

การเปรียบเทียบผลการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารพาณิชย์ชนิดเสาคาน ตามกฎกระทรวงปี 2566 และ ASCE 7-16

Comparison of Structural Design for Earthquake Resistance of Commercial Building Using Column and Beam Structures following Building Control Act B.E.2566 and ASCE 7-16

ภาณุภัค วิมลสันติรังษี*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่

*Corresponding author; E-mail address: panupak.v2555@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การศึกษาเปรียบเทียบผลการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารพาณิชย์ชนิดเสาคานตามกฎกระทรวงปี 2566 และ ASCE 7-16 จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้น้ำหนักบรรทุกจรตามกฎกระทรวงปี 2566 ร่วมกับความเร่งเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวจากกฎกระทรวงปี 2564 อาคารตั้งอยู่ในเขต อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงใหม่ ผลการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวด้วยชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี 2566 และชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกจาก ASCE 7-16 โครงสร้างเสาคานจากการออกแบบด้วยชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกจาก ASCE 7-16 ให้ปริมาณเหล็กเสริมหลักเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในเสาคานบางต้นมากกว่าชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี 2566 โดยชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกที่ส่งผลกระทบต่อชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกที่มีแรงแผ่นดินไหวเป็นหลัก ในส่วนโครงสร้างคานการออกแบบด้วยชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกจาก ASCE 7-16 ทั้งปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในคานบางต้นจะให้ปริมาณเหล็กเสริมมากกว่าชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี 2566 และพบว่าการลดปริมาณน้ำหนักบรรทุกคงที่ด้วยการใช้วัสดุมวลเบาและการเปลี่ยนปลาน้ำหนักบรรทุกจรจากชนิดของอาคารตามกฎกระทรวงก็ส่งผลต่อการลดปริมาณเหล็กเสริมในเสาคานและคาน คำสำคัญ: โครงสร้างเสาคาน, โครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว, ชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุก

Abstract

This article presents a comparative study on the structural design for earthquake resistance of commercial building using column and beam structures following Building Control Act, B.E.2566 and ASCE 7-16. The study examines the effects of live loads specified in Building Control Act, B.E.2566 in conjunction with seismic acceleration values from Building Control Act, B.E.2564 for a building located in Mueang District, Chiang Mai Province. The results indicate that when using load combination factors from ASCE 7-16, the design of structural columns requires a greater amount of main reinforcement and shear reinforcement in certain columns compared to those designed using the load combination factors from Building Control Act, B.E.2566. This difference is primarily influenced by load combinations where seismic forces dominate. Similarly, in beam

design, the use of ASCE 7-16 load combination factors results in higher amounts of both main reinforcement and shear reinforcement in certain beams compared to Building Control Act, B.E.2566 Furthermore, it was found that reducing the dead load through the use of lightweight materials and modifying the live load based on the building type, as specified in the Ministerial Regulation, can contribute to a reduction in the required reinforcement in both columns and beams.

Keywords: Column and Beam Structures, Earthquake Resistance Structure, Load Combination.

1. บทนำ

ปี พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2566 ได้มีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการออกแบบที่สำคัญโดยกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2564 ได้บังคับใช้กฎหมายเกี่ยวกับการออกแบบรับแรงต้านทานจากแผ่นดินไหวและในปี พ.ศ.2566 ได้บังคับใช้กฎหมายเกี่ยวกับกำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคารซึ่งมีการกำหนดชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกใหม่ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากกฎกระทรวงเดิม และ แตกต่างจาก ASCE07-16 พอสมควร

กฎกระทรวงปี 2564 สำหรับอาคารพาณิชย์สูง 9 เมตรขึ้นไปหรือเข้าข่ายจัดสรรต้องถูกออกแบบเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในพื้นที่เสี่ยงภัยบริเวณที่ 3 ร่วมกับ มยพ.1301/1302-61 และกฎกระทรวงปี 2566 บังคับเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจรประเภทบ้านพักอาศัย ทำให้น้ำหนักบรรทุกในแนวตั้งของบ้านพักอาศัยมีค่าสูงขึ้น การบังคับใช้กฎกระทรวงปี 2564 และ กฎกระทรวงปี 2566 ได้มีการกำหนดชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกใหม่สำหรับการออกแบบโดยวิธีตัวคาน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักบรรทุก ซึ่งเมื่อเทียบกับกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 ซึ่งได้ถูกยกเลิกไปมีค่าตัวคาน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เพิ่มค่าแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวเข้าไปในชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุก อีกทั้งชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกใหม่ดังกล่าวยังมีความแตกต่างกับ ASCE7-16 อีกพอสมควรในเรื่องการชุดตัวคาน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของค่าแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวร่วมด้วย

จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลของการออกแบบโครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารพาณิชย์ชนิดเสาคานตามกฎกระทรวงปี 2566 และ ASCE7-16

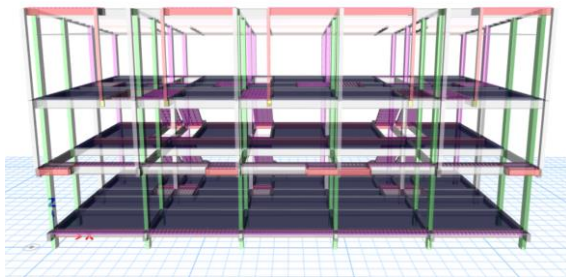
2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

2.1 วัตถุประสงค์การศึกษา

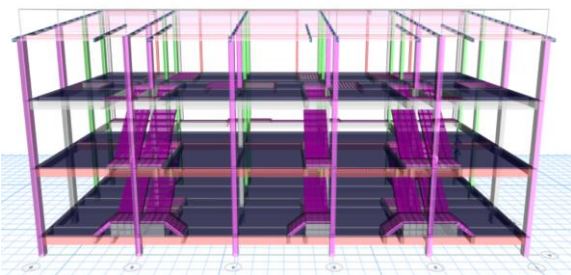
บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแรงภายในที่เกิดขึ้นของโครงสร้างเสาและคานาคอนกรีตเสริมเหล็กอาคารพาณิชย์ชนิดเสาคานที่ถูกแรงกระทำโดยใช้ชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี 2566 และ ASCE07-16 และศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของเสาและคานจากการใช้กฎกระทรวงปี พ.ศ.2566 และ ASCE07-16

2.2 ขอบเขตการศึกษา

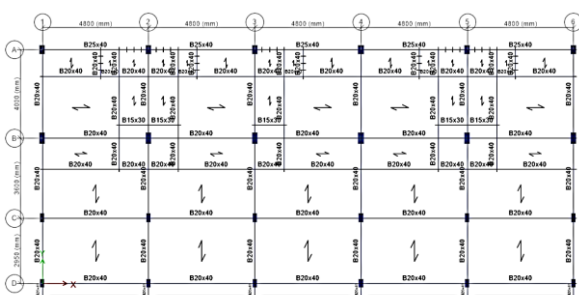
การศึกษานี้ใช้โครงสร้างอาคารพาณิชย์จัดสรรสูง 3 ชั้น 5 คูหา ขนาดกว้างโดยประมาณ 24.00 เมตร คูหาละ 4.80 เมตร ยาว 11.65 เมตร สูง 11.00 เมตร พื้นที่ก่อสร้างรวมประมาณ 840 ตร.ม.ดังในรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 5 ตามลำดับ อาคารดังกล่าวตั้งอยู่บนพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ กำหนดให้วัสดุคอนกรีตใช้กำลังอัดประลัยที่ 28 วัน ของรูปทรงกระบอก มีค่าเท่ากับ 240 ksc และ วัสดุเหล็กใช้เหล็กเสริมรับแรงกด SD40 สำหรับเหล็กเสริมหลัก และเกรด SR24 สำหรับเหล็กปลอก ในเกณฑ์การออกแบบ ชิ้นส่วนเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็กต้านทานแรงแผ่นดินไหวกำหนดให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ACI318 [1], มยผ.1301/1302-61 [4]



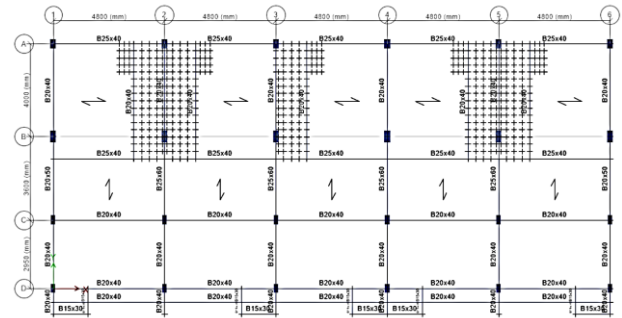
รูปที่ 1 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติอาคารพาณิชย์สูง 3 ชั้นด้านหน้า



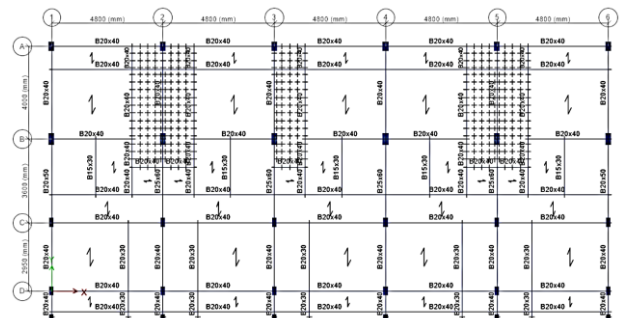
รูปที่ 2 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติอาคารพาณิชย์สูง 3 ชั้นด้านหลัง



รูปที่ 3 แบบแปลนโครงสร้าง ชั้นที่ 1 อาคารพาณิชย์สูง 3 ชั้น



รูปที่ 4 แบบแปลนโครงสร้าง ชั้นที่ 2 อาคารพาณิชย์สูง 3 ชั้น



รูปที่ 5 แบบแปลนโครงสร้าง ชั้นที่ 3 อาคารพาณิชย์สูง 3 ชั้น

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 กำหนดน้ำหนักบรรทุกจรและแรงแผ่นดินไหวโครงสร้าง

ทำการศึกษาแบบและรายละเอียดของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ หลังจากนั้นทำการกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรประเภทการใช้อาคารประเภทตึกแถว จากกฎกระทรวงปี 2566 [3] โดยน้ำหนักบรรทุกจรส่วนที่ใช้เพื่อการพาณิชย์ 300 ksm ส่วนบันไดและช่องทางเดิน 300 ksm และห้องน้ำและที่พักอาศัย 200 ksm กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกคงที่อื่นเนื่องจากวัสดุปูพื้น 100 ksm น้ำหนักบรรทุกคงที่เนื่องจากผนังก่ออิฐมวลเบาก่อครึ่งแผ่น 100 ksm และผนังก่ออิฐมวลเบาก่อเต็มแผ่น 200 ksm วัสดุคอนกรีตใช้กำลังอัดประลัยที่ 28 วัน ของรูปทรงกระบอก มีค่าเท่ากับ 240 ksc และ วัสดุเหล็กใช้เหล็กเสริมรับแรงกด SD40 สำหรับเหล็กเสริมหลัก และเกรด SR24 สำหรับเหล็กปลอก สถานที่ตั้งอาคาร อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

กำหนดพารามิเตอร์ของแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารพาณิชย์ 3 ชั้นจากประกาศกระทรวงมหาดไทยปี 2564 [5] ดังนี้ ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม $S_s = 0.963$ (พิจารณาที่ 0.2 วินาที) และ $S_l = 0.248$ (พิจารณาที่ 1 วินาที) ค่า $SDS = 0.716$ และ $SD1 = 0.315$ ตารางการแบ่งประเภทการออกแบบต้านทานแผ่นดินไหว ให้เป็นประเภท (เข้มงวดที่สุด) ประเภทของชั้นดินเป็นดินปกติ (D) และค่าตัวประกอบความสำคัญของอาคารเท่ากับ 1.00 (อาคารจัดอยู่ในประเภทที่ 2 ความสำคัญปกติ)

3.2 กำหนดชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกและวิเคราะห์โครงสร้าง

กำหนดชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบมีทั้งหมด 3 รูปแบบ โดยชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกรูปแบบที่ 1 เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 ชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกรูปแบบที่ 2 เป็นไปตามกฎกระทรวงปี 2566 และชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกรูปแบบที่ 3 เป็นไปตาม ASCE07-16 ดังตารางที่ 1 จากนั้นวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติด้วยโปรแกรม

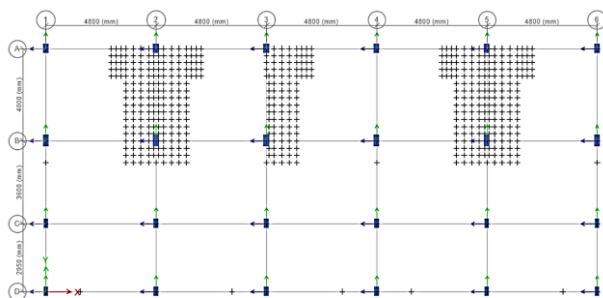
Etabs V19 แล้วจึงรวมแรงต่างๆที่กระทำต่อเสาและคานอาคารพาณิชย์ตามวิธีหาคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกโดยใช้ค่าแรงสูงสุดที่คำนวณจากแต่ละชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกและตัวคานความต้านทานหรือตัวคานลดกำลังทั้ง 3 รูปแบบมาเปรียบเทียบกันแล้วสรุปผลตามลำดับ

ตารางที่ 1 ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกในการวิเคราะห์

ชื่อรูปแบบ	ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุก
1. กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527	1.7DL + 2.0LL
2. กฎกระทรวง พ.ศ. 2566	1.4DL + 1.7LL 0.75(1.4DL + 1.7LL) ± 1.0EX ± 0.3EY 0.75(1.4DL + 1.7LL) ± 0.3EX ± 1.0EY 0.75(1.4DL + 1.7LL) ± 1.0EX 0.75(1.4DL + 1.7LL) ± 1.0EY 0.9DL ± 1.0EX ± 0.3EY 0.9DL ± 0.3EX ± 1.0EY 0.9DL ± 1.0EX 0.9DL ± 1.0EY
3. ASCE07-16	1.4DL 1.2DL + 1.6LL 1.2DL + 1.0LL ± 1.0EX ± 0.3EY 1.2DL + 1.0LL ± 0.3EX ± 1.0EY 1.2DL + 1.0LL ± 1.0EX 1.2DL + 1.0LL ± 1.0EY 0.9DL ± 1.0EX ± 0.3EY 0.9DL ± 0.3EX ± 1.0EY 0.9DL ± 1.0EX 0.9DL ± 1.0EY

3.3 ค่าการตอบสนองภายในของเสาและคานจากผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ

ทำการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติพบว่าค่าการตอบสนองภายในของเสาที่เกิดขึ้นตามชนิดของแรง สำหรับค่าการตอบสนองชนิดค่าแรงตามแนวแกนกรณี DL จะสูงสุดรองลงมาคือกรณี LL และกรณี EY สลับกันโดยส่วนค่าแรงแผ่นดินไหว EY จะมีค่าสูงกว่ากรณี EX เสมอเนื่องจากแนวแกน Y มีจำนวนช่วงเสาน้อยกว่าและสั้นกว่าแนวแกน X สำหรับค่าการตอบสนองชนิดค่าโมเมนต์ดัดและค่าแรงเฉือนในเสาทั้งแกน 2-2 และ 3-3 ดังรูปที่ 6 พบว่ากรณี DL, EX และ EY มีค่าใกล้เคียงกันมากน้อยสลับกันไปตามตำแหน่งเสา แต่กรณี LL มีแนวโน้มที่จะมีค่าต่ำสุดเกือบทุกกรณี สำหรับค่าการตอบสนองภายในของเสา ณ ตำแหน่งที่พิจารณามีค่าดังตารางที่ 2



รูปที่ 6 แกน 2-2 (สีเขียว) และแกน 3-3 (สีน้ำเงิน) ของเสา

ตารางที่ 2 ค่าการตอบสนองภายในของเสาตามกรณีของแรง (Load Case)

ชนิดของการตอบสนองภายในเสา	ชนิดแรงที่กระทำ	ค่าการตอบสนองของเสาตาม Grid Line							
		A-2	A-3	B-2	B-3	C-2	C-3	D-2	D-3
ค่าแรงตามแนวแกน (Tons)	DL	23.38	18.99	42.43	33.81	26.61	23.03	31.85	29.45
	LL	6.80	5.81	15.25	12.61	8.99	7.87	4.13	4.17
	EX	2.26	4.83	4.17	5.10	2.32	0.15	0.75	0.09
	EY	9.74	7.85	20.90	11.80	9.33	6.63	1.70	1.81
ค่าโมเมนต์ดัดแกน 2-2 (Tons.m)	DL	0.08	0.89	0.11	0.34	0.13	0.07	0.19	0.13
	LL	0.04	0.28	0.05	0.17	0.07	0.03	0.07	0.04
	EX	0.78	2.37	1.01	0.97	1.35	1.29	2.33	2.30
	EY	0.14	1.73	0.14	0.18	0.12	0.09	0.08	0.07
ค่าโมเมนต์ดัดแกน 3-3 (Tons.m)	DL	2.7	2.66	1.70	1.21	0.42	0.28	1.12	1.19
	LL	1.19	1.26	0.75	0.49	0.23	0.16	0.21	0.22
	EX	0.58	0.67	0.31	1.09	0.56	0.16	0.14	0.21
	EY	1.75	1.22	3.10	2.70	1.72	1.39	0.61	0.63
ค่าแรงเฉือนแกน 2-2 (Tons)	DL	1.31	3.88	1.00	0.78	0.28	0.19	0.60	0.63
	LL	0.58	1.90	0.48	0.32	0.15	0.11	0.10	0.11
	EX	0.31	0.93	0.17	0.75	0.34	0.07	0.08	0.13
	EY	0.52	2.84	1.87	1.37	0.84	0.65	0.22	0.23
ค่าแรงเฉือนแกน 3-3 (Tons)	DL	0.05	2.63	0.01	0.17	0.07	0.04	0.11	0.08
	LL	0.02	0.79	0.01	0.08	0.04	0.02	0.04	0.03
	EX	0.42	2.88	0.18	0.17	0.80	0.73	1.37	1.32
	EY	0.08	4.18	0.06	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่าการตอบสนองภายในของคานดังตารางที่ 3 พบว่า คานในแนวแกน Y เช่น คานที่ Grid Line 2A-B หรือ Grid Line 3A-B ค่าจากกรณี EX จะน้อยที่สุดในทุกการตอบสนองทั้งโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเนื่องจากแรงอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับคาน ค่าโมเมนต์ดัดของคานทั้งโมเมนต์ลบและโมเมนต์บวกค่าจากกรณี DL และ EY จะมีค่าสูงสุดสลับกันไปโดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของคานและน้ำหนักที่กระทำต่อคาน ค่าจากกรณี LL มีค่าน้อยกว่ากรณี DL หรือ EY เช่น คานที่ Grid Line 3C-D มีค่าจากกรณี EY สูงสุดค่าจากกรณี DL เป็นอันดับสอง ค่าจากกรณี LL มีค่าต่ำเป็นอันดับสาม ส่วนค่าแรงเฉือนของคานค่าจากกรณี DL มีค่าสูงสุดเป็นส่วนมาก ค่าจากกรณี EY เป็นอันดับสอง ค่าจากกรณี LL มีค่าต่ำเป็นอันดับสามยกเว้นคานบางตัวที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกกรณี LL จะสูงกว่ากรณี EY

คานในแนวแกน X เช่นคานที่ Grid Line A2-3 หรือ Grid Line B2-3 ค่าจากกรณี EY มีผลน้อยที่สุดในทุกการตอบสนองทั้งโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเนื่องจากแรงอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับคาน ค่าโมเมนต์ลบของคานพบว่าค่าจากกรณี DL มีค่าสูงสุด กรณี EX มีค่าอันดับสองแต่ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับกรณี DL ค่าจากกรณี LL มีค่าต่ำเป็นอันดับสาม ค่าโมเมนต์บวกของคานพบว่าค่าจากกรณี EX มีค่าสูงสุด กรณี DL มีค่าอันดับสองและกรณี LL มีค่าอันดับสาม ส่วนค่าแรงเฉือนของคานมีค่าจากกรณี DL มีค่าสูงสุดเป็นส่วนมาก ค่าจากกรณี EX เป็นอันดับสอง ค่าจากกรณี LL มีค่าต่ำเป็นอันดับสามยกเว้นคานบางตัวที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกกรณี LL จะสูงกว่ากรณี EX

ตารางที่ 3 ค่าการตอบสนองภายในของคานตามชนิดของแรง (Load Case)

Grid Line	ช่วง	ชนิดแรงที่กระทำ	ค่าการตอบสนองของแรงภายในคานสูงสุด		
			โมเมนต์ลบ (kg.m)	โมเมนต์บวก (kg.m)	แรงเฉือน (kg)
2	A-B	DL	2910.11	3174.21	6300.74
		LL	1091.87	1361.04	2422.39
		EX	219.56	766.75	986.52
		EY	2609.02	1123.06	2642.79
	B-C	DL	2064.23	2214.68	4003.74
		LL	849.21	1000.42	1690.12
		EX	375.34	354.60	281.00
		EY	1594.46	1687.14	1367.07
	C-D	DL	346.46	162.64	745.15
		LL	87.90	18.29	41.64
		EX	428.74	417.56	331.88
		EY	1902.27	1962.79	1515.71
3	A-B	DL	2318.84	2289.99	4880.93
		LL	994.11	997.48	1932.10
		EX	1391.17	1630.13	3021.31
		EY	2555.16	1243.81	2480.88
	B-C	DL	1856.88	1943.3	3866.54
		LL	820.19	928.87	1813.76
		EX	171.80	113.85	127.34
		EY	1670.01	1683.21	1197.27
	C-D	DL	333.60	168.61	739.77
		LL	84.94	16.86	39.92
		EX	211.78	185.96	155.98
		EY	1908.99	1986.40	1527.60
A	2-3	DL	1849.23	994.85	4613.50
		LL	558.72	331.51	1305.01
		EX	6609.21	6130.65	6848.07
		EY	2993.47	1892.04	9799.79
B	2-3	DL	2086.09	1079.88	3305.64
		LL	889.27	500.98	1439.90
		EX	2132.78	2141.63	2175.89
		EY	28.97	42.51	25.35
C	2-3	DL	1847.56	1007.23	2470.58
		LL	1314.47	727.98	1776.91
		EX	1693.34	1670.79	731.33
		EY	25.77	24.49	10.93
D	2-3	DL	2038.27	1120.82	2535.31
		LL	994.85	555.88	1231.62
		EX	2001.35	1971.58	1085.91
		EY	4.82	7.70	4.19

3.4 ปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของเสา

นำค่าการตอบสนองภายในเสาที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของอาคารพาณิชย์ตามวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกโดยใช้ค่าแรงสูงสุดจากชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกและตัวค้อนความต้านทานดังตารางที่ 1 จะได้ปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสาโดยตารางที่ 4 คือปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสาจากชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 พบว่าเหล็กเสริมหลักของเสาเกือบทุกต้นต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักที่น้อยที่สุด เช่น เสาที่ Grid Line A-2 และ A-3 มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.25 ม. x 0.40 ม. ต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 10.00 sq.cm ส่วนเสาที่

Grid Line B-2 และ B-3 มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.25 ม. x 0.50 ม. ต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 12.50 sq.cm ยกเว้นเสาที่ตำแหน่ง Grid Line D-2 ซึ่งมีค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการมากกว่าปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 11.19 sq.cm เนื่องจากแรงตามแนวนอนที่มีค่าสูงสุดเมื่อพิจารณาที่หน้าตัดเดียวกันที่ Grid Line C-2, C-3, D-3 ที่มีขนาดหน้าตัดคือ 0.20 ม. x 0.40 ม. โดยต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 8.00 sq.cm ในส่วนเหล็กเสริมรองพบว่าเสาเกือบทุกต้นต้องการปริมาณเหล็กเสริมรองที่น้อยที่สุด ยกเว้นเสาที่ Grid Line A-3 ต้องการมากกว่าเหล็กเสริมรองน้อยที่สุดโดยต้องการเท่ากับ 5.73 sq.cm/m สำหรับปลอกในแกน major และ 5.85 sq.cm/m สำหรับปลอกในแกน minor

ตารางที่ 4 ปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสาตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527

Grid Line	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ		
		เหล็กเสริมหลัก (sq.cm)	เหล็กเสริมรอง (sq.cm/m)	
			Major (3-3)	Minor (2-2)
A-2	1.7DL+2.0LL	10.00	0.00	0.00
A-3	1.7DL+2.0LL	10.00	5.73	5.85
B-2	1.7DL+2.0LL	12.50	0.00	0.00
B-3	1.7DL+2.0LL	12.50	0.00	0.00
C-2	1.7DL+2.0LL	8.00	0.00	0.00
C-3	1.7DL+2.0LL	8.00	0.00	0.00
D-2	1.7DL+2.0LL	11.19	0.00	0.00
D-3	1.7DL+2.0LL	8.00	0.00	0.00

สำหรับชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ.2566 ดังตารางที่ 5 พบว่าปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสาจากชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 พบว่าเหล็กเสริมหลักของเสาส่วนใหญ่ยังต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักที่น้อยที่สุด เช่น เสาที่ Grid Line A-2 มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.25 ม. x 0.40 ม. ต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 10.00 sq.cm ส่วนเสาที่ Grid Line B-2 และ B-3 มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.25 ม. x 0.50 ม. ต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 12.50 sq.cm ยกเว้นเสาที่ตำแหน่ง Grid Line A-3 ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการมีค่า 13.77 sq.cm ซึ่งมากกว่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่น้อยที่สุด และในทำนองเดียวกัน Grid Line D-2 และ D-3 ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 17.91 sq.cm และ 13.30 sq.cm ตามลำดับมีค่ามากกว่าปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุด ส่วนตำแหน่งอื่นที่หน้าตัดเดียวกันที่ Grid Line C-2 และ C-3 ที่มีขนาดหน้าตัดคือ 0.20 ม. x 0.40 ม. โดยต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 8.00 sq.cm ในส่วนเหล็กเสริมรองพบว่าเสาเกือบทุกต้นต้องการปริมาณเหล็กเสริมรองที่น้อยที่สุด ยกเว้นเสาที่ Grid Line A-3 ต้องการมากกว่าเหล็กเสริมรองน้อยที่สุดโดยต้องการเท่ากับ 3.66 sq.cm/m สำหรับปลอกในแกน major และ 7.80 sq.cm/m สำหรับปลอกในแกน minor ทั้งนี้พบว่าในทุกกรณีที่มีเหล็กเสริมหลักเพิ่มขึ้นจากเหล็กเสริมหลักที่น้อยที่สุดจะมาจากกรณีที่เป็นชุดตัวค้อนน้ำหนักบรรทุกผสมระหว่าง กรณี DL, LL, EX และ EY นั่นคือแรงแผ่นดินไหวมีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสา และส่งผลมากกว่าการใช้กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527

ตารางที่ 5 ปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสาตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566

Grid Line	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ		
		เหล็กเสริมหลัก (sq.cm)	เหล็กเสริมรอง (sq.cm/m)	
			Major (3-3)	Minor(2-2)
A-2	1.4DL+1.7LL	10.00	0.00	0.00
A-3	0.75(1.4DL+1.7LL)-1.0EX+0.3EY	13.77	3.66	7.80
B-2	1.4DL+1.7LL	12.50	0.00	0.00
B-3	0.75(1.4DL+1.7LL)-0.3EX-1.0EY	12.50	0.00	0.00
C-2	1.4DL+1.7LL	8.00	0.00	0.00
C-3	1.4DL+1.7LL	8.00	0.00	0.00
D-2	0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX-0.3EY	17.91	0.00	0.00
D-3	0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX-0.3EY	13.30	0.00	0.00

สำหรับชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตาม ASCE07-16 ดังตารางที่ 6 พบว่าปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสาจากชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตาม ASCE07-16 พบว่าทั้งเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของเสามีค่าสูงชันเป็นรูปแบบเดียวกันกับการใช้ชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 กล่าวคือเหล็กเสริมหลักของเสาส่วนใหญ่ยังต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักที่น้อยที่สุด เช่น เสาที่ Grid Line A-2 มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.25 ม. x 0.40 ม. ต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 10.00 sq.cm ส่วนเสาที่ Grid Line B-2 และ B-3 มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 0.25 ม. x 0.50 ม. ต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 12.50 sq.cm ยกเว้นเสาที่ตำแหน่ง Grid Line A-3 ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการมีค่า 14.38 sq.cm ซึ่งมากกว่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่น้อยที่สุดและในทำนองเดียวกัน Grid Line D-2 และ D-3 ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 21.58 sq.cm และ 15.98 sq.cm ตามลำดับมีค่ามากกว่าปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุด ส่วนตำแหน่งอื่นที่หน้าตัดเดียวกันที่ Grid Line C-2 และ C-3 ที่มีขนาดหน้าตัดคือ 0.20 ม. x 0.40 ม. โดยต้องการปริมาณเหล็กเสริมหลักน้อยที่สุดเท่ากับ 8.00 sq.cm ในส่วนเหล็กเสริมรองพบว่าเสาเกือบทุกต้นต้องการปริมาณเหล็กเสริมรองที่น้อยที่สุด ยกเว้นเสาที่ Grid Line A-3 ต้องการมากกว่าเหล็กเสริมรองน้อยที่สุดโดยต้องการเท่ากับ 3.66 sq.cm/m สำหรับปลอกในแกน major และ 8.20 sq.cm/m สำหรับปลอกในแกน minor ทั้งนี้พบว่าในทุกกรณีที่มีเหล็กเสริมหลักเพิ่มขึ้นจากเหล็กเสริมหลักที่น้อยที่สุดจะมาจากกรณีที่เป็นชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกผสมระหว่าง กรณี DL, LL, EX และ EY นั่นคือแรงแผ่นดินไหวมีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสา และส่งผลมากกว่าการใช้กฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566

ตารางที่ 6 ปริมาณเหล็กเสริมหลักและรองของเสาตาม ASCE07-16

Grid Line	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ		
		เหล็กเสริมหลัก (sq.cm)	เหล็กเสริมรอง (sq.cm/m)	
			Major (3-3)	Minor(2-2)
A-2	1.2DL+1.6LL	10.00	0.00	0.00
A-3	1.2DL+1.0LL-1.0EX+0.3EY	14.38	3.66	8.20
B-2	1.2DL+1.0LL+0.3EX-1.0EY	12.50	0.00	0.00
B-3	1.2DL+1.0LL-0.3EX-1.0EY	12.50	0.00	0.00
C-2	1.2DL+1.0LL+0.3EX-1.0EY	8.00	0.00	0.00
C-3	1.2DL+1.6LL	8.00	0.00	0.00
D-2	1.2DL+1.0LL+1.0EX-0.3EY	21.58	0.00	0.00
D-3	1.2DL+1.0LL+1.0EX-0.3EY	15.98	0.00	0.00

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองจาก 3 ชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกพบว่าสำหรับปริมาณเหล็กเสริมหลักการใช้ชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกจาก ASCE07-16 จะให้ค่าเหล็กเสริมหลักมีค่าสูงสุดโดยมาจากกรณีที่เป็นชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกผสมระหว่าง กรณี DL, LL, EX และ EY ส่วนกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 ให้ค่ารองลงมาโดยเป็นชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกผสมเช่นเดียวกับ ASCE07-16 และกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 ให้ค่าต่ำสุด ส่วนสำหรับเหล็กเสริมรองพบว่ายังมีแนวโน้มเช่นเดียวกับเหล็กเสริมหลักนั่นคือ ASCE07-16 มีค่าสูงสุด กฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 มีค่ารองลงมา และ กฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 มีค่าต่ำสุดยกเว้นบางกรณีที่เสามีแรงเฉือนสูงอันเนื่องจากการณี DL และ LL จะส่งผลให้เหล็กเสริมรองในเสาตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 มีค่าสูงสุด เช่น เสาตำแหน่งที่ Grid Line A-3 จะมีเหล็กเสริมรองในแกน Major สูงสุด

3.5 ปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของคาน

นำค่าการตอบสนองภายในคานที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของอาคารพาณิชย์ตามวิธีคำนวณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกโดยใช้ค่าแรงสูงสุดจากชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกและตัวค้ำความต้านทานดังตารางที่ 1 จะได้ปริมาณเหล็กเสริมหลักดังตารางที่ 7, 8 และ 9 ซึ่งแสดงปริมาณเหล็กเสริมหลักของคานจากชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 ตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 และ ASCE07-16 ตามลำดับ พบว่าโมเมนต์ลบบริเวณหัวเสาทั้งสองปลายเมื่อใช้ชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 และ ASCE07-16 จะมีค่าเหล็กเสริมหลักใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มสูงกว่าค่าเหล็กเสริมหลักที่ได้จากชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527

สำหรับโมเมนต์บวกช่วงกลางคานพบว่าค่าเหล็กเสริมหลักเมื่อใช้ชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 ส่วนใหญ่ให้ค่าสูงที่สุด ยกเว้นกรณีที่คานรับน้ำหนักบรรทุกจรต่ำค่าเหล็กเสริมหลักที่ได้จากชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 จะมีค่าน้อยกว่าชุดตัวค้ำน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 และ ASCE07-16

ตารางที่ 7 ปริมาณเหล็กเสริมหลักของคานตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527

Grid Line	ช่วง	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการ (sq.cm)		
			ปลายที่ 1	ช่วงกลาง	ปลายที่ 2
2	A-B	1.7DL+2.0LL	4.76	8.06	5.93
	B-C		3.27	5.59	4.65
	C-D		0.58	0.23	0.61
3	A-B	1.7DL+2.0LL	4.76	5.87	4.64
	B-C		3.01	5.02	4.11
	C-D		0.58	0.24	0.58
A	2-3	1.7DL+2.0LL	2.99	2.99	3.40
B	2-3	1.7DL+2.0LL	4.68	3.51	2.73
C	2-3	1.7DL+2.0LL	4.96	4.12	5.06
D	2-3	1.7DL+2.0LL	4.63	3.63	4.77

ตารางที่ 8 ปริมาณเหล็กเสริมหลักของคานตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566

Grid Line	ช่วง	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการ (sq.cm)		
			ปลายที่ 1	ช่วงกลาง	ปลายที่ 2
2	A-B	$0.75(1.4DL+1.7LL)-0.3EX+1.0EY$	3.89	6.53	6.74
	B-C	$1.4DL+1.7LL$	3.39	4.59	4.34
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.39	2.24	2.39
3	A-B	$0.75(1.4DL+1.7LL)+0.3EX+1.0EY$	4.14	4.80	5.77
	B-C	$1.4DL+1.7LL$	3.25	4.13	4.10
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.39	2.16	2.39
A	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX+0.3EY$	5.07	8.31	8.84
B	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)-1.0EX-0.3EY$	4.58	2.91	3.52
C	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX-0.3EY$	4.59	3.43	4.64
D	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX-0.3EY$	4.69	3.01	4.76

ตารางที่ 9 ปริมาณเหล็กเสริมหลักของคานตาม ASCE07-16

Grid Line	ช่วง	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักที่ต้องการ (sq.cm)		
			ปลายที่ 1	ช่วงกลาง	ปลายที่ 2
2	A-B	$1.2DL+1.0LL-0.3EX+1.0EY$	3.40	5.74	6.88
	B-C	$1.2DL+1.0LL-0.3EX+1.0EY$	3.45	4.06	4.41
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.39	2.24	2.39
3	A-B	$1.2DL+1.0LL+0.3EX+1.0EY$	4.19	4.59	5.85
	B-C	$1.2DL+1.0LL+0.3EX+1.0EY$	3.30	3.67	4.15
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.39	2.16	2.39
A	2-3	$1.2DL+1.0LL+1.0EX+0.3EY$	4.53	8.36	8.97
B	2-3	$1.2DL+1.0LL-1.0EX-0.3EY$	4.64	2.61	3.58
C	2-3	$1.2DL+1.0LL+1.0EX-0.3EY$	4.50	3.11	4.56
D	2-3	$1.2DL+1.0LL+1.0EX-0.3EY$	4.71	2.71	4.79

สำหรับปริมาณเหล็กเสริมรองดังตารางที่ 10, 11 และ 12 ซึ่งแสดงปริมาณเหล็กเสริมหลักของคานจากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 ตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 และ ASCE07-16 ตามลำดับ พบว่าเหล็กเสริมรองของคานที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มสูงกว่าชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ยกเว้นบางกรณีที่คานรับน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าค่าเหล็กเสริมรองที่ได้จากกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ทั้งนี้ยังพบว่าปริมาณเหล็กเสริมรองที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จาก ASCE07-16 เล็กน้อย

ตารางที่ 10 ปริมาณเหล็กเสริมรองของคานตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527

Grid Line	ช่วง	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมรองที่ต้องการ (sq.cm/m)	
			ปลายที่ 1	ปลายที่ 2
2	A-B	$1.7DL+2.0LL$	9.74	18.57
	B-C		2.93	9.80
	C-D		0.00	0.00
3	A-B	$1.7DL+2.0LL$	8.48	13.03
	B-C		2.93	9.82
	C-D		0.00	0.00
A	2-3	$1.7DL+2.0LL$	8.52	3.66
B	2-3	$1.7DL+2.0LL$	7.01	2.93
C	2-3	$1.7DL+2.0LL$	5.75	5.82
D	2-3	$1.7DL+2.0LL$	4.09	4.22

ตารางที่ 11 ปริมาณเหล็กเสริมรองของคานตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566

Grid Line	ช่วง	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมรองที่ต้องการ (sq.cm/m)	
			ปลายที่ 1	ปลายที่ 2
2	A-B	$0.75(1.4DL+1.7LL)-0.3EX+1.0EY$	6.95	16.17
	B-C	$1.4DL+1.7LL$	3.00	8.29
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.93	2.93
3	A-B	$0.75(1.4DL+1.7LL)+0.3EX+1.0EY$	7.23	12.06
	B-C	$1.4DL+1.7LL$	2.93	7.53
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.93	2.93
A	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX+0.3EY$	20.26	5.46
B	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)-1.0EX-0.3EY$	5.74	2.93
C	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX-0.3EY$	3.68	3.74
D	2-3	$0.75(1.4DL+1.7LL)+1.0EX-0.3EY$	3.39	3.49

ตารางที่ 12 ปริมาณเหล็กเสริมรองของคานตาม ASCE07-16

Grid Line	ช่วง	สมการควบคุมที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าปริมาณเหล็กเสริมรองที่ต้องการ (sq.cm/m)	
			ปลายที่ 1	ปลายที่ 2
2	A-B	$1.2DL+1.0LL-0.3EX+1.0EY$	6.56	16.75
	B-C	$1.2DL+1.0LL-0.3EX+1.0EY$	3.24	8.51
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.93	2.93
3	A-B	$1.2DL+1.0LL+0.3EX+1.0EY$	7.39	12.46
	B-C	$1.2DL+1.0LL+0.3EX+1.0EY$	2.93	7.66
	C-D	$0.9DL-1.0EY$	2.93	2.93
A	2-3	$1.2DL+1.0LL+1.0EX+0.3EY$	20.81	5.72
B	2-3	$1.2DL+1.0LL-1.0EX-0.3EY$	5.95	2.93
C	2-3	$1.2DL+1.0LL+1.0EX-0.3EY$	3.25	3.30
D	2-3	$1.2DL+1.0LL+1.0EX-0.3EY$	3.47	3.58

4. บทสรุป

การศึกษาเปรียบเทียบผลการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหวของอาคารพาณิชย์ 3 ชั้นชนิดเสาคานตามกฎกระทรวงปี 2566 และ ASCE 7-16 สามารถแยกผลสรุปตามวัตถุประสงค์ดังนี้

พฤติกรรมของโครงสร้างอาคารพาณิชย์ 3 ชั้นจะมีการตอบสนองภายในที่เกิดขึ้นตามชนิดของแรงแตกต่างกันไป โดยจากการตอบสนองของเสาพบว่าค่าแรงตามแนวแกนกรณี DL มีค่าสูงสุดรองลงมาคือกรณี LL หรือ EY สลับกันบางกรณี กรณี EX มีค่าต่ำสุดเสมอ ทั้งนี้ค่าแรงตามแนวแกนเนื่องจากแผ่นดินไหว EY จะมีค่าสูงกว่ากรณี EX เสมอเนื่องจากแนวแกน Y มีจำนวนช่วงเสาน้อยกว่าและสั้นกว่าแนวแกน X สำหรับค่าการตอบสนองชนิดค่าโมเมนต์ดัดและค่าแรงเฉือนในเสาทั้งแกน 2-2 และ 3-3 พบว่ากรณี DL, EX และ EY มีค่าใกล้เคียงกันมากน้อยสลับกันไปตามตำแหน่งเสา แต่กรณี LL มีแนวโน้มที่จะมีค่าต่ำสุดเกือบทุกกรณี

สำหรับค่าการตอบสนองของคานพบว่าค่าโมเมนต์ดัดคานในแนวแกน Y ค่าจากกรณี EX จะน้อยที่สุดในทุกการตอบสนองทั้งโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเนื่องจากแรงอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับคาน ค่าโมเมนต์ดัดของคานทั้งโมเมนต์ลบและโมเมนต์บวกค่าจากกรณี DL และ EY จะมีค่าสูงสุดสลับกันไปโดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของคานและน้ำหนักที่กระทำต่อคาน และค่าจากกรณี LL มักมีค่าน้อยกว่ากรณี DL หรือ EY ส่วนค่าแรงเฉือนของคานค่าจากกรณี DL มีค่าสูงสุดเป็นส่วนมาก ค่าจากกรณี EY เป็นอันดับสอง ค่าจากกรณี LL มีค่าต่ำเป็นอันดับสามยกเว้นคานบางตัวที่มีรับน้ำหนักบรรทุกสูงกรณี LL จะสูงกว่า EY

คานในแนวแกน X ค่าจากกรณี EY มีผลน้อยที่สุดในทุกการตอบสนองทั้งโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเนื่องจากแรงอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับคาน ค่าโมเมนต์ลบของคานพบว่าค่าจากกรณี DL มีค่าสูงสุด กรณี EX มีค่าอันดับสองแต่ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับกรณี DL ค่าจากกรณี LL มีค่าต่ำเป็นอันดับสาม ค่าโมเมนต์บวกของคานพบว่าค่าจากกรณี EX มีค่าสูงสุด กรณี DL มีค่าอันดับสองและกรณี LL มีค่าอันดับสาม ส่วนค่าแรงเฉือนของคานมีค่าจากกรณี DL มีค่าสูงสุดเป็นส่วนมาก ค่าจากกรณี EX เป็นอันดับสอง ค่าจากกรณี LL มีค่าต่ำเป็นอันดับสามยกเว้นคานบางตัวที่มีรับน้ำหนักบรรทุกสูงกรณี LL จะสูงกว่ากรณี EX

สำหรับปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของเสาจาก 3 ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกโดยปัจจัยอื่นคงที่ พบว่าสำหรับปริมาณเหล็กเสริมหลักของเสาการใช้ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกจาก ASCE07-16 จะให้ค่าเหล็กเสริมหลักมีค่าสูงสุดโดยมาจากกรณีที่เป็นชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกผสมระหว่างกรณี DL, LL, EX และ EY ส่วนกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 ให้ค่ารองลงมาโดยเป็นชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกผสมเช่นเดียวกับ ASCE07-16 และกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 ให้ค่าต่ำสุด ส่วนสำหรับเหล็กเสริมรองของเสาพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับเหล็กเสริมหลักนั่นคือ ASCE07-16 มีค่าสูงสุด กฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 มีค่ารองลงมา และ กฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 มีค่าต่ำสุดยกเว้นบางกรณีที่เสามีแรงเฉือนสูงอันเนื่องจากกรณี DL และ LL จะส่งผลให้เหล็กเสริมรองในเสาตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 มีค่าสูงสุด

สำหรับปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองของคานพบว่าโมเมนต์ลบบริเวณหัวเสาทั้งสองปลายเมื่อใช้ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 และ ASCE07-16 จะมีค่าเหล็กเสริมหลักใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มสูงกว่าค่าเหล็กเสริมหลักที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 สำหรับโมเมนต์บวกช่วงกลางคานพบว่าค่าเหล็กเสริมหลักเมื่อใช้ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 ส่วนใหญ่ให้ค่าสูงที่สุด ยกเว้นกรณีที่

คานรับน้ำหนักบรรทุกจรค่าค่าเหล็กเสริมหลักที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 จะมีค่าน้อยกว่าชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 และ ASCE07-16 สำหรับเหล็กเสริมรองของคานที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มสูงกว่าชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ยกเว้นบางกรณีที่คานรับน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าค่าค่าเหล็กเสริมรองที่ได้จากกฎกระทรวงฉบับที่ 6 ปี พ.ศ. 2527 จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ ทั้งนี้ยังพบว่าปริมาณเหล็กเสริมรองที่ได้จากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกตามกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จาก ASCE07-16 เล็กน้อย

ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ชัดว่าในกรณีที่เป็นการใช้ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกจาก ASCE07-16 จะให้ปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองมากกว่าการใช้ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 เนื่องจากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณขยายค่าของ DL เพียง 1.05 แต่ของ ASCE7-16 มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณขยายค่าของ DL อยู่ที่ 1.2 ซึ่งโครงสร้างชนิดคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีค่าของ DL สูงกว่าค่าจากน้ำหนักบรรทุกกรณีอื่นมาก

ส่วนในกรณีที่เป็นการคานผลดังที่จะลดลงเนื่องจากคานโดยปกติมีหน้าที่รับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนอันเนื่องจาก DL และ LL เป็นหลักและรับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเพียงแกนเดียว ซึ่งแตกต่างจากเสาจะรับแรงในทุกทิศทางทั้งแรงในแนวแกน โมเมนต์ดัดสองทิศทาง และแรงเฉือนสองทิศทาง ดังนั้นเมื่อเกิดแรงแผ่นดินไหวซึ่งส่งผลกระทบต่อแรงในแนวแกนและโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในสองทิศทางจึงทำให้ปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองในเสาสูงขึ้นชัดเจนกว่าคาน ทั้งเสาและคานถ้าเปรียบเทียบระหว่างชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 และ ASCE7-16 ยังคงมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือค่าปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองจากชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกจาก ASCE7-16 จะมีค่ามากกว่าชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกจากกฎกระทรวงปี พ.ศ. 2566 เล็กน้อยเนื่องจากคานรับโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเป็นหลักซึ่งแตกต่างจากเสาที่มีแรงตามแนวแกนรวมอยู่ด้วย

ในส่วนชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกที่ควบคุมปริมาณเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองทั้งเสาและคานจะพบว่าสำหรับเสาบางต้นชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกที่ควบคุมปริมาณเหล็กเสริมจะเป็นกรณี DL และ LL ในบางต้น แต่ส่วนใหญ่ชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกที่ควบคุมปริมาณเหล็กเสริมจะเป็นกรณีผสมทั้ง DL, LL, EX และ EY เป็นหลัก แต่ในคานพบว่าชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกที่ควบคุมปริมาณเหล็กเสริมจะเป็นกรณีผสมทั้ง DL, LL, EX และ EY เกือบทั้งหมดและยังพบว่าบางกรณีอาจเป็นกรณีผสม DL, LL, EX หรือ EY แยกกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างจึงไม่ควรพิจารณาชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกที่เป็นกรณีผสมทั้ง DL, LL, EX และ EY เพียงอย่างเดียว ควรมีชุดตัวคานน้ำหนักบรรทุกที่แยก EX และ EY ด้วยเพื่อความปลอดภัยต่อการออกแบบสูงสุดดังในตารางที่ 1 และจาก EX และ EY มีผลต่อโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนในเสาและคานดังนั้นการลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ของโครงสร้าง เช่น การใช้ผนังเบา การลดความหนาของปูนประดับพื้น และการใช้ฝ้าเบา จะเป็นการลดแรงแผ่นดินไหว EX และ EY และยังลด DL ของตัวอาคารซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณทั้งเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมรองในเสาและคานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จสมบูรณ์ของการวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณครอบครัว เพื่อนและรุ่นน้องทุกท่านที่เป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Concrete Institute, Building Code Requirement of Structural Concrete (ACI318-08). 2008
- [2] American Society of Civil Engineers, Minimum Design Load and Associated Criteria of Buildings and Other Structures (ASCE7-16). 2017
- [3] กฎกระทรวง, กำหนดการออกแบบโครงสร้างอาคารและลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร พ.ศ. 2566 (เล่ม 140 ตอนที่ 54 ก). 6 กันยายน 2566
- [4] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, มาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301/1302-61). 2561
- [5] ประกาศกระทรวงมหาดไทย, การออกแบบและคำนวณโครงสร้างอาคารเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (เล่ม 138 ตอนพิเศษ 275 ง). 9 พฤศจิกายน 2564