

พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบชนิดอัดแรงบางส่วน



นาย ศุภสิทธิ์ ภูพงษ์พานิช

ศูนย์วิทยพัทยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

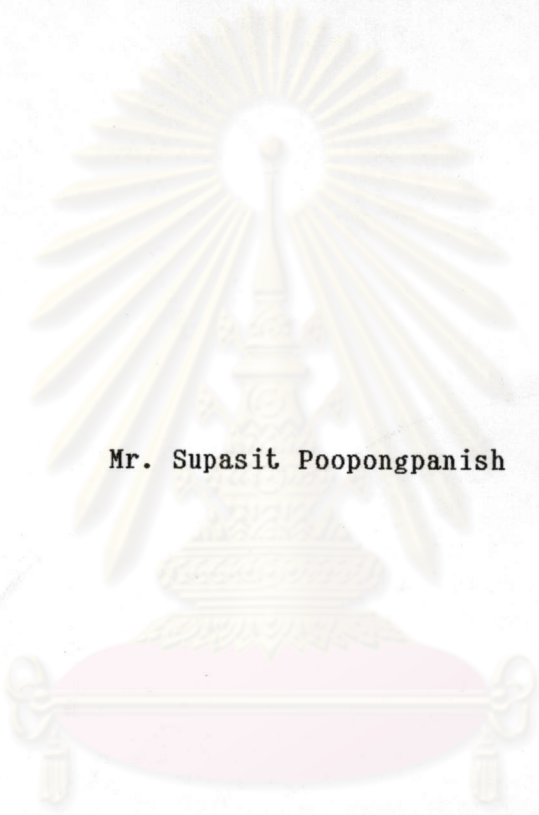
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-605-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BEHAVIOURS OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE FLAT PLATES



Mr. Supasit Poopongpanish

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

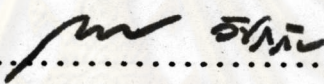
1994

ISBN 974-584-605-8

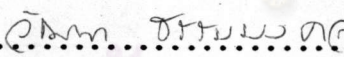


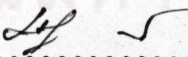
หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตที่รองรับแรงกดอัดตรงบางส่วน
โดย นายศุภสิทธิ์ ภูพงษ์พานิช
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิชัยรักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ วิไลนา ชรรวมงคล)


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


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.บุญไชย สติตมันน์ในธรรม)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้พิมพ์แผ่นเดียว

ผู้กลุ่ิทธิ ฎพงษ์พาดิข : พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตทอ้งเรียบชนิดอัดแรงบางส่วน
(BEHAVIOURS OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE FLAT PLATES)

อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.เอกสิทธิ ลิ้มสุวรรณ, 119 หน้า ISBN 974-584-605-8

โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงบางส่วนเป็นโครงสร้างที่รวมเอาลวดอัดแรง และเหล็กเสริมไว้ในหน้าตัดเดียวกัน เพื่อรับแรงกระทำภายนอกพร้อมกัน การออกแบบจะต้องให้สอดคล้องกับสภาวะกำลังประลัย และสภาวะการใช้งาน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมแผ่นพื้นคอนกรีตทอ้งเรียบชนิดอัดแรงบางส่วน เพื่อหาขีดจำกัดของตัวแปรที่สามารถใช้ควบคุมพฤติกรรมทั้งด้านกำลัง, ความเหนียว, ขนาดรอยแตกกว้าง และการแอ่นตัว การวิเคราะห์หน้าตัดใช้วิธีความเครียดสอดคล้องและความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง เพื่อหาความเครียด และหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในหน้าตัด การคำนวณความกว้างของรอยแตกกว้าง พิจารณาจากสูตรของ ACI, CEB และ Nawy และ Chiang ตามลำดับ

ผลการวิจัยได้บ่งชี้ชัดว่าการควบคุมกำลังดัดและความเหนียวของหน้าตัด ควรใช้ดัชนีเหล็กเสริมเป็นตัวควบคุม ดัชนีเหล็กเสริมของเหล็ก SD-30 ควรน้อยกว่า 0.25 และของเหล็ก SD-50 ควรน้อยกว่า 0.18 ซึ่งจะทำให้หน้าตัดมีความเหนียวเพียงพอต่อการเกิดจุดหมุนพลาสติกได้ ตัวแปรที่มีผลอย่างมากต่อขนาดรอยแตกกว้าง คือ อัตราส่วนการอัดแรง, ดัชนีเหล็กเสริม และขนาดของเหล็กเสริม งานวิจัยนี้ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆเพื่อใช้ตรวจสอบ และควบคุมขนาดรอยแตกกว้าง สำหรับการควบคุมการแอ่นตัวจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการอัดแรงและความหนาของแผ่นพื้น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนช่วงยาวต่อความหนา และอัตราส่วนการอัดแรงจะใช้ในการกำหนดความหนาของแผ่นพื้น เพื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่ให้เกินพิกัดของ L/180, L/360 หรือ L/480 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโครงสร้าง
ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C215253 : MAJOR STRUCTURAL ENGINEERING
KEY WORD: PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE

SUPASIT POOPONGPANISH : BEHAVIOURS OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE
FLAT PLATES. THESIS ADVISOR : PROF. EKASIT LIMSUWAN, Ph.D.
119 pp. ISBN 974-584-605-8

Partially prestressed concrete flat plates are structural concrete member with combination reinforcement of prestressing steel and reinforcing bar. The behaviours would cover whole spectrum of fully prestressed concrete member or normal reinforced concrete slab to satisfy with ultimate limit states and serviceability limit states. This research has studied several parameters governing flexural behaviours; strength, ductility, crack width and deflection. Behaviours of partially prestressed concrete flat plates have analysed by means of strain compatibility method to determine moment-curvature relationship. By such method stress in each elements and strain at each portions can be evaluated. Crack width has determined in accordance with ACI, CEB, and Nawy and Chiang's formulae, respectively.

The results have indicated that the reinforcing index would affect flexural strength and ductility. The reinforcing index of SD-30 steel should be less than 0.25 and SD-50 steel should be less than 0.18 to attain sufficient ductility for inducing plastic hinge in the section. Crack width primarily controls by reinforcing indices, partial prestressing ratio, and bar dimeters. The research has presented the relationship among parameters to evaluate and control the crack width. However, member deflection has influenced by partial prestressing ratio and the slab thickness. The design chart with relationship of span to depth ratio and partial prestressing ratio, is presented to determine slab thickness as governed by permissible deflection of L/180, L/360 or L/480, respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโครงสร้าง
ปีการศึกษา.....2536

ลายมือชื่อนิติ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ วัฒนา ชรรรมงคล และ อาจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม ซึ่งได้ให้ความกรุณาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้

ศุภสิทธิ์ กุพงษ์พานิช

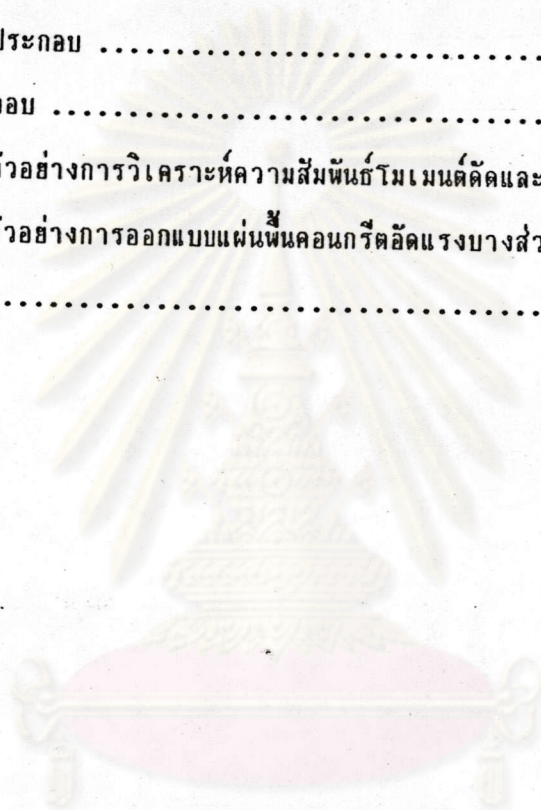
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์.....	4
2.1 วิสตุและแบบจำลองคุณสมบัติหลัก.....	4
2.2 การวิเคราะห์หน้าตัดโดยวิธีความเครียดสอดคล้อง.....	7
2.3 ความสัมพันธ์โมเมนต์ตัดและความโค้ง.....	9
2.4 การควบคุมความกว้างของรอยแตกร้าว.....	10
บทที่ 3 การศึกษาตัวแปรหลักต่อพฤติกรรมการตัด.....	17
3.1 ตัวแปรหลักด้านกำลังและความเหนียว.....	17
3.2 ตัวแปรหลักด้านการให้บริการ.....	25
บทที่ 4 แนวทางการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน.....	32

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	37
เอกสารอ้างอิง	39
รายการตารางประกอบ	42
รายการรูปประกอบ	65
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โมเมนต์ดัดและความโค้ง	110
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	115
ประวัติผู้เขียน	119



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงอิทธิพลของปริมาณลวดอัดแรง (ρ_{ps}) ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	43
ตารางที่ 3.2 แสดงอิทธิพลของปริมาณเหล็กเสริม (ρ_s) ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	43
ตารางที่ 3.3 แสดงอิทธิพลของแรงอัดประสิทธิผลที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	44
ตารางที่ 3.4 แสดงอิทธิพลของแรงกำลังอัดคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	44
ตารางที่ 3.5 แสดงอิทธิพลของดัชนีเหล็กเสริม (\bar{w}) ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	45
ตารางที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม (ในรูปของเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมและดัชนีเหล็กเสริม) และกำลังคอนกรีตที่ภาวะการวิบัติแบบสมคูลย์ สำหรับ $f_y = 5000$ ksc.	46
ตารางที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริม (ในรูปของเปอร์เซ็นต์เหล็กเสริมและดัชนีเหล็กเสริม) และกำลังคอนกรีตที่ภาวะการวิบัติแบบสมคูลย์ สำหรับ $f_y = 3000$ ksc.	46
ตารางที่ 3.8 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนการอัดแรง PPR ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน เมื่อ ดัชนีเหล็กเสริมเท่ากับ 0.10	47
ตารางที่ 3.9 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนการอัดแรง PPR ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน เมื่อ ดัชนีเหล็กเสริมเท่ากับ 0.20	47
ตารางที่ 3.10 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนการอัดแรง PPR ที่มีต่อพฤติกรรมของคอนกรีตอัดแรงบางส่วน เมื่อ ดัชนีเหล็กเสริมเท่ากับ 0.30	48
ตารางที่ 3.11 ความเหนียว(Ductility Index) ทางโครงสร้างของเหล็กเสริมเกรด SD30 และ SD50 เมื่อดัชนีเหล็กเสริมและ PPR ต่างกัน	49

ตารางที่ 3.12	สัดส่วนระหว่างโมเมนต์ใช้งาน(Service Moment)และโมเมนต์ประลัย (Ultimate Moment) ตามมาตรฐาน ACI	50
ตารางที่ 3.13	ผลเปรียบเทียบความกว้างรอยแตกร้าวจากสูตรของ Nawy,CEB, และ ACI	51
ตารางที่ 3.14	แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} เมื่อแปรเปลี่ยน กำลังอัดคอนกรีต	52
ตารางที่ 3.15	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.1 มม. ตามสูตรของ CEB ..	53
ตารางที่ 3.16	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.1 มม. ตามสูตรของ Nawy และ Chiang	53
ตารางที่ 3.17	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.1 มม. ตามสูตรของ ACI...	54
ตารางที่ 3.18	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.2 มม. ตามสูตรของ CEB...	55
ตารางที่ 3.19	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.2 มม. ตามสูตรของ Nawy และ Chiang	55
ตารางที่ 3.20	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.2 มม. ตามสูตรของ ACI...	56
ตารางที่ 3.21	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.3 มม. ตามสูตรของ CEB...	57
ตารางที่ 3.22	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.3 มม. ตามสูตรของ Nawy และ Chiang	57
ตารางที่ 3.23	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่ง กำหนดความกว้างรอยแตกร้าวเท่ากับ 0.3 มม. ตามสูตรของ ACI...	58

ตารางที่ 3.24	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่งกำหนดความกว้างรอยแตกไว้เท่ากับ 0.4 มม. ตามสูตรของ CEB...	59
ตารางที่ 3.25	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่งกำหนดความกว้างรอยแตกไว้เท่ากับ 0.4 มม. ตามสูตรของ Nawy และ Chiang	59
ตารางที่ 3.26	สัดส่วนระหว่าง M_{serv} / M_{ult} ที่ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ซึ่งกำหนดความกว้างรอยแตกไว้เท่ากับ 0.4 มม. ตามสูตรของ ACI...	60
ตารางที่ 3.27	ดัชนีเหล็กเสริม และ PPR ที่เหมาะสมในการควบคุมความกว้างรอยแตกไว้	61
ตารางที่ 3.28	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง L / t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/180$, $L/360$ และ $L/480$ สำหรับแผ่นพื้นช่วงเดียว	62
ตารางที่ 3.29	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง L/t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/180$, $L/360$ และ $L/480$ สำหรับแผ่นพื้นต่อเนื่อง	63
ตารางที่ 3.30	สัดส่วน L / t และ PPR ที่เหมาะสมในการควบคุมการแอ่นตัว	64

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้นในแผ่นคอนกรีตอัดแรงเต็ม (Fully Prestressed)	66
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีต	67
รูปที่ 2.2 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยวิธี Split Tensile Test	68
รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของลวดอัดแรง	69
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม (Typical Stress Strain Curve)	70
รูปที่ 2.5 แสดงการแจกแจงความเครียดบนหน้าตัด เป็นเส้นตรง	71
รูปที่ 2.6 แสดงการแจกแจงหน่วยแรงและความเครียดหลังการแตกร้าว	72
รูปที่ 2.7 แสดงความโค้งหลังการแตกร้าวของหน้าตัดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความโค้งสูงสุดที่หน้าตัดแตกร้าวและความโค้งต่ำสุดที่หน้าตัดซึ่งอยู่ระหว่างรอยแตกร้าว	73
รูปที่ 2.8 แสดงการแจกแจงหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเมื่อความเครียดในคอนกรีตในคอนกรีตมีค่าสูงสุด ($\epsilon_c = 0.003$) ตามมาตรฐาน ACI	74
รูปที่ 2.9 แสดงพฤติกรรมการถ่ายแรงจากเหล็กเสริมไปยังคอนกรีต	75
รูปที่ 3.1 แสดงอิทธิพลของปริมาณลวดอัดแรง (A_{ps}) ที่มีต่อพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	76
รูปที่ 3.2 แสดงอิทธิพลของปริมาณเหล็กเสริม (A_s) ที่มีต่อพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	77
รูปที่ 3.3 แสดงอิทธิพลของแรงอัดประสิทธิผล (f_{pc}) ที่มีต่อพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	78
รูปที่ 3.4 แสดงอิทธิพลของกำลังอัดคอนกรีตที่มีต่อพฤติกรรมแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	79

รูปที่ 3.5	แสดงอิทธิพลของดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) ที่มีต่อพฤติกรรมแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน	80
รูปที่ 3.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดแผ่นพื้นที่ภาวะสมดุล ($\rho_{pb} + \rho_{sb}$) และกำลังอัดคอนกรีต (f_c') เมื่อเหล็กเสริมมีกำลังคลาก 5000 กก/ซม. ²	81
รูปที่ 3.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมในหน้าตัดแผ่นพื้นที่ภาวะสมดุล ($\rho_{sb} + \rho_{pb}$) และกำลังอัดคอนกรีต (f_c') เมื่อเหล็กเสริมมีกำลังคลาก 3000 กก/ซม. ²	82
รูปที่ 3.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีเหล็กเสริม ที่ภาวะสมดุล ($\bar{\omega}_b$) , กำลังอัดคอนกรีต (f_c') และกำลังคลากเหล็กเสริม (f_y)	83
รูปที่ 3.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) และ PPR ในหน้าตัดแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน เมื่อดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) เท่ากับ 0.1 ($0.2\bar{\omega}_b$) ..	84
รูปที่ 3.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) และ PPR ในหน้าตัดแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน เมื่อดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) เท่ากับ 0.2 ($0.4\bar{\omega}_b$) ..	85
รูปที่ 3.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) และ PPR ในหน้าตัดแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วน เมื่อดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) เท่ากับ 0.3 ($0.6\bar{\omega}_b$) ...	86
รูปที่ 3.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเหนียวและดัชนีเหล็กเสริม ในแต่ละค่า PPR สำหรับเหล็กเสริมเกรด SD30 และ SD50	87
รูปที่ 3.13	แสดงผลการเปรียบเทียบสูตรที่ใช้ทำนายความกว้างของรอยแตกกว้างระหว่างสูตรของ Nawy, CEB และ ACI	88
รูปที่ 3.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{scr} / M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกกว้าง 0.1 มม. จากสูตรของ CEB	89
รูปที่ 3.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{scr} / M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม ($\bar{\omega}$) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกกว้าง 0.1 มม. จากสูตรของ Nawy และ Chiang	90

รูปที่ 3.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.1 มม. จากสูตรของ ACI	91
รูปที่ 3.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.2 มม. จากสูตรของ CEB	92
รูปที่ 3.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.2 มม. จากสูตรของ Nawy และ Chiang	93
รูปที่ 3.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.2 มม. จากสูตรของ ACI	94
รูปที่ 3.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.3 มม. จากสูตรของ CEB	95
รูปที่ 3.21	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.3 มม. จากสูตรของ Nawy และ Chiang	96
รูปที่ 3.22	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.3 มม. จากสูตรของ ACI	97
รูปที่ 3.23	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.4 มม. จากสูตรของ CEB	98
รูปที่ 3.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกไว้ 0.4 มม. จากสูตรของ Nawy และ Chiang	99

รูปที่ 3.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน M_{serv}/M_{ult} ที่ยอมให้ , ดัชนีเหล็กเสริม (ω) , PPR และขนาดเหล็กเสริม เมื่อกำหนดความกว้างรอยแตกจำกัด 0.4 มม. จากสูตรของ ACI	100
รูปที่ 3.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/180$ สำหรับแผ่นพื้นช่วงเดียว	101
รูปที่ 3.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/360$ สำหรับแผ่นพื้นช่วงเดียว	102
รูปที่ 3.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/480$ สำหรับแผ่นพื้นช่วงเดียว	103
รูปที่ 3.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/180$ สำหรับแผ่นพื้นต่อเนื่อง	104
รูปที่ 3.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/360$ สำหรับแผ่นพื้นต่อเนื่อง	105
รูปที่ 3.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/t และ PPR เมื่อควบคุมการแอ่นตัวไม่เกิน $L/480$ สำหรับแผ่นพื้นต่อเนื่อง	106
รูปที่ 4.1 แสดงผัง Flow Chart สรุปขั้นตอนการดำเนินการออกแบบโดยวิธี PPR .	107
รูปที่ ก.1 แสดงแบบจำลองแผ่นพื้นสำหรับการวิเคราะห์การแอ่นตัวของแผ่นพื้นช่วงเดียว (Simply Support)	108
รูปที่ ก.2 แสดงแบบจำลองแผ่นพื้นสำหรับการวิเคราะห์การแอ่นตัวของแผ่นพื้นต่อเนื่อง (Continuous Member)	109

คำอธิบายสัญลักษณ์

- f_c = หน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับใด ๆ
- f_c' = กำลังอัดของแท่งคอนกรีตทรงกระบอก
- ϵ = ความเครียดในคอนกรีตที่ระดับใด ๆ
- ϵ_o = ความเครียดที่ตำแหน่ง f_c' (โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.002)
- C_c = แรงแคคิพธ์คอนกรีต
- x = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแรง C_c
- A_{ps} = พื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรง
- A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
- d_p = ความลึกประสิทธิภาพของลวดอัดแรง
- d_s = ความลึกประสิทธิภาพของเหล็กเสริม
- f_{ps} = หน่วยแรงในลวดอัดแรงที่สภาวะประลัย
- f_y = หน่วยแรงคลาก (yield) ในเหล็กเสริม
- a = ความลึกของพื้นที่รับแรงอัดในคอนกรีตที่สภาวะประลัย
- d = ระยะความลึกประสิทธิภาพ จากผิวรับแรงอัด
- W_m = ความกว้างรอยแตกริ้วเฉลี่ย (Everage Crack Width)
- $S_{r,m}$ = ระยะห่างรอยแตกริ้วเฉลี่ย (Everage Crack Spacing)
- ϵ_{sm} = ความเครียดเฉลี่ยที่เปลี่ยนไปในเหล็กเสริม
- f_{bm} = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย
- f_{ct} = หน่วยแรงดึงในคอนกรีต
- A_{ct} = พื้นที่คอนกรีตในส่วนที่รับแรงดึง
- Σu = ผลรวมเส้นรอบวงของเหล็กเสริมรับแรงดึง
- C = ระยะหุ้มเหล็กเสริม (Concrete Covering)
- S = ระยะห่างเหล็กเสริม (Bar Spacing)
- ϵ_{s2} = ความเครียดในเหล็กเสริม ณ แรงกระทำที่พิจารณา

- f_{sr} = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม เมื่อหน่วยแรงดึงในคอนกรีตมีค่าสูงสุด
 f_{se} = หน่วยแรงในเหล็กเสริม ณ แรงกระทำที่พิจารณา
 W_{max} = ความกว้างของรอยแตกกว้างที่มากที่สุดที่ระดับเหล็กเสริมธรรมดา
 f_s = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม หรือเท่ากับ Δf_{ps}
 Δf_{ps} = หน่วยแรงในลวดอัดแรงที่เปลี่ยนไป เทียบกับหน่วยแรงในลวดอัดแรง
 เมื่อความเครียดในคอนกรีตที่ระดับเหล็กเสริมเท่ากับศูนย์
 A_s = พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตในส่วนที่รับแรงดึงต่อเหล็กเสริมหนึ่งเส้น
 d_c = ระยะหุ้มคอนกรีต (covering) ถึงตำแหน่งเหล็กเสริมธรรมดา
 β = อัตราส่วนระหว่างระยะจากผิวรับแรงดึง (tension face) ถึงแกน
 สะเทินและระยะศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมถึงแกนสะเทิน
 a_{cs} = ระยะห่างรอยแตกกว้างเฉลี่ย (Average Crack Spacing)
 f = สัมประสิทธิ์การกระจายหน่วยแรงยึดเหนี่ยว
 u_m = หน่วยแรงยึดเหนี่ยว
 ΣO = ผลรวมของเส้นรอยรูปเหล็กเสริมทั้งหมด
 A_t = พื้นที่คอนกรีตในส่วนที่รับแรงดึง
 f'_c = กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต
 f_{ns} = หน่วยแรงในลวดกำลังสูง ณ แรงกระทำที่พิจารณา
 f_d = หน่วยแรงในลวดกำลังสูง ณ แรงกระทำที่ทำให้ความเครียดใน
 คอนกรีตที่ระดับเหล็กเสริมเท่ากับศูนย์ ($\epsilon_{cs} = 0$)
 R_i = อัตราส่วนระหว่างระยะจากแกนสะเทิน (Neutral Axis) ถึง
 ผิวรับแรงดึงนอกสุดและระยะจากแกนสะเทินถึงศูนย์ถ่วงเหล็กเสริม
 f_{sc} = หน่วยแรงอัดประสิทธิผล
 ρ_s = A_s / bd
 ρ_{ps} = A_{ps} / bd
 ϕ = ความโค้ง
 \bar{w} = ดัชนีเหล็กเสริม
 \bar{w}_b = ดัชนีเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์