

การศึกษาอุณหภูมิจึงเพิ่มแบบกักกันความร้อนในคอนกรีตหลา

นายยศชัย จุประพัทธ์ศรี



วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พศ. 2532

ISBN 974-576-285-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15656

117460815

A Study on Adiabatic Temperature Rise in Mass Concrete

Mr. Yotchai Juprapattasri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduated School


Chulalongkorn University

1989

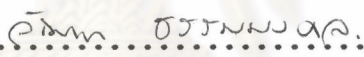
ISBN 974-576-285-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อนในคอนกรีตหาลา
โดย นายยศชัย จูประพัทธ์ศรี
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลี้มสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวีเชียร)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)


..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลี้มสุวรรณ)



ชื่อย่อ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ชื่อย่อ : วิศวกรรมโยธา
ชื่อเรื่อง : การศึกษาอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนในคอนกรีตมวล (A STUDY ON ADIABATIC TEMPERATURE RISE IN MASS CONCRETE) อ.ที่ปรึกษา :
ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 133 หน้า.

ความร้อนที่เกิดในโครงสร้างคอนกรีตมวลก่อให้เกิดการขยายตัวและการหดตัวไม่เท่ากันทั้งองค์อาคาร เป็นเหตุให้เกิดการแตกร้าวและส่งผลต่อกำลังของโครงสร้างโดยส่วนรวม การแก้ปัญหาดังกล่าวกระทำได้โดยหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีตมวลทั้งหมดแล้วศึกษาพฤติกรรมการกระจายและถ่ายเทความร้อนในองค์อาคารนั้น ๆ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเกิดความร้อนในคอนกรีตด้วยการทดสอบหาอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนโดยกำหนดตัวแปรหลัก คือ ประเภทของซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต แล้วนำผลการเกิดความร้อนมาศึกษาการกระจายและการถ่ายเทความร้อนในองค์อาคาร โดยการวิเคราะห์ตามวิธีการทางไฟไนท์เอเลเมนต์ที่ครอบคลุมถึงผลจากการนำ การพาและแผ่รังสีของความร้อนทั้งที่ผิวและในเนื้อคอนกรีตรวมทั้งพิจารณาถึงการดูดซับแสงแดด การระเหยของน้ำที่ผิวหน้า การดึงความร้อนออกด้วยท่อผ่าน และเงื่อนไขของเวลาตามขั้นตอนการก่อสร้าง

การทดลองหาอุณหภูมิแบบกักกันความร้อน ใช้ปริมาณคอนกรีต 50 ลิตร และหุ้มด้วยโฟมโดยรอบ แล้ววางไว้ในเตาอบที่ปรับอุณหภูมิรอบข้างให้เท่ากับอุณหภูมิในเนื้อคอนกรีตได้ โดยอัตโนมัติ เพื่อจำลองสภาวะเสมือนของคอนกรีตมวล ความร้อนที่เกิดขึ้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา โดยจะเกิดอุณหภูมิสูงสุดที่ประมาณ 42-65 ๕ ชั่วโมงหลังการผสมคอนกรีต และหลังจากนั้นจะไม่เพิ่มอีกต่อไป

จากผลการทดลองหาอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนในคอนกรีตตามตัวแปรต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์และอุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีตมีผลต่อการเพิ่มความร้อนน้อยมาก แต่ปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นอีกทุก 10 ก.ก./ลบ.ม. จะทำให้อุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้น 1 ๕. ซีเมนต์ประเภทที่ I, III และ V จะให้อุณหภูมิสูงสุดในสัดส่วน 1.0, 1.1 และ 0.9 ตามลำดับ งานวิจัยนี้ได้สร้างสมการเพื่อกำหนดการเพิ่มอุณหภูมิแบบกักกันความร้อนที่เกิดขึ้นตามเวลา แล้วนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอเลเมนต์เพื่อกำหนดหาความร้อนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างหลังจากการเทคอนกรีตแล้วเสร็จ โดยจะเปรียบเทียบผลที่ได้กับงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งการทดสอบและการวัดจริง เปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณจากความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์ และเปรียบเทียบกับผลการวัดอุณหภูมิจากโครงสร้างคอนกรีตมวลที่ก่อสร้างแล้ว ผลจากการวิเคราะห์จากสมการอุณหภูมิเพิ่มแบบกักกันความร้อนจากงานวิจัยนี้ให้ค่าอุณหภูมิในโครงสร้างที่ต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวัดจริงในตัวโครงสร้าง เนื่องจากที่เครื่องมือทดสอบที่ใช้ไม่อาจกักกันความร้อนที่ระเหยไปกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตได้ ด้วยวิธีการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่า ควรใช้ตัวคูณประกอบ 1.7 ปรับค่าที่ได้จากการทดสอบตามวิธีในงานวิจัยนี้ จึงจะให้ค่าพยากรณ์อุณหภูมิในโครงสร้างที่เชื่อถือได้ตามสภาพจริง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

YOTCHAI JUPRAPATTASRI : A STUDY ON ADIABATIC TEMPERATURE RISE IN MASS CONCRETE. THESIS ADVISOR : PROF.EKASIT LIMSUWAN, Ph.D., 133 PP.

Heat generation in mass concrete causes unbalanced stresses due to expansion and contraction in structures so that cracks would be induced and lead to structural damages. To solve such problem, heat generation and dissipation in mass concrete should be studied. For heat generation, adiabatic temperature rising tests were conducted on the basis of several variables such as cement type, cement content, water cement ratio and concrete placing temperature. For heat dissipation, the Finite Element Method was employed to analyze heat in concrete structures effected from heat conduction, convection and radiation, on surface and in the mass, considering solar absorption, surface evaporation, pipe cooling system and time constraint from construction sequence.

The adiabatic temperature rising tests in this program used concrete 50 litre for each specimen ,they were cast and covered with poly-styrene foam, then kept in the oven so that surrounding temperature could be automatically adjusted to the one in the specimen. Such method was applied to simulate mass concrete condition so that heat generation has varied with time and rate of hydration . The maximum temperature would be reached within 42-65 hr. after mix.

The results of adiabatic temperature rising test have shown less influence from water to cement ratio and placing temperature but the adiabatic temperture rise was much affected from cement content and cement type .The temperature rise have found to be 1 °C increase for every 10 Kg./m.³ increase in cement content. The maximum temperature rises for cement type I, III and V were found to be at ratio of 1.0, 1.1 and 0.9, respectively. Heat generating equations were fitted to analyze temperature in mass concrete structures. The results were compared to the calculation from heat of hydration and to the measurement from actual structures. The results indicated that the adiabatic temperature rise as heat generating equation in this study produced less temperature than the measurement and by means of numerical solution, the factor of 1.7 should be applied to the adiabatic test results to obtain reliable temperatures in the mass concrete structure.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อผู้พิมพ์ Ekasit Limsuwan
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา H.P. S
.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ท่าน ศาสตราจารย์ วัฒนา ธรรมมงคล ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องจึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้วิทยากรด้านต่าง ๆ พร้อมทั้งเครื่องมือ กำลังคน และห้องปฏิบัติการในการทดลองแก่ข้าพเจ้า

ท่าน ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ่มสุวรรณ ผู้ซึ่งเสียสละเวลาและกำลังสติปัญญาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของท่านเป็นอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ข้าพเจ้าประทับใจและซาบซึ้งกับน้ำใจของเพื่อน ๆ พร้อมทั้งผู้ให้ความช่วยเหลือหลายคนจนไม่สามารถจะกล่าวออกมาเป็นคำพูดได้อย่างไร ที่เสียสละทั้งกำลังกายและเวลาโดยไม่คำนึงถึงความเหน็ดเหนื่อยไม่ว่าจะเป็นกลางคืนหรือกลางวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสถาพร นิรันดโรภาส คุณวิศิษย์ เพชรภูวดี และคุณพรเทพ ขอบใจเกียรติที่ช่วยเหลือในด้านการผสมคอนกรีตและจัดบันทึกข้อมูลในตอนกลางคืนและกลางวัน และยังมีผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างอีกมากมายซึ่งไม่สามารถจะกล่าวไว้ในนี้ได้ ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณท่านเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายนี้ บุคคลที่สนับสนุนในด้านการเงินและกำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาเสมอมาจนกระทั่งบัดนี้คือ คนทุกคนในครอบครัวของข้าพเจ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บิดา มารดา ซึ่งพระคุณของท่านจะฝังอยู่ในจิตใจจนกว่าชีวิตของข้าพเจ้าจะหาไม่

ยศชัย จูประพัทธ์ศรี

สารบัญ


	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	อ
บทที่	
1. บททั่วไป	1
1.1 บทนำ	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.2.1 ความร้อนในคอนกรีต	2
1.2.1.1 การเกิดความร้อน	2
1.2.1.2 การถ่ายเทความร้อน	10
1.2.2 การหาปริมาณความร้อนในคอนกรีต	14
1.2.2.1 การหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีต	16
1.2.2.2 การหาอุณหภูมิในคอนกรีตหลา	17
1.2.3 มาตรการควบคุมความร้อน	18
1.3 วัตถุประสงค์	21
1.4 การศึกษาวิจัย	21
1.5 ขอบข่ายของงานวิจัย	22
2. ผลการทดสอบ	23
2.1 รายการทดสอบ	23
2.2 เครื่องมือทดสอบ	25
2.3 ขั้นตอนการทดสอบ	25
2.3.1 การเตรียมตัวอย่าง	25
2.3.1.1 วัสดุ	25

บทที่

หน้า

2.3.1.2	ส่วนผสมคอนกรีต	29
2.3.1.3	การผสมคอนกรีต	29
2.3.2	การวัดอุณหภูมิและการรักษาสภาพกักกันความร้อน	33
2.3.2.1	อุณหภูมิ เริ่มแรก	33
2.3.2.2	อุณหภูมิแบบกักกันความร้อน	33
2.3.2.3	การปรับอุณหภูมิ	33
2.3.3	การทดสอบประกอบอื่น ๆ	33
2.4	ผลการทดสอบ	34
3.	การวิเคราะห์	38
3.1	บทนำ	38
3.2	ลักษณะสมการอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อนในคอนกรีต	38
3.2.1	ลักษณะสมการ	38
3.2.2	การหาค่าคงที่ในสมการและการเลือกสมการ	38
3.3	ผลของส่วนผสมในคอนกรีตมีต่อสมการอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อน	39
3.3.1	ความสัมพันธ์ของตัวแปรในแต่ละชุดการทดสอบ	39
3.3.2	สมการอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อน	47
3.4	เปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธีอื่น	48
3.4.1	เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา	48
3.4.2	เปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณ	48
3.4.3	เปรียบเทียบกับวิธีวัดค่าจากโครงสร้างจริง	49
3.4.3.1	ข้อมูลทั่วไปสำหรับโครงสร้างที่นำมา เปรียบเทียบ	49
3.4.3.2	ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิและผลการเปรียบเทียบ ระหว่างวิธีทดลองกับวิธีวัดอุณหภูมิจากโครงสร้างจริง	51
3.4.3.3	การปรับแก้สมการอุณหภูมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อน และการเลือกคุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีต	56
4.	สรุป	74

บทที่	หน้า
4.1 <u>อุทฺทหนุมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อนในคอนกรีต</u>	74
4.1.1 <u>สมการอุทฺทหนุมิ เพิ่มแบบกักกันความร้อน</u>	74
4.1.2 <u>อิทธิพลของส่วนผสมของคอนกรีต</u>	74
4.2 <u>อุทฺทหนุมิ เพิ่มในโครงสร้างคอนกรีตทลลา</u>	75
4.3 <u>ข้อ เสนอแนะ</u>	76
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก ก.	80
ภาคผนวก ข.	91
ประวัติผู้เขียน	133



คุรุบหะวีวิทยุฑรพยากร
จุฑาลงกรณ์มหาวิทยาลััย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	3
1.2	13
1.3	15
2.1	24
2.2	30
2.3	30
2.4	32
3.1	40
3.2	41
3.3	42
3.4	43
3.5	50
3.6	50
3.7	58
3.8	60
3.9	62
3.10	64
3.11	65

ตารางที่	หน้า
3.12 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	66
3.13 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	68
3.14 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ เวลาของคอมม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	70
3.15 อุณหภูมิที่วิเคราะห์ เวลาของคอมม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	72
ผ1. อุณหภูมิเพิ่มของการทดสอบ ชุด ก. (ประเภทของซีเมนต์), ชุด ค. (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์) ชุด ง. (อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)	86
ผ2. อุณหภูมิเพิ่มของการทดสอบ ชุด ข. (ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)	88
ผ3. ผลการทดสอบประกอบอื่น ๆ	90

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบผลของชนิดซีเมนต์ต่อการเพิ่มอุณหภูมิแบบกักกันความร้อน	5
1.2 การเพิ่มอุณหภูมิในองค์อาคารคอนกรีตหลายของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ	6
1.3 การเพิ่มอุณหภูมิในองค์อาคารคอนกรีตหลายของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ	7
1.4 การเพิ่มอุณหภูมิในองค์อาคารคอนกรีตหลายของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ	7
1.5 การเพิ่มอุณหภูมิในองค์อาคารคอนกรีตหลายของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ	8
1.6 ผลกระทบของอัตราการผลิตความร้อนจากความละเอียดของซีเมนต์ผง	11
1.7 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิแบบกักกันความร้อนจากอุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต	11
1.8 ผลกระทบของอุณหภูมิเริ่มแรกต่อความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	12
1.9 ผลของอุณหภูมิเริ่มแรกต่อการเพิ่มอุณหภูมิขององค์อาคารคอนกรีตหลาย	12
2.1 เครื่องมือทดสอบการเพิ่มอุณหภูมิแบบกักกันความร้อนในคอนกรีต	26
2.2 ร้อยละสะสมของหินที่ค้างบนตะแกรงที่ใช้ในการทดลอง	31
2.3 ร้อยละสะสมของทรายที่ค้างบนตะแกรงที่ใช้ในการทดลอง	31
2.4 กราฟการเพิ่มอุณหภูมิของการทดสอบชุด ก. (ประเภทของซีเมนต์)	35
2.5 กราฟการเพิ่มอุณหภูมิของการทดสอบชุด ข. (ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)	35
2.6 กราฟการเพิ่มอุณหภูมิของการทดสอบชุด ค. (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์)	37
2.7 กราฟการเพิ่มอุณหภูมิของการทดสอบชุด ง. (อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)	37
3.1 ก. ค่าคงที่ K ของตัวแปรชุด ข. (ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)	44
3.1 ข. ค่าคงที่ a ของตัวแปรชุด ข. (ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต)	44
3.2 ก. ค่าคงที่ K ของตัวแปรชุด ค. (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในคอนกรีต)	45
3.2 ข. ค่าคงที่ a ของตัวแปรชุด ค. (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในคอนกรีต)	45
3.3 ก. ค่าคงที่ K ของตัวแปรชุด ง. (อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)	46
3.3 ข. ค่าคงที่ a ของตัวแปรชุด ง. (อุณหภูมิเริ่มแรกของคอนกรีต)	46
3.4 รูปตัดของตอม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร	52

รูปที่

หน้า

3.5	รูปตัดของคอมม่อฝั่งธนบุรี	53
3.6	การแบ่งส่วนย่อยของคอมม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร	54
3.7	การแบ่งส่วนย่อยของคอมม่อฝั่งธนบุรี	55
3.8	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.	59
3.9	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.	61
3.10	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก.	63
3.11	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข.	65
3.12	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	67
3.13	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งกรุงเทพมหานคร สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	69
3.14	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ก. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	71
3.15	อุณหภูมิที่วัดเคราะห์ได้ตาม เวลาของคอมม่อฝั่งธนบุรี สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนชุด ข. หลังจากปรับแก้สมการแล้ว	73
ผ1.	อุณหภูมิแปรผันตามความลึกของมวลกิ่งอนันต์	81
ผ2.	ความร้อนที่ถ่าย เทอออกจากมวลคอนกรีต	82
ผ3.	อุณหภูมิ เฉลี่ยของคอนกรีต	83
ผ4.	อุณหภูมิ เฉลี่ยของคอนกรีตจากจุดปล่อยน้ำ เข้าถึงระยะความยาวท่อใด ๆ	84
ผ5.	คุณสมบัติ เพิ่มของน้ำในท่อระบายความร้อน	85
ผ6.	ตัวประกอบรูปแปรผัน เป็น เส้นตรงของส่วนย่อยรูปสาม เหลี่ยม	98
ผ7.	ตัวประกอบรูปแปรผัน เป็น เส้นตรงของส่วนย่อย 1 มิติ	98

รูปที่	หน้า
ผ8. ส่วนย่อยรูปสี่เหลี่ยมประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยม 4 รูป	98
ผ9. การ generation ข้อมูลพิกัด	103
ผ10. การ generation ข้อมูลส่วนย่อย	103
ผ11. การ generation ข้อมูลจุดขอบเขต	103



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย