บทที่ 7

สรุปผลการศึกษาวิจัย

1. ข้อกำหนดเหล็กเสริมอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

สำหรับประเทศไทยใช้ข้อกำหนดของคอนกรีตเสริมเหล็กจากมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 และ มาตรฐาน มยผ.1301-50 สำหรับมาตรฐานหลังนั้นเป็นข้อกำหนดของอาคารต้านทานแผ่นดินไหวซึ่งมีต้นแบบมาจากมาตรฐาน UBC และ ACI ในพื้นที่เสี่ยงภัยระดับปานกลางซึ่งมีข้อกำหนดเกี่ยวกับองค์อาคารต่างๆเช่น คาน เสา และจุดต่อ สำหรับมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 นั้นมีต้นแบบมาจากมาตรฐาน ACI ในพื้นที่เสี่ยงภัยระดับต่ำจึงเหมาะสมในการใช้ในพื้นที่นอกการบังคับใช้กฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550

ข้อกำหนดในแต่ละองค์อาคาร

คาน

มยผ.1301-50 คานมีนิยามคือ องค์อาคารต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่า (Factored axial load) ไม่มากกว่า $0.10A_g f'_c$ การเสริมเหล็กแนวยาวในคาน ในมาตรฐานนี้ได้ระบุกำลังต้านทานโมเมนต์ต่ำสุดในแต่ละตำแน่งเช่นที่ขอบจุดรองรับและบริเวณกลางคาน สำหรับกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบนั้นต้องไม่น้อยกว่าแรงเฉือนที่เกิดจากค่าโมเมนต์กำลังระบุที่ปลายคานรวมกับแรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงโน้มถ่วง หรือใช้ค่าแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดจากการรวมน้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Design Load Combination) โดยพิจารณาแรงเนื่องแผ่นดินไหวเป็น 2 เท่าของแรงในกฎกระทรวงแผ่นดินไหว (พ.ศ.2550) ระยะเรียงของเหล็กปลอกได้มีข้อกำหนดในแต่ละกรณีและแต่ละตำแหน่งของคานโดยมีการควบคุมด้วยระยะเรียงต่ำสุดและควรหลีกเลี่ยงการทาบเหล็กเสริมทั้งด้านบนและล่างในระยะ 2 เท่าของความลึกของคานโดยวัดจากจุดรองรับ

มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 คานมีนิยามเช่นเดียวกับ มยผ. 1301-50 แต่สำหรับการออกแบบรับแรงเฉือนใช้ค่าจากน้ำหนักบรรทุกโดยไม่ได้กำหนดจากกำลังของโมเมนต์ที่หน้าตัด และในมาตรฐานนี้ไม่มีการระบุกำลังต้านทานโมเมนต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ แต่มีเพียงปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด สำหรับระยะเรียงเหล็กปลอกในคานนั้น กำหนดระยะเรียงของเหล็กปลอกต้องไม่เกิน 1/2 ของความลึกประสิทธิผลแต่ไม่เกิน 60 ซม. และระยะทาบของเหล็กเสริมในคานตามมาตรฐานว.ส.ท. ระบุเพียงชั้นคุณภาพเท่านั้น

มาตรฐาน Uniform building code (UBC1997) และ มาตรฐาน ACI 318-02 มีเนื้อหาครอบคลุมในทุกพื้นที่เสี่ยงภัย และในส่วนของข้อกำหนดสำหรับการให้รายละเอียดเหล็กเสริมในคานที่เทียบเท่ากับมาตรฐาน มยผ.1301-50 คือ ข้อกำหนดของโครงข้อแข็งในพื้นที่เสี่ยงภัยระดับปานกลาง (Intermediate moment resisting frame)

เสา

มยผ.1301-50 นิยามสำหรับเสาใน มยผ.1301-50 หมายถึงองค์อาคารต้านแรงดัดที่มีแรงตามแนวแกนปรับค่ามากกว่า $0.10A_g f'_c$ โดยกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ใช้ออกแบบต้องพิจารณาเช่นเดียวกับคาน ในการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนในเสานั้นเหล็กปลอกเดี่ยวต้องเสริมโดยมีระยะเรียงไม่มากกว่าระยะ s_o ตลอดความยาว l_o ที่วัดจากขอบของข้อต่อเสาโดยที่ระยะ s_o ต้องไม่มากกว่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มีขนาดเล็กสุด และ 24 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอก และ1/2 เท่าของมิติที่เล็กที่สุดของหน้าตัดเสาและ 300 มิลลิเมตร และเหล็กปลอกตัวแรกต้องอยู่ห่างจากขอบของข้อต่อเป็นระยะไม่มากกว่า $0.5s_o$ ระยะเรียงนอกระยะ l_o ต้องไม่มากกว่า $2s_o$ โดยที่ระยะ l_o นั้นต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 6 ของความสูงขอบถึงขอบเสา และ มิติที่มากที่สุดของหน้าตัดเสาและ 500 มิลลิเมตร ในรายละเอียดของเหล็กปลอกเกลียวให้ใช้เช่นเดียวกับการเสริมเหล็กองค์อาคารรับแรงอัดในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท. 1008 – 38) ในส่วนของปริมาณเหล็กเสริมตามยาวนั้นในมาตรฐานนี้ระบุให้ใช้ค่าระหว่างร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 6 ของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับบริเวณข้อต่อเสาและคานที่ไม่ได้เป็นส่วนหลักของระบบรับแรงแผ่นดินไหวและมีการยึดโคนเสาทั้ง 4 ด้านด้วยแผ่นพื้นหรือคานที่มีความลึกเท่ากันโดยประมาณ ข้อต่อต้องมีการเสริมเหล็กปลอกไม่น้อยกว่า $A_v = 3.5 b_w s / f_y$ (หน่วยเมตริก) โดยต้องเสริมให้มีระยะไม่น้อยกว่าความลึกของคานที่ลึกที่สุดของข้อต่อนั้น และหากมีความจำเป็นต้องต่อเหล็กเสริมในเสาให้ต่อบริเวณช่วงกลางความสูงเสา

มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38 กำหนดปริมาณเหล็กเสริมตามยาวสูงสุดร้อยละ 8 ของเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด สำหรับเหล็กปลอกเกลียวระยะเรียงต้องไม่มากกว่า 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวและ 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กปลอกและด้านที่แคบที่สุดขององค์อาคาร ส่วนในบริเวณจุดต่อในมาตรฐาน ว.ส.ท. กล่าวเพียงต้องมีมาตรการเสริมความแข็งแรงพิเศษที่จุดต่อนั้นแต่ไม่มีรายละเอียดการเสริมความแข็งแรงแต่อย่างใดและการต่อเหล็กในเสามีรายละเอียดการทาบเหล็กเสริมเช่นการแบ่งชั้นคุณภาพหรือการต่อด้วยข้อต่อทางกลแต่ไม่ได้ระบุตำแหน่งการทาบเหล็กเสริม

ข้อต่อระหว่างเสาและคาน

มยผ.1301-50 กำหนดให้ข้อต่อระหว่างเสาและคานต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อมิให้แรงภายในในสภาวะรับแรงแผ่นดินไหวเกินกว่ากำลังของข้อต่อโดยแรงเฉือนในแนวนอนสูงสุดที่กระทำกับข้อต่อ (V_j ที่คำนวณจากสภาพที่กำลังต้านโมเมนต์ดัดระบุ (M_n) ที่ปลายคานเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกัน) ต้องมีค่าไม่มากกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนออกแบบ (ϕV_n) โดยตัวคูณลดกำลัง (ϕ) ใช้เท่ากับ 0.85 และ กำลังต้านแรงเฉือนระบุ (V_n) ของข้อต่อซึ่งกำหนดอยู่ในรายละเอียดในมาตรฐาน ซึ่งในส่วนนี้เทียบเท่ากับการพิจารณากำลังของข้อต่อเทียบเท่ากับข้อกำหนดสำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยระดับสูงในมาตรฐาน UBC1997 โดยมีข้อแตกต่างคือในมาตรฐาน มยผ 1301-50 ใช้กำลังของเหล็กเสริมเท่ากับค่ากำลังคราก (f_y) สำหรับการคำนวณค่า V_j แต่ในมาตรฐาน UBC1997 ใช้ค่า $1.25f_y$ อย่างไรก็ตาม สรุปได้ว่าในส่วนของจุดต่อ มยผ.1301-50 มีข้อกำหนดรายละเอียดที่สูงกว่าโครงต้านแรงดัดในพื้นที่เสี่ยงภัยระดับปานกลางของมาตรฐาน UBC1997

2. ผลเชิงเศรษฐศาสตร์

การศึกษาผลกระทบด้านราคาจากการปฏิบัติตามข้อบังคับในประเทศสำหรับการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานแผ่นดินไหวจากตัวอย่างอาคารรวม 24 กรณีศึกษาจากอาคาร 3 รูปแบบและจากการใช้การรวมน้ำหนักบรรทุก 2 รูปแบบ

อาคารโกดัง 3 ชั้น

การรวมน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงฉบับที่ 6

บริเวณที่ 1 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 18 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 9

บริเวณที่ 2 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 21 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 10

บริเวณที่เฝ้าระวัง เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 7 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.5

การรวมน้ำหนักบรรทุกจาก ว.ส.ท.1008-38

บริเวณที่ 1 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 19 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 9

บริเวณที่ 2 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 18 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 8

บริเวณที่เฝ้าระวัง เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 8 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 4

อาคารพักอาศัย 7 ชั้น

การรวมน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงฉบับที่ 6

บริเวณที่ 1 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 23 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 14

บริเวณที่ 2 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 21 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 15

บริเวณที่เฝ้าระวัง เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 4 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.5

บริเวณที่เฝ้าระวังกรณีลดขนาเหล็กปลอก เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 2

การรวมน้ำหนักบรรทุกจาก ว.ส.ท.1008-38

บริเวณที่ 1 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 25 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 15

บริเวณที่ 2 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 23 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 15

บริเวณที่เฝ้าระวัง เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3

อาคารพักอาศัย 15 ชั้น

การรวมน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงฉบับที่ 6

บริเวณที่ 1 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 21 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 14

บริเวณที่ 2 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 21 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 13

บริเวณที่เฝ้าระวัง เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 7 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 4

บริเวณที่เฝ้าระวังกรณีลดขนาดเหล็กปลอก เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 2

การรวมน้ำหนักบรรทุกจาก ว.ส.ท.1008-38

บริเวณที่ 1 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 25 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 16

บริเวณที่ 2 เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 25 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 15

บริเวณที่เฝ้าระวัง เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 9 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5

บริเวณที่เฝ้าระวังกรณีลดขนาเหล็กปลอก เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5 ราคางานโครงสร้างเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3

ดังนั้นผลของของการบังคับใช้กฎกระทรวงแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550 ควบคู่กับมาตรฐาน มยผ.1301-50 มีผลให้ในบริเวณที่ 1 และ 2 ค่าใช้จ่ายงานโครงสร้างของอาคารโกดัง 3 ชั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 อาคารพักอาศัย 7 ชั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 และอาคารพักอาศัย 15 ชั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 13 – 15 สำหรับบริเวณเฝ้าระวัง อาคารโกดัง 3 ชั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 อาคารพักอาศัย 7 ชั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 และอาคารพักอาศัย 15 ชั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 – 5