25	แสดงความเครียดของการหดตัวรูปร่างต่าง ๆเทียบกับสมมติฐานเส้นทางการแห้งตัวที่ความชื้นของสภาพแวดล้อม 50 %	41
ภาพที่ 3.1	แสดงการหาค่าตัวเลขจากภาพกราฟ	43
ภาพที่ 3.2	แผนผังการทำงานของโปรแกรม	44
ภาพที่ 4.1	ภาพแสดงการติดตั้งขั้นตอนที่ 1	45
ภาพที่ 4.2	ภาพแสดงการตั้งชื่อกลุ่มที่จะแสดงบน Start \ Programs	46
ภาพที่ 4.3	ภาพแสดงการติดตั้งไฟล์จากแผ่นซีดีรอม	46
ภาพที่ 4.4	ภาพแสดงการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์	46
ภาพที่ 4.5	ภาพแสดงตำแหน่งของโปรแกรมบน Start \ Programs	47
ภาพที่ 4.6	ภาพแสดงหน้าจอแรกของการใช้โปรแกรม	47
ภาพที่ 4.7	ภาพแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ของการเลือกวิธีการประมาณ	48
ภาพที่ 4.8	ภาพแสดงหน้าจอวิธีการประมาณของ ACI : 1992	49
ภาพที่ 4.9	ภาพแสดงผลการรันเป็นตัวเลข	49
ภาพที่ 4.10	ภาพแสดงผลการรันเป็นภาพกราฟของการคืบ	50
ภาพที่ 4.11	ภาพแสดงผลการรันเป็นภาพกราฟของการหดตัว	50
ภาพที่ 4.12	ภาพแสดงหน้าจอการกรอกข้อมูลการทดสอบ	51
ภาพที่ 4.13	ภาพแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ของการเลือกพิมพ์ผลการคำนวณ	51
ภาพที่ 4.14	ภาพแสดงหน้าจอวิธีที่นำผลการันของวิธีต่าง ๆมาเปรียบเทียบด้วยรูปกราฟ	52
ภาพที่ 4.15	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 100 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	64
ภาพที่ 4.16	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 150 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	65
ภาพที่ 4.17	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 200 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	66
ภาพที่ 4.18	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 300 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 4.19	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 400 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	68
ภาพที่ 4.20	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	69
ภาพที่ 4.21	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 150 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	70
ภาพที่ 4.22	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 200 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	71
ภาพที่ 4.23	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 300 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	72
ภาพที่ 4.24	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการหดตัวของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 400 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	73
ภาพที่ 4.25	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 100 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	74
ภาพที่ 4.26	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 150 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	75
ภาพที่ 4.27	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 200 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	76
ภาพที่ 4.28	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 300 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	77
ภาพที่ 4.29	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบพื้นขนาด 400 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	78
ภาพที่ 4.30	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 100 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	79
ภาพที่ 4.31	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 150 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 4.32	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 200 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	81
ภาพที่ 4.33	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 300 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	82
ภาพที่ 4.34	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าการคืบของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดจัตุรัสขนาด 400 มม. กับการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	83
ภาพที่ 4.35	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตอเมริกา ปี 1971	84
ภาพที่ 4.36	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตอเมริกา ปี 1992	85
ภาพที่ 4.37	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตยุโรป ปี 1970	86
ภาพที่ 4.38	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตยุโรป ปี 1978	87
ภาพที่ 4.39	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตยุโรป ปี 1990	88
ภาพที่ 4.40	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของวิธีการของบาซอนท์ ปี 1978	89
ภาพที่ 4.41	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของวิธีการของบาซอนท์ ปี 1991	90
ภาพที่ 4.42	แสดงค่าการหดตัวของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของวิธีการของบาซอนท์ ปี 1995	91
ภาพที่ 4.43	แสดงค่าการคืบของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตอเมริกา ปี 1971 และ 1992	92
ภาพที่ 4.44	แสดงค่าการคืบของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตยุโรป ปี1970	93
ภาพที่ 4.45	แสดงค่าการคืบของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตยุโรป ปี1978	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 4.46	แสดงค่าการคืบของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของสมาคมคอนกรีตยุโรป ปี1990	95
ภาพที่ 4.47	แสดงค่าการคืบของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของวิธีการของบาซอนท์ ปี 1978	96
ภาพที่ 4.48	แสดงค่าการคืบของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของวิธีการของบาซอนท์ ปี 1991	97
ภาพที่ 4.49	แสดงค่าการคืบของผลการทดสอบกับผลการคำนวณของวิธีการของบาซอนท์ ปี 1995	98
ภาพที่ 4.50	แสดงค่าคงที่ของการหดตัวของคอนกรีตในการปรับแก้ผลการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	99
ภาพที่ 4.51	แสดงค่าคงที่ของการคืบของคอนกรีตในการปรับแก้ผลการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ	100
ภาพที่ 4.52	แสดงค่าคงที่ของการหดตัวของคอนกรีตในการปรับแก้ผลการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	101
ภาพที่ 4.53	แสดงค่าคงที่ของการคืบของคอนกรีตในการปรับแก้ผลการคำนวณของวิธีการต่าง ๆ โดยใช้เส้นทางการแห้งตัวเฉลี่ย	102
ภาพที่ 5.1	สัมประสิทธิ์ของความหนาชิ้นส่วนของการหดตัวก่อนและหลังปรับแก้	104