

การศึกษาพฤติกรรมของวัสดุที่เหมาะสมเพื่อใช้ทดแทนไม้คอนกรีตเสริมเหล็กเปิดโครงสร้าง

นายสมนึก ตั้งทองคำ



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-725-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**STUDY OF BEHAVIOR OF MATERIALS SUITABLE FOR REPLACING WOOD
CROSSARMS SUPPORTING TELEPHONE CABLES**



Mr. Somnuek Tangthongkam

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering**

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-725-2

นายสมนึก ตั้งทองคำ : การศึกษาพฤติกรรมของวัสดุที่เหมาะสมเพื่อใช้ทดแทนไม้คอนกรีตเสริมเหล็ก
(STUDY OF BEHAVIOR OF MATERIALS SUITABLE FOR REPLACING WOOD CROSSARMS SUPPORTING TELEPHONE CABLES) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. ชีรพงศ์ เสนจันทร์ไพฑูริย์, 242 หน้า, ISBN 974-331-725-2.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุที่เหมาะสมเพื่อทดแทนไม้คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยที่วัสดุที่นำมาทดสอบประกอบด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นวัสดุเดิม คอนกรีตเสริมเหล็ก และ คอนกรีตอัดแรงสปัน จำนวนอย่างละ 60 ตัวอย่าง การทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็กในแต่ละประเภทนี้จะจำลองการทดสอบใกล้เคียงกับพฤติกรรมการใช้งานจริงโดยแบ่งรายการทดสอบที่สำคัญคือ การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ การทดสอบการกัดกร่อน สภาวะเร่งทดสอบ และ การทดสอบความต้านทานแรงกระทำเป็นวัฏจักร ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยที่น้ำหนักบรรทุกสถิตย์เฉลี่ยที่จุดครากของคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกการใช้งานเมื่อทำการแขวนเคเบิลโทรศัพท์และให้สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของตัวอย่างการทดสอบมีค่าน้อย จากการที่คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการชุบผิวสังกะสีหนา 120 ไมโครเมตร ทำให้สามารถทนต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศที่รุนแรงต่าง ๆ ได้มากกว่า 20 ปี จึงเริ่มเกิดสนิมเหล็กขึ้น แม้ว่าคอนกรีตเสริมเหล็กจะปรากฏสนิมเหล็กขึ้นบนผิวคอนกรีตเสริมเหล็กแต่ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์เฉลี่ยของคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีการชุบผิวสังกะสี นอกจากนี้คอนกรีตเสริมเหล็กยังสามารถทนต่อการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำที่คำนึงถึงผลของแรงลมจนครบสองล้านรอบโดยไม่เกิดการวิบัติจากความถี่ของการกระทำซ้ำ ซึ่งแตกต่างกับคอนกรีตอัดแรงสปันที่ทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำไม่ครบสองล้านรอบ โดยผลการทดสอบปรากฏความกว้างรอยร้าวที่กึ่งกลางความยาวของคอนกรีตอัดแรงสปันที่เริ่มจากรอยร้าวเล็ก ๆ และความกว้างของรอยร้าวจะขยายใหญ่ตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งคอนกรีตส่วนนี้เป็นพื้นที่รับแรงดึงเกิดการวิบัติ ดังนั้นจึงนับได้ว่าคอนกรีตเสริมเหล็กจึงเหมาะสมที่นำไปใช้ทดแทนคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นวัสดุเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อผู้จัดทำ นาย สมนึก ตั้งทองคำ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

C815201 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: WIND EFFECT ON CABLE / EXPERIMENTAL ANALYSIS / CORROSION ENGINEERING / FATIGUE DESIGN

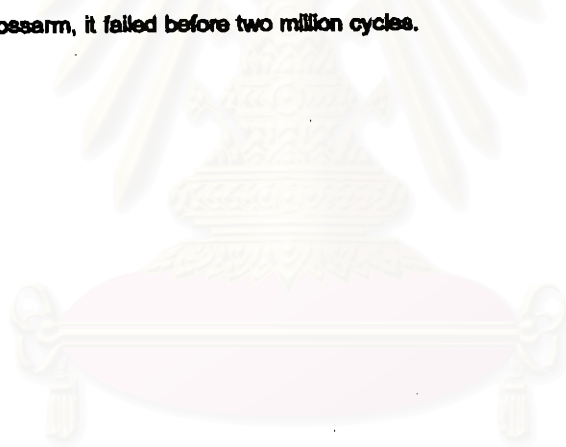
SOMNUJUK TANGTHONGKAM : STUDY OF BEHAVIOR OF MATERIALS SUITABLE FOR REPLACING

WOOD CROSSARMS SUPPORTING TELEPHONE CABLES. THESIS ADVISOR : CHADCHART

SITTIPUNT, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : TEERAPONG SENJUNTICHAJ, Ph.D. 242 pp. ISBN

974-331-725-2.

The objective of this thesis is to study the behavior of proposed materials to replace the wood crossarm supporting the telephone cable. The materials under consideration are wood, channel steel and spun prestressed concrete. Sixty samples of each material were tested to simulate the actual working condition. These tests consist of the static loading test, the accelerated corrosion test and the fatigue test. The test results indicated that the channel steel crossarm was the most suitable material to replace the wood crossarm due to the fact that its yield strength is higher than the service loading and the coefficient of variance from the channel steel samples is very low. In addition, from the corrosion resistant of channel steel crossarm, it is found that the samples can protect corrosion in atmospheres for more than twenty years for 120 micrometer-thick hot dip zinc coating. However, the results from static test show no effect of zinc coating on yield and ultimate strength. From fatigue test, the channel steel crossarm can sustain two million cycles of repeated loading without damage whereas the spun prestressed concrete crossarm, it failed before two million cycles.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต ชชช สจจจจ ชชชชช

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชชช

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ชชช



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ ดร. ชีรพงศ์ เสนจันทร์ฉวีไชย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม วิทยานิพนธ์ที่ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณา ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ท่านศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นอย่างมาก

ผู้เขียนขอขอบคุณ องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยที่ให้เงินทุนสำหรับงานวิจัยนี้ รวมทั้งคุณ สมศักดิ์ ศรีอำพันธ์ เจ้าหน้าที่กองวิจัยและอุปกรณ์กองตอณ ที่กรุณาช่วยเหลือหา ข้อมูลและวัสดุตัวอย่างการทดสอบ และขอขอบคุณบรรดาเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคอนกรีตและ ห้องปฏิบัติการทดสอบที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ รวมทั้ง คุณ วรพงษ์ จีนช้าง และพี่น้อง ทุกคนที่อุทิศกำลังกาย กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ คุณประโยชน์อันพึงจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบแก่ บิดา มารดา และครูอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณในการอบรมให้การศึกษาแก่ผู้เขียน ตลอดมา

สมนึก ตั้งทองคำ

สถาบันวิทย์บริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	6
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ลักษณะของแรงเคเบิลที่กระทำต่อคอนกรีตมวลเบาในงานภาคสนาม	7
2.1 รูปแบบการใช้งานของเคเบิลที่แขวนลงคอนกรีตมวลเบา	7
2.1.1 ชนิดของสายเคเบิล	7
2.1.2 การติดตั้งสายเคเบิลในงานภาคสนาม	7
2.1.3 การติดตั้งเหล็กประกับลงในคอนกรีตมวลเบา	9
2.2 การกำหนดแรงเคเบิลที่กระทำต่อคอนกรีตมวลเบา	9
2.2.1 แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง	9
2.2.1.1 หน่วยแรงต้านลมอ้างอิง	10
2.2.1.2 ตัวคูณผลสภาพพื้นผิว	11
2.2.1.3 ตัวคูณผลรูปร่างอากาศพลศาสตร์	11
2.2.1.4 ตัวคูณผลพลศาสตร์	12
2.2.2 สภาพการรับน้ำหนัก	15
2.2.3 แรงจากสายเคเบิลกระทำลงบนจุดรองรับของคอนกรีตมวลเบา	16
2.2.4 ผลของแรงลมที่กระทำต่อวัสดุ	16
บทที่ 3 การทดสอบและผลการทดสอบ	18
3.1 วัสดุทดสอบ	18
3.1.1 คอนกรีตมวลเบา	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 คอนแท็กรูปตัวซี	18
3.1.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน	19
3.2 รูปแบบการทดสอบ	19
3.2.1 การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์	19
3.2.2 การทดสอบการกักร้อนในสภาวะเร่งทดสอบ	21
3.2.3 การทดสอบความต้านภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร	23
3.3 วิธีการทดสอบ	24
3.3.1 การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์	24
3.3.2 การทดสอบการกักร้อนในสภาวะเร่งทดสอบ	25
3.3.3 การทดสอบความต้านภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร	26
3.4 ผลการทดสอบ	26
3.4.1 ผลการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์	26
3.4.1.1 คอนกรีตอัดแรงสปัน	26
3.4.1.2 คอนแท็กรูปตัวซี	27
3.4.1.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน	28
3.4.2 ผลการทดสอบการกักร้อนในสภาวะเร่งทดสอบ	29
3.4.2.1 คอนกรีตอัดแรงสปัน	29
3.4.2.2 คอนแท็กรูปตัวซี	30
3.4.2.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน	31
3.4.3 ผลการทดสอบความต้านภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร	32
3.4.3.1 คอนกรีตอัดแรงสปัน	32
3.4.3.2 คอนแท็กรูปตัวซี	33
3.4.3.3 คอนกรีตอัดแรงสปัน	34
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	37
4.1 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ	37
4.1.1 การวัดแนวโน้มค่ากลางของข้อมูล	37
4.1.2 การวัดค่าเบี่ยงเบนของข้อมูล	38
4.1.3 ฟังก์ชันการกระจายปกติ	39
4.1.4 ช่วงความเชื่อมั่นสำหรับการคาดการณ์	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การวิเคราะห์ภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์	42
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการกักต่อนในสภาวะเร่งทดสอบ	43
4.3.1 คอนกรีตมวลเบาเปิดกับความเสื่อมสภาพทางชีววิทยา.....	43
4.3.1.1 ราในไม้ที่เป็นสาเหตุในการเกิดความเสื่อมสภาพของไม้	44
4.3.1.1.1 ลักษณะของราที่ทำลายไม้	44
4.3.1.1.2 ความจำเป็นทางกายภาพของราที่ทำลายไม้และอาศัย อยู่ในเนื้อไม้	45
4.3.1.2 แมลงเจาะไม้	46
4.3.1.2.1 ปลวก	46
4.3.1.2.2 แมลงปีกแข็ง	47
4.3.1.2.3 มดเจาะไม้	49
4.3.1.3 การประมาณค่าการสูญเสียถ่วงสมบัติของไม้	49
4.3.2 คอนกรีตรูปตัวซีกับกลไกการกักต่อนในชั้นบรรยากาศ	50
4.3.2.1 โครงสร้างการซูดซิงกะดี	50
4.3.2.2 กลไกการกักต่อน	50
4.3.2.3 ความต้านทานการกักต่อนในชั้นบรรยากาศต่าง ๆ	51
4.3.3 คอนกรีตอัดแรงสปันกับกลไกการกักต่อนในเหล็กแรงดึงสูง	53
4.3.3.1 เหล็กเสริมที่อยู่ในวัสดุซีเมนต์	53
4.3.3.2 การป้องกันการกักต่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต.....	55
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านภายใต้แรงกระทำเป็นวัฏจักร	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	59
รายการอ้างอิง	61
ภาคผนวก	224
ภาคผนวก ก	225
ภาคผนวก ข	230
ภาคผนวก ค	232
ภาคผนวก ง	241
ประวัติผู้เขียน	242

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ขนาดและน้ำหนักของเคเบิลประเภท AP-8 ที่ใช้ในงานข่ายสายอากาศ63
2.2	ขนาดและน้ำหนักของเคเบิลประเภท AP-PIC ที่ใช้ในงานข่ายสายอากาศ64
2.3	เส้นผ่าศูนย์กลางรวมมากที่สุดของสายเคเบิล น้ำหนัก ระยะตกห้องข้าง และแรงดึงของสายสะพานภายใต้ชนิดของเสาไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ65
2.4	ค่าความสูงเกรเดียนท์ (z_0) และ ดัชนียกกำลัง (α) สำหรับสภาพภูมิประเทศต่าง ๆ66
2.5	การปรับแก้หน่วยแรงดันลมเพื่อปรับเวลาเฉลี่ยในการวัดความเร็วลมให้เป็น 1 ชั่วโมง ...66
2.6	ค่าปรับแก้หน่วยแรงดันลมเพื่อปรับคาบเวลาให้เป็น 50 ปี67
2.7	ตัวคูณลดบนความเร็วลมอ้างอิง ในทิศทางต่าง ๆ67
2.8	ค่าระยะความขรุขระ (Z_0) สเกลแฟคเตอร์ (B) และ ดัชนียกกำลัง (α) สำหรับสภาพภูมิประเทศต่าง ๆ68
2.9	น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อปลายแต่ละข้างของคอนแวนเคเบิลเมื่อมีแรงลมมากกระทำในทิศทางทำมุมกับแนวราบของสายเคเบิล.....69
2.10	น้ำหนักบรรทุกกระทำต่อปลายแต่ละข้างของคอนแวนเคเบิลเมื่อมีแรงลมมากกระทำในทิศทางทำมุมกับแนวตั้งของสายเคเบิล.....70
3.1	ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนไม้แชนวเคเบิล71
3.2	ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนหลัก72
3.3	ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนเหล็กรูปตัวซีในทิศแกนรอง73
3.4	ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนกรีตอัดแรงสปัน74
3.5	ผลการตรวจสอบการกักก่อนของคอนแวนเคเบิลในสภาวะเร่งทดสอบ75
3.6	น้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการกักก่อนของคอนแวนเคเบิลที่ตัดเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก76
3.7	ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนแวนเคเบิลในแต่ละประเภทหลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบการกักก่อนสภาวะเร่งทดสอบและน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ77
3.8	ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนไม้แชนวเคเบิล78
3.9	ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนเหล็กรูปตัวซี87
3.10	ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตอัดแรงสปัน96
4.1	พื้นที่ภายใต้ฟังก์ชันเส้นโค้งปกติจาก $z_1 = 0$ ถึง z_2103
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงว่างความเชื่อมั่นกับระดับความเชื่อมั่น104
4.3	พื้นที่ฟังก์ชันการกระจาย Student's t สำหรับดีกรีความอิสระ V กับ $t(\alpha)$105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.4 ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสถิติของคอนกรีตแบริดที่ทดสอบจำนวนอย่างละ 30 ตัวอย่าง	106
4.5 ช่วงความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ ของผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสถิติของคอนกรีตแบริด	107
4.6 ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ภายใต้ข้อกำหนดของคอนกรีตแบริด	108
4.7 การประมาณค่าการสูญเสียกำลังของไม้ที่เป็นไม้อ่อนและแก่นไม้เนื่องจากการทำลายของราสีน้ำตาล	109
4.8 การประมาณค่าการสูญเสียกำลังของไม้ที่เป็นไม้อ่อนและแก่นไม้เนื่องจากการทำลายของราสีขาว	110
4.9 การกักกรองของสังกะสีในน้ำประเภทต่าง ๆ	111
4.10 การกักกรองของสังกะสีในรูปแบบของน้ำประเภทต่าง ๆ	111
ข้อกำหนดสูงสุดของระดับสารละลายคลอไรด์กับน้ำในการผสมคอนกรีต	112
4.12 ข้อกำหนดของระยะหุ้มคอนกรีตที่น้อยที่สุดสำหรับเหล็กเสริมขรรจก เหล็กเสริมแรงดึงสูง ท่อร้อยเหล็กเสริมแรงดึงสูง และอุปกรณ์ยึดเหล็กเสริมในงานคอนกรีตอัดแรง	113

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	รูปแบบการติดตั้งคอนกรีตมวลเบาเปิดกับเสาไฟฟ้า 114
1.2	ความเสียหายคอนกรีตมวลเบาเปิด 114
1.3	รูปแบบของสนิมบริเวณพื้นที่แอโนด 115
2.1	ชนิดของสายเคเบิลงานทางด้านสายอากาศ 116
2.2	การติดตั้งสายสะพานลงคอนกรีตมวลเบาเปิด 117
2.3	การติดตั้งสายเคเบิลของสายโทรศัพท์แขวนร่วมกับคอนกรีตมวลเบาเปิด 118
2.4	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยปานกลางตลอดระยะขรุขระบนพื้นผิวราบสำหรับ สภาพภูมิประเทศต่าง ๆ 119
2.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวคูณรูปร่างและตัวเลขเรย์โนลด์ 120
2.6	ตัวคูณผลรูปร่างของสายเคเบิลโทรศัพท์ที่มีลักษณะเป็นตัวเลขแปด 121
2.7	ส่วนพื้นหลัง (B_0) และ ส่วนก่าทอน (R_0) ของผลพลศาสตร์บนสายเคเบิล 121
2.8	ระยะห่างของเสาไฟฟ้าและระดับความสูงของเคเบิลที่ติดตั้งบนคอนกรีตมวลเบาเปิด ... 122
2.9	แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมง ที่ความสูง 10 เมตร ในสภาพ ภูมิประเทศพื้นโล่ง คาบเวลากลับ 50 ปี 123
2.10	แรงลมที่กระทำต่อวัสดุท่อ 124
3.1	ลักษณะของวัสดุทดสอบของคอนกรีตมวลเบาประเภทต่าง ๆ 127
3.2	การติดตั้งคอนกรีตมวลเบาเปิดกับเสาไฟฟ้า 128
3.3	การแ่นตัวลงของคอนกรีตมวลเบาเปิด 129
3.4	การแ่นตัวขึ้นของคอนกรีตมวลเบาเปิด 129
3.5	หัวข้อที่ใช้ทดสอบคอนกรีตมวลเบาเปิด 130
3.6	ค่าการปรับแก้ของ Linear Variation Differential Transformer (LVDT) 131
3.7	อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบการกัดกร่อนของคอนกรีตมวลเบาเปิดในสภาวะเร่งการทดสอบ ... 134
3.8	รูปแบบการทดสอบความต้านทานใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตมวลเบาเปิด 137
3.9	ลักษณะการทดสอบคอนกรีตมวลเบาเปิดประเภทต่าง ๆ 139
3.10	การวิบัติของคอนกรีตมวลเบาเปิดในลักษณะแรงดึง (Tension failure) 141
3.11	การวิบัติของคอนกรีตมวลเบาเปิดเนื่องจากตาไม้ 142
3.12	กราฟการทดสอบน้ำหนักบรรทุกสถิตย์ของคอนกรีตมวลเบาเปิด 30 ตัวอย่าง 143
3.13	การเสียรูปของคอนกรีตหนักรูปตัวซีในทิศทางแกนหลัก 149

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14	กราฟการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีตรูปตัวซี ในทิศทางแกนรอง 30 ตัวอย่าง150
3.15	การเสียรูปของคอนกรีตรูปตัวซีตัวในทิศทางแกนรอง155
3.16	กราฟการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีตรูปตัวซี ในทิศทางแกนรอง 30 ตัวอย่าง156
3.17	การเกิดรอยร้าวที่ผิวด้านล่างของคอนกรีตอัดแรงสปัน161
3.18	การวิบัติของคอนกรีตอัดแรงสปันที่เกิดการอ้าเปิดที่ผิวบนของคอนกรีต163
3.19	กราฟการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีตอัดแรงสปัน 30 ตัวอย่าง164
3.20	ผลจากปฏิกิริยาของน้ำเกลือทำกับคอนกรีตแชนแคเบิ้ลในแต่ละสัปดาห์172
3.21	กราฟการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีตแชนแคเบิ้ลประเภทต่าง ๆ หลังจาก ทดสอบการกัดกร่อนสภาวะเร่งทดสอบเสร็จสิ้น173
3.22	ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีต แชนแคเบิ้ล174
3.23	ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีต รูปตัวซี175
3.24	ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีต อัดแรงสปัน176
3.25	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตแชนแคเบิ้ลในแต่ละรอบ179
3.26	การขาดของโบลท์ที่กึ่งกลางคอนกรีตแชนแคเบิ้ลที่จำนวนรอบ 1,300,000 รอบ180
3.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและความแอ่นตัวของคอนกรีต แชนแคเบิ้ล181
3.28	ลักษณะการวิบัติของคอนกรีตแชนแคเบิ้ลภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์หลังจาก เสร็จสิ้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ187
3.29	กราฟการทดสอบน้ำหนักบรรทุกทุกสัปดาห์ของคอนกรีตแชนแคเบิ้ลในแต่ละประเภทหลังจาก เสร็จสิ้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ188
3.30	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตรูปตัวซีในแต่ละรอบ191
3.31	การขาดของโบลท์ที่กึ่งกลางคอนกรีตรูปตัวซีที่จำนวนรอบ 920,540 รอบ192
3.32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและความแอ่นตัวของคอนกรีต รูปตัวซี193

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.33	ลักษณะการบิดตัวเสียรูปของคอนกรีตรูปตัวซีภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ199
3.34	การทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของคอนกรีตอัดแรงสปันในแต่ละรอบ202
3.35	รอยร้าวที่ผิวด้านล่างกึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันขณะทำการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ203
3.36	การขาดของโบลท์ที่กึ่งกลางคอนกรีตอัดแรงสปันที่จำนวนรอบ 1,056,700 รอบ ...203
3.37	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำและความแอ่นตัวของคอนกรีตอัดแรงสปัน204
3.38	ลักษณะการอัตระเปิดของคอนกรีตอัดแรงสปันภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ209
4.1	กราฟการกระจายฟังก์ชันเส้นโค้งปกติ210
4.2	พื้นที่หรือโอกาสความน่าจะเป็นที่ค่า z ใด ๆ ซึ่งอยู่ระหว่าง z_1 และ z_2210
4.3	การกระจายฟังก์ชันเส้นโค้งปกติของการตรวจสอบค่าเฉลี่ย \bar{x} และค่าเฉลี่ยของ \bar{x} จากจำนวนตัวอย่าง n ตัวอย่าง211
4.4	ฟังก์ชันการกระจายของ Student's t สำหรับจำนวนค่าดีกรีอิสระ V ต่าง ๆ211
4.5	ความแตกต่างระหว่างราสีน้ำตาด และ ราสีขาว ที่สร้างความเสื่อมสภาพให้กับไม้ ...212
4.6	รูปแบบการหดตัวของไม้ทางด้านยาวเนื่องจากเกิดราสีน้ำตาด212
4.7	อุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของรา213
4.8	ชนิดของปลวก213
4.9	ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับไม้จากการทำลายโดยปลวก214
4.10	แมลงปีกแข็งประเภท Lyctus214
4.11	ตัวหนอนอ่อนของ Lyctus215
4.12	ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับไม้จากการกระทำของแมลงปีกแข็งประเภท Lyctus215
4.13	ตัวหนอนอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงปีกแข็งประเภท Anobiidae216
4.14	ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับไม้จากการทำลายของแมลงปีกแข็งประเภท Anobiidae216
4.15	แมลงปีกแข็งประเภท Cerambycidae217
4.16	ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับไม้จากการทำลายของแมลงปีกแข็งประเภท Cerambycidae ...217
4.17	มดเจาะไม้สีดำ218
4.18	ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับไม้จากการทำลายของมดเจาะไม้สีดำ218

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19	โครงสร้างของผิวเหล็กชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อนที่มีชั้นโลหะผสมเหล็กและสังกะสีด้วยสารผสมเพิ่มของอลูมิเนียม 0.1 ถึง 0.2 เปอร์เซ็นต์219
4.20	การกัดกร่อนของเหล็กชุบสังกะสีในสภาวะบรรยากาศที่เป็น เมือง ทะเล โรงงาน อุตสาหกรรม219
4.21	ความสัมพันธ์อายุการใช้งานกับความหนาของผิวชุบสำหรับเหล็กชุบผิวด้วยสังกะสี ในบรรยากาศต่าง ๆ220
4.22	ความสัมพันธ์ของเวลาเริ่มแรกการบำรุงรักษากับความหนาผิวชุบสำหรับเหล็กชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อนในน้ำทะเลและไอของน้ำทะเล221
4.23	อิทธิพลของน้ำที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนของสังกะสีในน้ำกลั่นและน้ำในอากาศ ...221
4.24	ไดอานแกรมบูแบร์กสำหรับเหล็กที่สัมผัสกับน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 °C222
4.25	ผลกระทบของ pH ที่มีต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีตที่สภาวะน้ำในบรรยากาศภายใต้อุณหภูมิห้อง223
4.26	การกัดกร่อนของสังกะสีในสารละลายของเหลวที่ขึ้นอยู่กับค่า pH223