

## สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
<b>1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
<b>2 ปรัชญ่วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>8</b>
2.1 ประเภทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	8
2.2 พฤติกรรมและกำลังรับแรงกดอัดในแนวแกนของเสาคอนกรีต และเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก .....	10
2.2.1 เสาคอนกรีตล้วน .....	10
2.2.2 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก .....	10
2.2.3 เสาปลอกเหล็กกรอกคอนกรีตภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน.....	12
2.3 ผลการโอบรัดทางด้านข้างต่อพฤติกรรมของคอนกรีต .....	18
2.3.1 ผลของการโอบรัดต่อพฤติกรรมของคอนกรีตกำลังปกติ .....	18
2.3.2 ผลของการโอบรัดต่อพฤติกรรมของคอนกรีตกำลังสูง .....	21
2.4 ผลการโอบรัดต่อเสาคอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยปลอกเหล็ก .....	21
2.4.1 ผลการโอบรัดต่อเสาคอนกรีตที่ถูกโอบรัด โดยปลอกเหล็กหน้าตัดกลม.....	22
2.4.2 ผลการโอบรัดต่อเสาคอนกรีตที่ถูกโอบรัด โดยปลอกเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยม .....	23

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3	แบบจำลองของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยปลอกเหล็กหน้าตัดกลม.....	24
2.4.4	แบบจำลองของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดโดยปลอกเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยม.....	24
2.5	ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับ Tubed RC column.....	26
2.5.1	มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (มาตรฐาน ว.ส.ท.1008-38)และ มาตรฐานการออกแบบ Building Code requirements for Structural Concrete ของ American Concrete Institute (ACI318-05) and Commentary (ACI318R-05).....	27
2.5.2	มาตรฐานการออกแบบ American Institute of Steel: Manual of Steel Construction: Load and Resistant Factor Design (AISC/LRFD).....	28
2.6	กระบวนการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนแก้ตัวอย่างทดสอบ .....	30
3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	32
3.1	บทนำ.....	32
3.2	การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ.....	33
3.2.1	การทดสอบกำลังรับแรงกดอัดสูงสุดของคอนกรีต .....	33
3.2.2	การทดสอบกำลังรับแรงดึงของปลอกเหล็ก .....	39
3.2.3	การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมคอนกรีต .....	41
3.2.4	การทดสอบแรงกดอัดของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต ที่ถูก โอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก .....	42
3.3	การทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Tubed RC column) ที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็กภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน .....	63
4	ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	80
4.1	ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ.....	80
4.1.1	ผลการทดสอบแรงกดอัดของคอนกรีต .....	80
4.1.2	ผลการทดสอบแรงดึงของเหล็ก .....	85
4.1.3	ผลการทดสอบแรงดึงเหล็กเสริมคอนกรีต .....	89

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดสอบตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน .....	92
4.2.1 พฤติกรรมการรับแรงกดอัดในแนวแกนของตัวอย่างทดสอบ คอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน.....	92
4.2.2 การถ่ายแรงในตัวอย่างทดสอบคอนกรีตที่ถูก โอบรัด ด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	110
4.2.3 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบที่ถูก โอบรัด ด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	121
4.2.4 หน่วยแรงกดอัดในแนวแกนของตัวอย่างทดสอบที่ถูก โอบรัด ด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	125
4.2.5 ผลของหน่วยแรงโอบรัดก่อนต่อพฤติกรรมของคอนกรีต.....	134
4.3 ผลการทดสอบตัวอย่างทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูก โอบรัด ด้วยปลอกเหล็กและให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนภายใต้แรงกดอัดในแนวแกน .....	151
4.3.1 พฤติกรรมการรับแรงกดอัดในแนวแกนของตัวอย่างทดสอบ เสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็ก และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน.....	151
4.3.2 การถ่ายแรงในตัวอย่างทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	158
4.3.3 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกโอบรัดโดยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	162
4.3.4 หน่วยแรงกดอัดในแนวแกนของ Tubed RC column.....	166
4.3.5 การเปรียบเทียบกำลังของ Tubed RC column กับสมการออกแบบเสาเชิงประกอบตามมาตรฐาน AISC/LRFD.....	170
4.3.6 การเปรียบเทียบกำลังของ Tubed RC column กับสมการออกแบบเสาเชิงประกอบ ตามมาตรฐาน ACI Committee 318 .....	172

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 สรุปผลงานวิจัย.....	182
5.1 สรุปผลการทดสอบในงานวิจัย.....	182
5.1.1 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างทดสอบคอนกรีต ที่ถูกรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก (Tubed Concrete specimens) .....	182
5.1.2 สรุปผลการทดสอบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก (Tubed RC column).....	184
5.2 ข้อเสนอแนะในการใช้งาน .....	186
5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป.....	187
รายการอ้างอิง .....	189
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต และเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก ในหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส .....	192
ภาคผนวก ข. กราฟความสัมพันธ์ของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต และเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก ในหน้าตัดกลม.....	202
ภาคผนวก ค. การให้หน่วยแรงอัดก่อน.....	211
ภาคผนวก ง. รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	222
ประวัตินักวิจัย.....	263

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 การเปรียบเทียบข้อกำหนดในการออกแบบเสาเชิงประกอบ ของมาตรฐานการออกแบบต่าง ๆ .....	29
3.1 ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในงานวิจัย .....	46
3.2 รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส และคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง .....	47
3.3 ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมที่ใช้ในงานวิจัย .....	52
3.4 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดกลมและคุณสมบัติวัสดุที่เกี่ยวข้อง .....	53
3.5 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในงานวิจัย ...	67
3.6 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ใช้ในการศึกษาและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง .....	68
3.7 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดกลมที่ใช้ในงานวิจัย.....	71
3.8 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดกลม ที่ใช้ในการศึกษาและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง .....	72
4.1 ผลการทดสอบแรงกดอัดของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต.....	82
4.2 คุณสมบัติทางกลของตัวอย่างทดสอบเหล็ก.....	86
4.3 การเปรียบเทียบอัตราส่วน $B/t$ ตามมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ.....	89
4.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นกลม (RB6).....	90
4.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กข้ออ้อย (DB12).....	90
4.6 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่โอบรัดด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	98
4.7 สรุปผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตทดสอบหน้าตัดกลม ที่โอบรัดด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	107
4.8 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดอัดในแนวแกนที่ถูกถ่ายลงปลอกเหล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงกดอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	113
4.9 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดอัดในแนวแกนที่ถูกถ่ายลงปลอกเหล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงกดอัดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม .....	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10	หน่วยแรงกดอัดในแนวแกนของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสเมื่อพิจารณาการถ่ายแรงลงปโลกเหล็ก..... 127
4.11	การเปรียบเทียบผลทดสอบที่ไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน กับการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนที่ $0.05 f'_{co}$ และ $0.1 f'_{co}$ ..... 128
4.12	การเปรียบเทียบกำลังระหว่างตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม ที่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนและตัวอย่างทดสอบ ที่ไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ..... 132
4.13	ผลการทดสอบหน่วยแรงที่เกิดจาก Passive confinement และ Active confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 136
4.14	เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างราคาก่อสร้างต่อกำลังที่สภาวะใช้งาน ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส..... 143
4.15	ผลการทดสอบของหน่วยแรงที่เกิดจาก Passive confinement และ Active confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม..... 145
4.16	เปอร์เซ็นต์ของแรงกดอัดในแนวแกนที่ถูกถ่ายลงปโลกเหล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรง $P'_{max}$ ของ Tubed RC column หน้าตัดกลม ..... 161
4.17	กำลังแรงกดอัดสูงสุดและค่าความเครียดสูงสุด ที่เกิดขึ้นใน Tubed RC column ของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส..... 167
4.18	สรุปผลการทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดกลม ที่โอบรัดด้วยปโลกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน ..... 169
4.19	การเปรียบเทียบระหว่างค่าแรง $P'_{max}$ และค่ากำลังรับแรง ตามมาตรฐาน AISC/LRFD ของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 170
4.20	การเปรียบเทียบกำลังของ Tubed RC column กับการทำนายกำลัง โดยใช้สมการออกแบบของ AISC/LRFD ของเสาหน้าตัดกลม ..... 172
4.21	การเปรียบเทียบระหว่างค่าแรง $P'_{max}$ และค่ากำลังรับแรง ตามมาตรฐาน ACI 318 ของเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส..... 174
4.22	การเปรียบเทียบระหว่างค่าแรง $P'_{max}$ และค่ากำลังรับแรง ตามมาตรฐาน ACI 318 ของเสาหน้าตัดกลม ..... 175

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.23 การเปรียบเทียบกำลังของ Tubed RC column ของหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส กับการทำนายกำลังโดยใช้สมการออกแบบของ ACI Committee318 และสมการออกแบบใหม่ที่ดัดแปลงจากสมการออกแบบของ ACI Committee318 .....	178
4.24 การเปรียบเทียบกำลังของ Tubed RC column ของหน้าตัดกลม กับการทำนายกำลังโดยใช้สมการออกแบบของ ACI Committee 318 และสมการออกแบบใหม่ที่ดัดแปลงจากสมการออกแบบของ ACI Committee 318.....	181
ค.1 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียว หมุดเกลียวและสตั๊ด.....	214
ค.2 เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลียวธรรมดา .....	215
ค.3 สรุปผลการคำนวณหาโมเมนต์บิดสำหรับชั้นสลักเกลียวที่ค่า $0.05 f'_{co}$ .....	217
ค.4 สรุปผลการคำนวณหาโมเมนต์บิดสำหรับชั้นสลักเกลียวที่ค่า $0.1 f'_{co}$ .....	217
ค.5 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ .....	218
ค.6 ตารางสรุปผล โมเมนต์บิดที่นำไปบิดสลักเกลียวของตัวอย่างทดสอบ ที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	220
ค.7 ตารางสรุปผล โมเมนต์บิดที่นำไปบิดสลักเกลียวของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกโอบรัดด้วยปลอกเหล็กและมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน .....	221

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ..... 2
2.1	ประเภทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ..... 9
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของคอนกรีตและเหล็กเสริม ..... 12
2.3	รูปแบบของเสาที่ปลอกเหล็กกรอกคอนกรีต ..... 14
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดในแนวแกนและความเครียด ของเสาที่ปลอกเหล็กกรอกคอนกรีต..... 17
2.5	ผลการโอบรัดต่อพฤติกรรมการรับแรงกอดในแนวแกนของคอนกรีต..... 20
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีตทรงกระบอก ที่ถูกโอบรัดและไม่ถูกโอบรัด ..... 20
2.7	การกระจายของหน่วยแรงโอบรัด..... 21
2.8	คอนกรีตที่ถูกโอบรัดในเสาน้ำตัดรูปสี่เหลี่ยม ..... 23
2.9	การให้หน่วยแรง โอบรัดก่อนแก้ตัวอย่างทดสอบ..... 31
3.1	กรอบแนวคิดการดำเนินงานวิจัย..... 33
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีต ..... 35
3.3	ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตล้วน ..... 38
3.4	การติดตั้งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงกอด..... 39
3.5	รายละเอียดแผ่นตัวอย่างทดสอบรูปกระดุกของปลอกเหล็ก ..... 40
3.6	การติดตั้งตัวอย่างเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตเข้ากับเครื่องทดสอบ UTM ..... 41
3.7	ลักษณะการให้แรงกระทำแก่เสาที่ปลอกเหล็กกรอกคอนกรีต..... 43
3.8	LVDT capacity 100 mm ..... 44
3.9	แสดงแบบรายละเอียดตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยม ..... 45
3.10	แสดงแบบรายละเอียดตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม..... 51
3.11	แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในงานวิจัย ..... 56
3.12	แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กหน้าตัดกลมที่ใช้ในงานวิจัย ..... 57
3.13	การหล่อตัวอย่างทดสอบคอนกรีต ..... 58
3.14	แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กอัดแรงของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 59

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15	แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กอัดแรงของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตหน้าตัดวงกลม ..... 60
3.16	แสดงการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ..... 62
3.17	แบบจำลองการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ..... 62
3.18	รายละเอียดของเหล็กเสริมของตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column ..... 64
3.19	รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 66
3.20	รายละเอียดของตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column หน้าตัดกลม ..... 70
3.21	แสดงรายละเอียดปลอกเหล็กที่ใช้ในงานวิจัย ..... 74
3.22	การหล่อตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column ..... 74
3.23	รายละเอียดแบบปลอกเหล็กของ Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ความหนา 6.0 mm และ ลักษณะของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก ..... 75
3.24	รายละเอียดแบบปลอกเหล็กของ Tubed RC column หน้าตัดกลม ที่ความหนา 6.0 mm และ ลักษณะของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ถูกโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก ..... 76
3.25	แผนภาพแสดงการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column เพื่อทดสอบแรงกดอัด..... 78
3.26	ตัวอย่างการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ Tubed RC column เพื่อทดสอบแรงกดอัด..... 79
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและค่าความเครียดของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต..... 83
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังรับแรงกดอัดสูงสุด ..... 84
4.3	ตัวอย่างทดสอบคอนกรีตและลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบคอนกรีต ..... 85
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและค่าความเครียดของปลอกเหล็ก ความหนา 3.2 มิลลิเมตร..... 87
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและค่าความเครียดของปลอกเหล็ก ความหนา 4.5 มิลลิเมตร..... 87
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและค่าความเครียดของปลอกเหล็ก ความหนา 6.0 มิลลิเมตร..... 88
4.7	ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเหล็ก..... 88
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียดของเหล็กเส้นกลม..... 91

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียดของเหล็กเส้นข้ออ้อย..... 91
4.10	ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเหล็กเส้นกลม ..... 92
4.11	ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเหล็กเส้นข้ออ้อย..... 92
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ไม่มีการให้หน่วยแรง โอบรัดก่อน (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 2)..... 95
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการให้หน่วยแรง โอบรัดก่อนขนาด $0.05 f'_{co}$ (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 3)..... 96
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการให้หน่วยแรง โอบรัดก่อน ขนาด $0.1 f'_{co}$ (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 4)..... 97
4.15	แผนภาพแสดงการหาค่าหน่วยแรงสูงสุดของ Tubed concrete specimen ..... 101
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ หน้าตัดกลมที่ไม่มีการให้หน่วยแรง โอบรัดก่อน (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 2)..... 104
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ หน้าตัดกลมที่มีการให้หน่วยแรง โอบรัดก่อน ขนาด $0.05 f'_{co}$ (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 3)..... 105
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ หน้าตัดกลมที่มีการให้หน่วยแรง โอบรัดก่อน ขนาด $0.08 f'_{co}$ (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 4)..... 106
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียดในแนวแกน และในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็กที่กึ่งกลางความสูง ของตัวอย่างทดสอบ SR18 - 3.2..... 111

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียดในแนวแกน และแนวขวางเกิดขึ้นที่ปลอกเหล็กที่กึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ CS32-32-0 CS32-45-0 และ CS32-60-0..... 116
4.21	ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบอ้างอิง ..... 121
4.22	ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยม ..... 122
4.23	ตัวอย่างลักษณะหน้าตัดการวิบัติของตัวอย่างทดสอบที่ความหนา 3.2 4.5 6.0 mm ..... 123
4.24	ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบอ้างอิงกลุ่มที่ 1 ..... 124
4.25	ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 2 ..... 124
4.26	ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 3 และ 4..... 125
4.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Strengthening ratio $f'_{max,conc} / f'_{max,conc, without preconfinement}$ และ Confinement ratio $f'_1 / f'_{co}$ ..... 129
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกำลังของตัวอย่าง ที่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนเทียบกับตัวอย่าง ที่ไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน และอัตราส่วนของหน่วยแรงโอบรัดก่อน ต่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ..... 133
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของปลอกเหล็ก และหน่วยแรงที่เกิดจากผลของ Passive confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม ..... 137
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีต และหน่วยแรงที่เกิดจากผลของ Passive confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 138
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของปลอกเหล็ก และหน่วยแรงที่เกิดจากผลของ Active confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 139
4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีตและหน่วยแรงที่เกิดจาก ผลของ Active confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 139

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของปลอกเหล็กและหน่วยแรงที่เกิดจาก ผลของ Active confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส..... 140
4.34	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีตและหน่วยแรงที่เกิดจาก ผลของ Passive confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม..... 149
4.35	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของปลอกเหล็กและหน่วยแรงที่เกิดจาก ผลของ Active confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม ..... 149
4.36	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยคอนกรีตและหน่วยแรงที่เกิดจาก ผลของ Active confinement ของตัวอย่างทดสอบหน้าตัดกลม ..... 150
4.37	ความสัมพันธ์ของแรงกอดอัดและการหดตัวในแนวแกนของเสา Tubed RC column หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส..... 154
4.38	แผนภาพแสดงการหาค่าแรงกอดอัดสูงสุดของ Tubed RC column..... 155
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดและการหดตัวในแนวแกน ของ Tubed RC column หน้าตัดกลม ..... 157
4.40	ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็กที่กึ่งกลางความสูง ของเสา SRC18 - 6.0..... 158
4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็กที่กึ่งกลาง ของตัวอย่างทดสอบ CST25-0 และ CST25-005..... 160
4.42	ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กอ้างอิงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ..... 162
4.43	ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของตัวอย่างเสา Tubed RC columns หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส .... 163
4.44	ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กอ้างอิง..... 165
4.45	ตัวอย่างลักษณะการวิบัติของ Tubed RC column ..... 165
ก.1	ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและค่าความเครียดของตัวอย่างทดสอบอ้างอิง..... 193
ก.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR18 - 3.2 ..... 193

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR18 - 4.5 .....	194
ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR18 - 6.0 .....	194
ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR25 - 3.2 .....	195
ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR25 - 4.5 .....	195
ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR25 - 6.0 .....	196
ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR32 - 3.2 .....	196
ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR32 - 4.5 .....	197
ก.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็ก ที่กึ่งกลางความสูงของ SR32 - 6.0 .....	197
ก.13 ความสัมพันธ์ของแรงกดอัดและการหดตัวในแนวแกน ของเสา Tubed RC column ที่มี $f'_{co} = 25$ MPa .....	199

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.14 ความสัมพันธ์ของแรงกอดอัดและการหดตัวในแนวแกน ของเสา Tubed RC column ที่มี $f'_{co} = 32$ MPa .....	199
ก.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียดในแนวแกน และในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็กที่กึ่งกลางความสูง ของเสา Tubed RC column ที่มี $f'_{co} = 18$ MPa .....	200
ก.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียดในแนวแกน และในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็กที่กึ่งกลางความสูง ของเสา Tubed RC column ที่มี $f'_{co} = 25$ MPa .....	200
ก.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียดในแนวแกน และในแนวขวางที่เกิดขึ้นที่ปลอกเหล็กที่กึ่งกลางความสูง ของเสา Tubed RC column ที่มี $f'_{co} = 32$ MPa .....	201
ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ ที่ไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 2).....	203
ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ ที่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนขนาด $0.05 f'_{co}$ (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 3).....	204
ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของตัวอย่างทดสอบ ที่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนขนาด $0.08 f'_{co}$ (ตัวอย่างทดสอบกลุ่มที่ 4).....	205
ข.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกอดอัดและการหดตัวในแนวแกน ของ Tubed RC column ด้วยปลอกเหล็กหนา 4.5 มิลลิเมตร และมีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน.....	206
ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและแนวขวางของตัวอย่างทดสอบ ที่ไม่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อน.....	207
ข.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกอดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและแนวขวางของตัวอย่างทดสอบ ที่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนขนาด $0.05 f'_{co}$ .....	208

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและแนวขวางของตัวอย่างทดสอบ ที่มีการให้หน่วยแรงโอบรัดก่อนขนาด $0.08 f'_c$ .....	209
ข.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดอัดในแนวแกนและค่าความเครียด ในแนวแกนและแนวขวางของ Tubed RC Column .....	210
ค.1 Free-body diagram ของปลอกเหล็ก .....	218
ค.2 ภาพตัดของปลอกเหล็ก .....	219