

1203

การศึกษายัตราการเสียกำลังของโครงสร้างสะพานกษัตริย์ศึก

นาย เมธา บรรจบไชยชัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-990-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY ON STRENGTH DETERIORATION
OF
KASATSUEK BRIDGE STRUCTURE

Mr. Mayta Bunjobchokchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-990-7



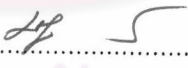
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอัตราการเสียกำลังของโครงสร้างสะพานกษัตริย์ศึก
โดย นายเมธา บรรจบโชคชัย
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฤงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชีรพงศ์ เสนจันทร์สมบัติไชย)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เมธา บรรจบโชคชัย : การศึกษาอัตราการเสียกำลังของโครงสร้างสะพานกษัตริย์ศึก (A STUDY ON STRENGTH DETERIORATION OF KASATSUEK BRIDGE) อ.ที่ปรึกษา : ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 114 หน้า. ISBN 974-633-990-7

กำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะขึ้นอยู่กับ การสูญเสียกำลังของวัสดุ คือ คอนกรีต และเหล็กเสริม รวมไปถึงการสูญเสียหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้างอันเกิดจากรอยแตกร้าว และการเปลี่ยนสภาพของวัสดุ คุณสมบัติของวัสดุสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลาจากสาเหตุหลายประการ ในการศึกษานี้ได้พิจารณาจาก การเกิดคาร์บอนเนชั่น,การแตกร้าว และการเกิดสนิม โดยพิจารณาผลสืบเนื่องจากสภาวะแวดล้อมของสะพานกษัตริย์ศึกตาม สภาพอากาศ,การระบายน้ำฝน และน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร

การศึกษาเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบสภาพสะพาน ขนาดและมิติของชิ้นส่วนโครงสร้างสะพานทั้งส่วนที่เป็นพื้น,คาน,ตอม่อ และเสา จากแบบ และจากสภาพจริงในสนาม ซึ่งประกอบด้วยขนาดและรอยแตกร้าว การแตกร่อน การเป็นสนิม ขนาดหน้าตัดจริง การแอ่นตัว ความลึกคาร์บอนเนชั่น และขนาดหน้าตัดเหล็กเสริมคงเหลือ

จากมิติที่ตรวจวัดได้ วิเคราะห์หาขบวนการเกิดคาร์บอนเนชั่นอันสืบเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตลดลงและทำให้ความเป็นต่างของคอนกรีตลดลง และยังมีผลทำให้แผ่นฟิล์มที่ป้องกันเหล็กเสริมถูกทำลาย ความชื้นสามารถซึมผ่านเข้าไปถึงเหล็กและทำปฏิกิริยาเกิดสนิมเหล็กขึ้น ปริมาตรของเหล็กเมื่อเกิดสนิมจะมากกว่าเดิม ทำให้เกิดแรงดันจนคอนกรีตปริแตก และเกิดรอยร้าว อนึ่งรอยแตกร้าวยังสามารถเกิดได้จากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง ส่งผลให้ออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็ก และเกิดสนิมในอัตราที่เร็วขึ้น

อัตราการเกิดคาร์บอนเนชั่น และการเกิดสนิม ได้ศึกษาวิเคราะห์ และสามารถพยากรณ์ได้จาก สัดส่วนผสมของคอนกรีต คือปริมาณซีเมนต์ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ความชื้นในอากาศ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการเกิดสนิมขึ้นอยู่กับ การเกิดรอยแตกร้าวด้วย

ผลการศึกษาพบว่า กำลังของคอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นตามอายุการใช้งาน แต่ส่วนที่เกิดคาร์บอนเนชั่นมีกำลังลดลง และทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่ายขึ้นตามอายุ ส่วนหน้าตัดของชิ้นส่วนจะมีพฤติกรรมคุณสมบัติหน้าตัดเปลี่ยนไปตามรอยแตกร้าว และความลึกของการเกิดคาร์บอนเนชั่น เป็นผลให้ กำลังรับแรงดัด, กำลังรับแรงเฉือน, กำลังรับแรงอัด และ การแอ่นตัว เปลี่ยนแปลงไปตามอายุด้วย ทั้งนี้จากผลกระทบของสภาวะแวดล้อม และการเสื่อมสภาพของวัสดุ อนึ่งเมื่อเหล็กเสริมเกิดสนิม ความเสียหายและการสูญเสียกำลังยิ่งเพิ่มขึ้นในอัตราที่รุนแรงกว่า รวมทั้งการแอ่นตัวเป็นไปในอัตราที่มากขึ้น ผลจากการวิเคราะห์ ภายใต้น้ำหนักจรโดยสารทั่วไปในช่วง 65 ปีของการใช้สะพาน จะทำให้กำลังเฉือนของคานลดลง 10% และกำลังของเสาลดลง 10 % แต่หากบรรทุกน้ำหนักด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ในช่วง 65 ปี ของการใช้งานสะพาน จะทำให้กำลังดัดของคานลดลงถึง 20 % กำลังเฉือนของคานลดลงถึง 20 % และเสามีกำลังลดลงถึง 10 % ตามลำดับ อนึ่งการแอ่นตัวในช่วง 65 ปี จะเพิ่มจาก 0.97 ซม. ถึง 1.89 ซม. เมื่อรับน้ำหนักบรรทุก 10 ล้อ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต *hoy 2h8*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *#*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C515148 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: STRENGTH DETERIORATION/KASATSUEK BRIDGE/CARBONATION
/CORROSION

MAYTA BUNJOBCHOKCHAI : A STUDY ON STRENGTH DETERIORATION OF
KASATSUEK BRIDGE STRUCTURE. THESIS ADVISOR :

PROF. EKASIT LIMSUWAN, Ph.D. 114 pp. ISBN 974-633-990-7

Strengths of reinforced concrete structures are primarily deteriorated from strength of materials; concrete and reinforcing bar, and the cross section due to cracks and carbonation depth. Concrete properties are changed with time due to various causes such as carbonation, cracking and corrosion in accordance with effected from environmental condition, air, drainage and traffic loads.

At first, the study has conducted bridge assessment to determine structural system such as slabs, beams, piers and columns from construction drawings and on site inspection. Various parameters have been measured and mapped such as cracks, spalls, corrosion, sections, deformation, carbonation depth and rebar condition.

Mathematical model has been proposed for prediction of carbonation depth due to a chemical process of carbon dioxide and calcium hydroxide. The action will reduce concrete strength and thin film around reinforcing bars will be attacked, then moisture can penetrate to the rebar to produce rust. By mean of volume change of rust will develop internal force to induce cracks and spalling of concrete. Furthermore cracks also be induced from service loads to accelerate the corrosion of the rebars.

Rate of carbonation and corrosion can be predicted and influenced from cement content, water-cement ratio, relative humidity and concentration of carbon dioxide in air, then the deterioration rate of structure from carbonation in concrete and corrosion in rebars can be estimated.

The study has found that concrete strength is increased with time of curing but it is decreased by carbonation, and it is supposed to be more permeable from carbonation. Member cross-section will be changed due to cracks and carbonation depth. It will affect flexural, shear, compressive strength of structural member and will increase some deflection to affect serviceability. Therefore, corrosion of rebars will drastic damage to the structural member in strength and deflection. The analysis of Kasatsuek Bridge at 65 years old have found to be decreased by 10% in shear of beam and 10% in compression of column from passenger car. However for HS-20 loads, it found to be decreased by 20% in shear for beam, 20% in flexure for beam, 20% in flexure for pier and 10% in compression for column.

For serviceability, the beams have increase deflection from cm to 0.97 cm in 65 years due to passenger car and they have found to be cm to 1.89 cm due to HS-20 loading.

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ลายมือชื่อนิติ..... *ng 2w/8*.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *2/5*.....

ปีการศึกษา..... 2538.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้ และ คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง ไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติศรี อาจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม และ อาจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ดิมิไชย ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จเรียบร้อย

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอกราบพระคุณมารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน และให้ กำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมา และ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกท่านที่ช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ให้สำเร็จด้วยดี จนสำเร็จการศึกษา

เมธา บรรจบโชคชัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	v
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	vi
กิตติกรรมประกาศ	vii
สารบัญ	viii
สารบัญตาราง	ix
สารบัญรูป	x
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	xi
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	4
1.5 ขอบข่ายของงานวิจัย	4
2 คุณสมบัติของวัสดุ	6
2.1 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเทียบกับเวลา	6
2.2 การเกิดคาร์บอนเนชั่น	8
2.2.1 การเกิดคาร์บอนเนชั่นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์	9
2.2.2 การแพร่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในคอนกรีต	10
2.2.3 อัตราการเกิดคาร์บอนเนชั่น	11
2.3 รอยแตกร้าว	15
2.3.1 ความกว้างและระยะห่างระหว่างรอยแตกร้าวของชิ้นส่วน ที่รับน้ำหนักตามแนวแกน	16

2.3.2 ความกว้างและระยะห่างระหว่างรอยแตกร้าวของโครงสร้าง ที่รับแรงดัด	19
2.4 อัตราการเกิดสนิม	21
2.4.1 อัตราการเกิดสนิม	21
2.4.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการกัดกร่อนเหล็ก	24
2.4.3 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	24
3 การวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุและเปรียบเทียบ	27
3.1 อัตราการเกิดคาร์บอนเนชั่น	27
3.1.1 สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์	27
3.1.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	28
3.1.3 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	28
3.1.4 ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์	29
3.1.5 ความลึกของคาร์บอนเนชั่น	30
3.2 ความกว้างและระยะห่างระหว่างรอยแตกร้าว	32
3.3 อัตราการเกิดสนิม	32
3.3.1 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในช่วงเวลาเริ่มต้น	33
3.3.2 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในช่วงเวลาที่กัดกร่อน	34
3.3.3 อัตราการเกิดสนิม	34
3.3.4 อัตราการเกิดสนิมในคอนกรีตที่มีรอยแตกร้าว	35
4 กำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	37
4.1 กำลังรับแรงดัด	37
4.1.1 การแจกแจงหน่วยแรงอัด	38
4.1.2 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม	39
4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง	39
4.2 กำลังรับแรงเฉือน	43
4.3 กำลังรับแรงอัด	44
4.4 การแอ่นตัว	45

5	กำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	48
5.1	การเสี้ยกำลังรับแรงดัดกับเวลา	48
5.2	การเสี้ยกำลังรับแรงเฉือนกับเวลา	52
5.3	การเสี้ยกำลังรับแรงอัดกับเวลา	53
5.4	การแอ่นตัวกับเวลา	54
6	สรุปผลการวิจัย	56
	รายการอ้างอิง	56
	ประวัติผู้เขียน	114



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
2.1 ผลการทดสอบของ George W.Washa	60
2.2 ผลการทดลองของ M.O.Withey	60
2.3 ผลการทดลองของ Sharon L. Wood	61
2.4 ค่ากำลังประลัยของคอนกรีต และความลึกคาร์บอนเนชั่นจากการสำรวจ.....	61
3.1 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรหลักจากการพยากรณ์ กับค่าการสำรวจ	62
3.2 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในกรุงเทพมหานคร	63
3.3 อุณหภูมิเฉลี่ยในเขตกรุงเทพมหานครของกรมอุตุนิยมวิทยา	64
3.4 การหาขนาดและระยะห่างของรอยร้าวตามแบบจำลอง	65
3.5 ระดับความเสียหายตาม CEB Bullentin No 162	65
4.1 ความลึกน้อยที่สุดของคานและแผ่นพื้นทางเดียว	66
4.2 ค่าแฟคเตอร์ I	66
4.3 ค่าการแอ่นตัวที่ยอมให้	66
5.1 ค่าโมเมนต์เฉื่อยของคานใหม่ใช้กำลังตามสมการ (2.4)	67
5.2 ค่าโมเมนต์เฉื่อยของคานใหม่ใช้กำลังตาม CEB	67
5.3 ค่าโมเมนต์เฉื่อยของคานเก่าใช้กำลังตามสมการ (2.4)	68
5.4 ค่าโมเมนต์เฉื่อยของคานเก่าใช้กำลังตาม CEB	68
5.5 ค่าการแอ่นตัวของคานเก่าตามอายุ	69
5.6 ค่าการแอ่นตัวของคานใหม่ตามอายุ	69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

	หน้า
2.1 กำลังของคอนกรีตตามเวลา จากผลการทดลองของ George W. Washa	70
2.2 กำลังของคอนกรีตตามเวลา จากผลการทดลองของ M.O. Withey	70
2.3 กำลังของคอนกรีตตามเวลา จากผลการทดลองของ Sharon L. Wood	70
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(t)$ กับ $(1 - \sqrt{(28/t)})$	71
2.5 แบบจำลองขบวนการเกิดคาร์บอนเนชั่น	72
2.6 ค่า pH ของคอนกรีตตามความลึกจากผิวของคานคอนกรีต	72
2.7 การทำปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นในคอนกรีต	73
2.8 ความลึกคาร์บอนเนชั่นในคานตามอายุ	74
2.9 ความลึกคาร์บอนเนชั่นในตอม่อตามอายุ	74
2.10 ความลึกคาร์บอนเนชั่นในเสาตามอายุ	74
2.11 การสูญเสียมวลของเหล็กตามเวลาจากผลกระทบของความชื้น	75
2.12 การเปลี่ยนแปลงจากการเกิดสนิม	75
2.13 การสูญเสียมวลเหล็กในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ผลกระทบของค่า pH และ ประจุของคลอไรด์)	76
2.14 การสูญเสียมวลเหล็กกับเวลาในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ผลกระทบของ ความเข้มข้นของออกซิเจน)	76
2.15 อิทธิพลของระดับความอิมิตัวของรูพรุนต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริม	77
2.16 ความรุนแรงของการกัดกร่อน ในคอนกรีต(ไมโครแอมป์/ตร.ซม. และในหน่วย มม./ปี)	77
2.17 การเปลี่ยนแปลงค่าของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (i_{corr}) กับเวลา	78
2.18 การเปลี่ยนแปลงค่าของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความชื้นสัมพัทธ์ตามเวลา	78
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน และสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์	79
3.2 ความถี่ของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนในเขตกรุงเทพมหานคร	80
3.3 ความเข้มของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ในปี พ.ศ. 2536	81
3.4 อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคานเก่าสืบเนื่องจากคาร์บอนเนต	82
3.5 อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคานใหม่สืบเนื่องจากคาร์บอนเนต	82
3.6 อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในตอม่อเก่าสืบเนื่องจากคาร์บอนเนต	83

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.7 อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในตอม่อใหม่สืบเนื่องจากคาร์บอนเนต	83
3.8 อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในเสาเก่าสืบเนื่องจากคาร์บอนเนต	84
3.9 อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในเสาใหม่สืบเนื่องจากคาร์บอนเนต	84
3.10 อัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคานและตอม่อสืบเนื่องจากหน้าตัดแตกร้าว	85
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความเค้นของคอนกรีต	86
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความเค้นของเหล็ก	86
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความเค้นของเหล็กตาม ACI 318-89	86
4.4 หน้าตัดคานที่เกิดรอยแตกร้าว	87
4.5 หน้าตัดคานเมื่อเหล็กถึงจุดคดง	87
4.6 หน้าตัดคานที่กำลังตัดประลัยพิจารณาความลึกคาร์บอนเนตชั้น	88
4.7 การรับแรงเฉือนคานคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยม เหล็กปลอกทำมุม α กับแกนของคาน	89
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความเครียดของเสา	89
4.9 การแฉ่นตัวของคานตามเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก P	89
5.1 Elevation ของสะพานกษัตริย์ศึก	90
5.2 Plan ของสะพานกษัตริย์ศึก	91
5.3 รูปตัดขวางของโครงสร้างของสะพานกษัตริย์ศึก	92
5.4 รูปรอยแตกร้าวของคาน B64 จากการสำรวจ	93
5.5 รูปรอยแตกร้าวของคาน B6 จากการสำรวจ	94
5.6 รูปรอยแตกร้าวของคาน B7 จากการสำรวจ	95
5.7 รูปรอยแตกร้าวของคาน B8 จากการสำรวจ	96
5.8 รูปรอยแตกร้าวของคาน B9 จากการสำรวจ	97
5.9 รูปรอยแตกร้าวของคาน B10 จากการสำรวจ	98
5.10 รูปรอยแตกร้าวของคาน B11 จากการสำรวจ	99
5.11 รูปรอยแตกร้าวของคาน B12 จากการสำรวจ	100
5.12 รูปรอยแตกร้าวของคาน B62 จากการสำรวจ	101
5.13 รูปรอยแตกร้าวของคาน B63 จากการสำรวจ	102

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
5.14 กำลังตัดสูงสุดในคานเก่ากับเวลา	103
5.15 กำลังตัดสูงสุดในคานใหม่กับเวลา	103
5.16 กำลังตัดสูงสุดในตอม่อเก่ากับเวลา	104
5.17 กำลังตัดสูงสุดในตอม่อใหม่กับเวลา	104
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังตัดของคานเก่ากับความโค้งจากหน้าตัดแตกร้าว	105
5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังตัดของคานใหม่กับความโค้งจากหน้าตัดแตกร้าว	106
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังตัดบวกของตอม่อเก่ากับความโค้งจากหน้าตัดแตกร้าว ...	107
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังตัดลบของตอม่อเก่ากับความโค้งจากหน้าตัดแตกร้าว	108
5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังตัดของตอม่อใหม่กับความโค้งจากหน้าตัดแตกร้าว	109
5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับเวลาในคานเก่า	110
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนกับเวลาในคานใหม่	110
5.25 กำลังรับแรงอัดในหน้าตัดเสาเก่าคอนกรีตเสริมเหล็กเทียบกับเวลา	111
5.26 กำลังรับแรงอัดในหน้าตัดเสาใหม่คอนกรีตเสริมเหล็กเทียบกับเวลา	111
5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อยกับเวลาในคานเก่า	112
5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อยกับเวลาในคานใหม่	112
5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวของคานเก่ากับเวลา	113
5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวของคานใหม่กับเวลา	113

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	=	ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้คอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตรเกิดคาร์บอนเนชั่นโดยสมบูรณ์
A	=	พื้นที่หน้าตัดของตัวกลางที่ก๊าซเคลื่อนที่ตั้งฉาก
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง
A_{sc}	=	พื้นที่หน้าตัดคงเหลือของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่เกิดสนิม
A_v	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กปลอก
A_{vc}	=	พื้นที่หน้าตัดคงเหลือของเหล็กเสริมปลอกที่เกิดสนิม
b	=	ความกว้างของปีกคาน
b_w	=	ความกว้างของตัวคาน
B_0	=	ค่าคงที่จากการสร้างสมการที่
C	=	แรงอัดของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในหน้าตัด
C_1	=	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผิวคอนกรีต
C_2	=	ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แนวการเกิดคาร์บอนเนชั่น
d	=	ความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัด
d_b	=	ขนาดของเหล็กเสริมรับแรงดึง
$d_c(t)$	=	ความลึกของคอนกรีตที่เกิดคาร์บอนเนชั่นที่เวลา t
d_g	=	ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แพร่ผ่านคอนกรีต
dV	=	ปริมาตรของคอนกรีต
D_e	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิภาพ
E_c	=	ค่าโมดูลัสของคอนกรีต
E_s	=	ค่าโมดูลัสของเหล็กเสริม
f_c	=	หน่วยแรงอัดของคอนกรีต
f'_c	=	หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต
$f'_c(t)$	=	หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เวลา t
f_r	=	หน่วยแรงสูงสุดของคอนกรีต

- f_s = หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม
- f_{sx} = หน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมที่ระยะ x ใดๆจากรอยร้าว
- f_{tx} = หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ระยะ x ใดๆจากรอยร้าว
- f_y = หน่วยแรงดึงที่จุดกลางของเหล็กเสริม
- J_1 = ค่าที่ได้จากสมการ
- J_2 = ค่าที่ได้จากสมการ
- k = ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ สำหรับหาความลึกคาร์บอนเนชั่น
- K = อุณหภูมิเคลวิน
- L = ระยะห่างระหว่างรอยร้าวสองรอย
- m = ตำแหน่งที่มีค่าหน่วยแรงอัดประลัยในหน้าตัด โดยมีระยะห่างจากแกนสะเทินเท่ากับ m
- M = โมเมนต์ดัดของหน้าตัด
- M_{cr} = โมเมนต์ดัดแตกร้าว
- M_u = โมเมนต์ดัดสูงสุดของหน้าตัด
- n = อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตกับหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริม
- N = จำนวนเหล็กเสริมรับแรงดึงในหน้าตัด
- P = เส้นรอบรูปของเหล็กเสริมรับแรงดึง
- P = ความดันบรรยากาศ
- P_u = กำลังกดของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
- R = ค่าคงที่สำหรับหาหน่วยแรงดึงสูงสุดของคอนกรีต
- R_0 = ค่าคงที่ของก๊าซ
- RH = ความชื้นสัมพัทธ์
- S = ค่าโมดูลัสของหน้าตัด
- S_x = การเลื่อนตัวต่อหน่วยความยาว ระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก
- s = ระยะห่างระหว่างเหล็กปลอก
- t = เวลา
- t_f = ช่วงเวลาเริ่มต้น
- T = แรงดึงของเหล็กเสริมที่เกิดขึ้นในหน้าตัด

u_m	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดของคอนกรีต
$U(x)$	=	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กที่ระยะ x ใดๆจากรอยร้าว
v_c	=	หน่วยแรงเฉือนของคอนกรีต
V_c	=	แรงต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในหน้าตัด
V_s	=	แรงต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมที่เกิดขึ้นในหน้าตัด
V_u	=	แรงเฉือนสูงสุดที่น้ำหนักกระทำ
w	=	สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์
W	=	ความกว้างของรอยร้าว
x	=	ตัวแปรใช้แทนระยะใดๆ
y	=	ความลึกจากผิวบนถึงแกนสะเทินของหน้าตัด
y	=	ตำแหน่งที่แรงอัดของคอนกรีตกระทำ มีระยะ y จากแกนสะเทิน
α	=	มุมที่เหล็กเสริมตามขวางทำมุมกับแกนของคาน
β	=	ตัวแปรที่ใช้ในการหาหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เวลาใดๆ
$\gamma(t)$	=	สัมประสิทธิ์สำหรับหาค่าหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่เวลาใดๆ
ϵ	=	ความเครียดของคอนกรีตที่ตัด
ϵ_c	=	ความเครียดของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน
ϵ_0	=	ความเครียดของคอนกรีตที่มีค่าหน่วยแรงอัดประลัย
ϵ_p	=	ความพยุบของคอนกรีต
ϵ_s	=	ความเครียดของเหล็กเสริม
ϵ_t	=	ความเครียดของคอนกรีตที่มีค่าหน่วยแรงดึงสูงสุด
ϵ_y	=	ความเครียดของเหล็กเสริมที่จุดคลาก
ρ	=	เปอร์เซ็นต์ของเหล็กเสริมในหน้าตัด
φ	=	ฟังก์ชันของ x/L
ϕ	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเหล็กเสริม
ξ	=	ความโค้งที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัด
ξ_{cr}	=	ความโค้งที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดแตกร้าว
ξ_u	=	ความโค้งที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดสูงสุด