

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของอาคารสูง

BEHAVIOR OF LATERAL LOAD RESISTANT IN TALL BUILDING



โดย

นายเกรียงศักดิ์ ตั้งพงศ์ประสิทธิ์

นายคณาพจน์ ทองพันธุ์

นายจารุวิเศษ ปราบณศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 36768

วัน, เดือน, ปี 28 ธ.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิได้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BEHAVIOR OF LATERAL LOAD RESISTANT IN TALL BUILDING

MR. KRIANGSAK TANGPONGPRASIT

MR. KANAPOT TONGPHAN

MR. JARUWIT PRABNASAK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ : พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของอาคารสูง

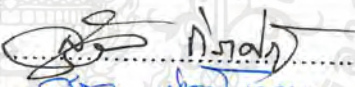
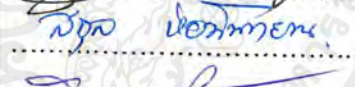
(BEHAVIOR OF LATERAL LOAD RESISTANT IN TALL BUILDING)

นักศึกษา : นายเกรียงศักดิ์ ตั้งพงษ์ประสิทธิ์ ปี 4H 39014038
นายคณาพจน์ ทองพันธุ์ ปี 4H 39014056
นายจารุวิทย์ ปราบณศักดิ์ ปี 4H 39014076

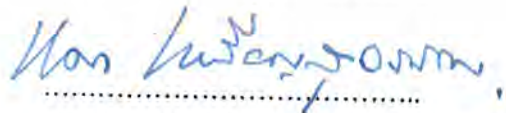
หลักสูตร : วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
2. อ. ฤกษ์ ห่อวโนทยาน	
3. อ. สุพจน์ ศรีนิล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.แดง ธีรเศรษฐ์)

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2543

หัวข้อโครงงานพิเศษ	พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของอาคารสูง BEHAVIOR OF LATERAL LOAD RESISTANT IN TALL BUILDING
นักศึกษา	นายเกรียงศักดิ์ ตั้งพงษ์ประสิทธิ์ นายคณาพจน์ ทองพันธุ์ นายจารุวิศว์ ปรานณศักดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. สุวัฒน์ ภิรเศรษฐ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอ การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับพฤติกรรมและวิธีการออกแบบอาคารสูง โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบ สำหรับระบบโครงสร้างด้านทานแรงด้านข้างที่นิยมใช้กัน 4 ระบบ ได้แก่ ระบบ โครงสร้างแบบปล้อง, โครงสร้างแบบผนังรับแรงเฉือนคู่, โครงสร้างแบบปล้องแกน และ โครงสร้างแบบ Outrigger โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ 1) เปรียบเทียบและแสดงผลที่ได้จากการออกแบบโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2) นำผลที่ได้จากข้อ 1) ไปออกแบบของอาคารเพื่อประมาณปริมาณวัสดุและน้ำหนักอาคารเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียทางกายภาพและการใช้งานของแต่ละอาคารต่อไป จากผลที่ได้รับพบว่า ผลการคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์มีความใกล้เคียงกับผลการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ จึงสามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่า การออกแบบโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์มีความน่าเชื่อถือสามารถใช้ในการพยากรณ์เบื้องต้นสำหรับการออกแบบได้ เมื่อนำผลจากคอมพิวเตอร์ไปทำการออกแบบของอาคารพบว่า ระบบโครงสร้างแบบผนังรับแรงเฉือนคู่และแบบปล้องแกนมีความเหมาะสมสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีความสูงปานกลาง (ประมาณ 30 ชั้น) สำหรับระบบโครงสร้างแบบปล้องและระบบ Outrigger มีความเหมาะสมสำหรับอาคารโครงสร้างเหล็กซึ่งมีความสูงมาก (มากกว่า 60 ชั้น)

Title : BEHAVIOR OF LATERAL LOAD RESISTANT IN TALL BUILDING
Name : MR. KRIANGSAK TANGPONGPRASIT
MR. KANAPOT TONGPHAN
MR. JARUWIT PRABNASAK
Field : CONSTRUCTION ENGINEERING
Department : CIVIL ENGINEERING
Faculty : ENGINEERING
Advisor : SUWAT TERASET

ABSTRACT

High rise buildings are quite complicated in several aspects like the feasibility, the structural and so on so that there a lot of methods of designing to help the engineers in designing the high rise building more correctly. In the world today, it's easier to design the high rise building than ever by using the computer program. But who knows which one is the best?

After considering that this topic is somewhat interesting. We are mainly focusing on 2 points of high rise building. The former is comparing the results of the computer program and the manual calculation. The latter is after designing all The structural of high rise building, we estimated the quantity of construction work to see which method of design is saver which may help the engineers to have some ideas in designing high rise building.

We hope that our project is may help you in doing your works and maybe it could be a reference for you in choosing the method of design.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการพฤติกรรมในการต้านทานแรงลมของอาคารสูงของอาคารระบบต่างๆ ได้แก่ couple shearwall core structure framed-tubed structure และ outrigger structure โดยวิเคราะห์หาแรงต่างๆ ในโครงสร้างของอาคารสูง แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการออกแบบ

โครงการพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้โดยความช่วยเหลือของ อ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ ผู้ได้ให้ความรู้และคำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบคุณ อ. ศรีกริช หิรัญมาศ ที่ได้ช่วยอนุเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ

และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วง และสุดท้ายขอขอบคุณคณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือให้โครงการพิเศษฉบับนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

นายเกรียงศักดิ์ ดังพงศ์ประสิทธิ์

นายคณาพจน์ ทองพันธุ์

นายจรัสวัช ปรานต์ศักดิ์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอวนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญภาพ	ฏ
1	บทนำ	
	1.1. บทนำ	1
	1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. ขอบเขตการศึกษา	2
	1.5. วิธีการศึกษา	2
2	พฤติกรรมและการวิเคราะห์โครงสร้างระบบต่างๆ	
	2.1. โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่	4
	2.1.1. พฤติกรรมของโครงสร้าง Coupled Shear Wall	4
	2.1.2. วิธีการวิเคราะห์	6
	2.1.3. ที่มาของสมการคิฟเฟอร์นเซียล	6
	2.1.4. คำตอบของสมการสำหรับแรงกระทำมาตรฐาน	14
	2.1.4.1. แรงกระทำซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอ	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.2. แรงตามแนวแกนในผนังรับแรงเฉือน	14
2.1.4.3. แรงเฉือนในคานเชื่อมต่อ	15
2.1.4.4. โมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือน	16
2.1.4.5. การแอ่นตัว	17
2.1.4.6. แรงต่างๆในโครงสร้างไม่ต่อเนื่อง	18
2.1.5. วิธีการออกแบบโดยใช้กราฟฟิก	19
2.1.6. การแปลงคานเชื่อมต่อในโครงสร้างให้เป็นคานสมมูล	23
2.1.7. ความสำคัญของพารามิเตอร์ $k\alpha H$	25
2.2. โครงสร้างปล่องแกน	27
2.2.1. พฤติกรรมของการบิดเบี้ยว	27
2.2.2. การหาคุณสมบัติต่างๆของหน้าตัดซึ่งมีผลต่อการควบคุม การบิดเบี้ยวของปล่องแกน	33
2.2.2.1. Sectorial Coordination ω	33
2.2.2.2. Shear Center	34
2.2.2.3. Principal Sectorial Coordinate ω	35
2.2.2.4. Sectorial Moment of Inertia I_ω	36
2.2.2.5. The Torsion Constant J	36
2.2.3. ทฤษฎีสำหรับกำหนดการบิดเบี้ยวของปล่องแกนที่มีหน้าตัด คงที่เมื่อเกิดการบิด	37
2.2.3.1. การสร้างสมการอนุพันธ์เพื่อใช้ในการควบคุม การบิดตัวของปล่องแกน	37
2.2.3.2. การหาผลเฉลยสำหรับโมเมนต์กระจายแบบคงที่	38
2.2.3.3. ความเค้นซึ่งเกิดจากการบิดเบี้ยว	39
2.3. โครงสร้างแบบปล่อง	41
2.3.1. พฤติกรรมของโครงสร้างแบบปล่อง	41
2.3.1.1. โครงสร้างโครงข้อแข็งแบบปล่อง	41
2.3.1.2. โครงสร้างแบบกลุ่มปล่อง	45
2.3.1.3. โครงข้อแข็งแบบปล่องซึ่งมีค้ำยัน	45
2.3.2. การวิเคราะห์โครงสร้างสามมิติ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. แบบจำลองการวิเคราะห์สำหรับ โครงสร้างปล้องที่มีความสมมาตร	47
2.3.3.1. การลดรูปโครงสร้างสามมิติให้กลายเป็นโครงสร้างสมมูลในสองมิติ	47
2.4. โครงสร้าง Outrigger-Braced Structures	53
2.4.1. วิธีการวิเคราะห์	55
2.4.2. การวิเคราะห์ความสอดคล้องของ โครงสร้างที่มี outrigger 2 ตัว	56
2.4.2.1. การวิเคราะห์แรง	60
2.4.2.2. การวิเคราะห์การแอ่นตัวทางข้าง	61
2.4.3. คำตอบในรูปทั่วไปของแรงและการแอ่นตัวทางข้าง	61
2.4.3.1. โมเมนต์หน่วย	61
2.4.3.2. การแอ่นตัวทางข้าง	62
2.4.4. ตำแหน่งที่เหมาะสมของ outrigger	63
3 การวิเคราะห์โครงสร้าง	
3.1. การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้สมการวิเคราะห์	66
3.1.1. การวิเคราะห์โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่	66
3.1.2. การวิเคราะห์โครงสร้างปล้องแกน	69
3.1.3. การวิเคราะห์โครงสร้างแบบปล้อง	75
3.1.4. การวิเคราะห์โครงสร้าง Outrigger	78
3.2. การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	81
3.2.1. การสร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ PCA FRAME	81
3.2.1.1. โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่	82
3.2.1.2. โครงสร้างปล้องแกน	88
3.2.1.3. โครงสร้างปล้อง	88
3.2.1.4. โครงสร้าง Outrigger	103

4	การออกแบบและประมาณวัสดุของอาคาร	
4.1.	รายการออกแบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่	121
4.2.	รายการออกแบบโครงสร้างแบบปล่องแกน	141
4.2.1.	การออกแบบปล่องแกนหน้าตัดที่ 1	141
4.2.2.	การออกแบบปล่องแกนหน้าตัดที่ 2	142
4.2.3.	การออกแบบปล่องแกนหน้าตัดที่ 3	143
4.3.	รายการออกแบบโครงสร้าง Outrigger	155
4.3.1.	การออกแบบคานส่วนล่างหมายเลข 1 (B1)	155
4.3.2.	การออกแบบคานส่วนล่างหมายเลข 2 (B2)	156
4.3.3.	การออกแบบคานส่วนบนหมายเลข 3 (B3)	157
4.3.4.	การออกแบบคานส่วนบนหมายเลข 4 (B4)	158
4.3.5.	การออกแบบปล่องแกนชั้นที่ 1-23	159
4.3.6.	การออกแบบปล่องแกนชั้นที่ 24-60	160
4.4.	รายการออกแบบโครงสร้างแบบปล่อง (ส่วนเสา)	161
5	สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา	
5.1.	การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากสมการวิเคราะห์และจากโปรแกรม PCA FRAME	183
5.1.1.	โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่	183
5.1.2.	โครงสร้างปล่องแกน	184
5.1.3.	โครงสร้างปล่อง	184
5.1.4.	โครงสร้าง Outrigger	184
5.2.	การเปรียบเทียบปริมาณวัสดุและน้ำหนักของอาคารสูง 30 ชั้น และ 60 ชั้น	185
5.2.1.	โครงสร้างอาคารสูง 30 ชั้น	185
5.2.2.	โครงสร้างอาคารสูง 60 ชั้น	186
	บรรณานุกรม	187

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.1.	แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ผนังรับแรงเฉือนคู่	110
3.2.	เปรียบเทียบแรงดามแนวแกนในผนังรับแรงเฉือนคู่	113
3.3.	แสดงค่าแรงตามแนวแกนส่วนปีกของ Tube	116
3.4.	แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ที่ปล่องแกนของโครงสร้าง Outrigger	117
4.1.	แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Coupled Shear Wall	179
4.2.	แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Core Structure	179
4.3.	แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Framed-Tube Structure	180
4.4.	แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Outrigger Structure	180
4.5.	เปรียบเทียบน้ำหนักของโครงสร้างอาคารสูง 30 ชั้น	181
4.6.	เปรียบเทียบน้ำหนักของโครงสร้างอาคารสูง 60 ชั้น	181

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
1.1.	แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาโครงการพิเศษ	3
2.1.	ลักษณะโครงสร้าง Coupled Shear Wall	4
2.2.	พฤติกรรมของโครงสร้าง Coupled Shear Wall ในการรับแรงกระทำทางข้าง	5
2.3.	โครงสร้าง Coupled Shear Wall ซึ่งถูกแทนโดย continuum model	7
2.4.	แรงภายในโครงสร้าง Coupled Shear Wall	8
2.5.	การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งเปลี่ยนโค้ง	10
2.6.	ค่าต่างๆของ axial force factor F_1	15
2.7.	ค่าต่างๆของ shear flow factor F_2	16
2.8.	ค่าต่างๆของ top deflection factor F_3	18
2.9.	ผลรวมของการกระจายความเค้นเนื่องจาก composite และ individual action	20
2.10.	ค่าต่างๆของ wall moment factor K_1 และ K_2	23
2.11.	การแปลงคานเชื่อมต่อแข็งเกร็งด้วยคานสมมูล	24
2.12.	(ก) หน้าตัดปล่องแกนเปิด	28
	(ข) ปล่องแกนซึ่งยึดด้วยคานบางส่วน	28
	(ค) ปล่องแกนซึ่งยึดด้วยพื้นบางส่วน	28
2.13.	การหมุนของปล่องแกน	28
2.14.	(ก) ปล่องแกนตัวไอ	29
	(ข) หน้าตัดปล่องแกน	29
	(ค) ปล่องแกนรับโมเมนต์บิด	29
	(ง) การบิดของส่วนปีกและเอว	29

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
2.15.	(ก) ความเค้นการบิดในหน้าตัดเปิด	33
	(ข) ความเค้นการบิดในหน้าตัดปิด	33
2.16.	(ก) รูปคัตของหน้าตัด	34
	(ข) sectorial coordinate ω' diagram	34
2.17.	(ก) หน้าตัดปล้องแกนสมมาตรด้านเดียว	35
	(ข) ω' diagram	35
	(ค) y diagram	35
	(ง) principal sectorial ω diagram	35
2.18.	(ก) การหมุนของปล้องแกน	39
	(ข) โมเมนต์คู่ในปล้องแกน	39
	(ค) ความเค้นบิดเบี้ยวในปล้องแกน	39
	(ง) แรงเฉือนในคานของปล้องแกนหน้าตัดเปิด	39
2.19.	โครงสร้างโครงข้อแข็งแบบปล้อง	
	(ก) รูปด้าน	42
	(ข) แปลนโครงสร้าง	42
	(ค) คานถ่ายแรงที่ฐานล่าง	42
	(ง) เสาถ่ายแรงในโครงสร้าง	42
2.20.	การกระจายความเค้นตามแนวแกนในเสาของโครงสร้าง โครงข้อแข็งแบบปล้อง	43
2.21.	การเคลื่อนตัวของปีกโครงข้อแข็งเนื่องจาก shear lag	44
2.22.	shear lag ของโครงสร้างกลุ่มปล้อง (bundled-tube structure)	45
2.23.	ระบบปล้องโครงข้อหมุนแนวทะแยง	46
2.24.	โครงสร้างปล้องโครงข้อแข็งหรือปล้องซ้อนปล้อง	
	(ก) แปลนโครงสร้าง	49
	(ข) แบบจำลองสมมูลในระนาบ	49
	(ค),(ง) รายละเอียดของรอยต่อในแบบจำลองในระนาบ	50

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
2.25.	โครงข้อแข็งแบบปล้องร่วมกับปีกโครงข้อแข็งภายใน	
	(ก) แปลนโครงสร้าง	50
	(ข),(ค) แบบจำลองสมมูลในระนาบ	51
2.26.	แบบจำลองของโครงสร้างปล้องซ้อนปล้อง 3 มิติโดยใช้โครงข้อแข็งในระนาบ	
	(ก) แปลนโครงสร้าง	52
	(ข) แบบจำลองโครงสร้างสมมูลในระนาบ	52
2.27.	(ก) โครงสร้าง Outrigger ร่วมกับ core ตรงกลาง	53
	(ข) โครงสร้าง Outrigger ร่วมกับ core ด้านข้าง	53
2.28.	(ก) โครงสร้าง Outrigger ซึ่งเคลื่อนตัวภายใต้แรงกระทำด้านข้าง	54
	(ข) การแอ่นตัวที่เกิดขึ้น	54
	(ค) โมเมนต์ที่เกิดขึ้นใน core	54
2.29.	โครงสร้าง Outrigger ร่วมกับ belt girders	55
2.30.	(ก) โครงสร้าง Outrigger 2 ตัว	57
	(ข) การกระจายโมเมนต์ภายนอก	57
	(ค) การกระจาย M_1	57
	(ง) การกระจาย M_2	57
	(จ) การกระจายโมเมนต์ใน core	57
2.31.	(ก) Outrigger เชื่อมต่อกับขอบของ core	59
	(ข) Outrigger สมมูลเชื่อมต่อกับจุดศูนย์กลางของ core	59
2.32.	(ก) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง Outrigger 1 ตัว	64
	(ข) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง Outrigger 2 ตัว	64
	(ค) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง Outrigger 3 ตัว	65
	(ง) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง Outrigger 4 ตัว	65
3.1.	Plan โครงสร้าง Coupled Shear Wall ที่ใช้ในการวิเคราะห์	68
3.2.	แสดงผัง ω และโมเมนต์ของผัง ω	71
3.3.	ความกว้างประสิทธิผลของคานสมมูล	74

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
3.4.	แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การลดการเคลื่อนตัวโดยโครงข้อแข็ง	75
3.5.	Plan โครงสร้าง Core ที่ใช้ในการวิเคราะห์	76
3.6.	Plan โครงสร้าง Frame-tubed ที่ใช้ในการวิเคราะห์	77
3.7.	Plan โครงสร้าง Outrigger ที่ใช้ในการวิเคราะห์	80
3.8.	โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ 3 มิติ	83
3.9.	โครงสร้างปล่องแกน 3 มิติ	89
3.10.	โครงสร้างปล่องโครงข้อแข็ง 3 มิติ	97
3.11.	โครงสร้าง Outrigger 3 มิติ	104
3.12.	กราฟเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ M_1 และ M_2 จากสมการวิเคราะห์ และโปรแกรม PCA FRAME	112
3.13.	กราฟเปรียบเทียบแรงตามแนวแกนจากสมการวิเคราะห์ และโปรแกรม PCA FRAME	115
3.14.	กราฟแสดงลักษณะของ shear lag	116
3.15.	กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ในปล่องแกนจากสมการวิเคราะห์ และโปรแกรม PCA FRAME	120
4.1.	กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุต่างๆของอาคารสูง 30 ชั้น	182

บทที่ 1

บทนำ

1.1. บทนำ (Background)

ในปัจจุบันอาคารสูงที่พบเห็นกันโดยทั่วไปนั้น ต่างก็มีระบบของโครงสร้างที่ผู้ออกแบบเลือกนำมาใช้แตกต่างกันไป โดยที่ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆด้าน เช่น จุดประสงค์ในการใช้อาคาร งบประมาณในการก่อสร้าง รวมถึงสภาพพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกใช้ระบบโครงสร้างทั้งสิ้น สำหรับปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งซึ่งทำให้อาคารสูงนั้นแตกต่างจากอาคารทั่วไปนั่นคือ อาคารสูงจะต้องสามารถต้านทานแรงลมที่กระทำทางด้านข้างด้วย โดยที่อาคารยิ่งสูงเท่าใด แรงลมที่กระทำกับอาคารก็จะมากตามไปด้วย ดังนั้นอาคารสูงที่มีประสิทธิภาพจะต้องสามารถต้านทานแรงลมกระทำด้านข้างได้โดยจะต้องมีการแอ่นตัวทางข้างอยู่ในขอบเขตที่กำหนด เพื่อไม่ให้ผู้ที่เข้าไปใช้อาคารเกิดความหวาดกลัวจากการสั่นไหวของอาคารได้

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (Statement of Problem)

ในการออกแบบโครงสร้างอาคารสูงโดยทั่วไปนั้น ผู้ออกแบบมักจะพบกับปัญหาเรื่องจำนวนชิ้นส่วนโครงสร้างจำนวนมากที่มาประกอบเข้าด้วยกัน โดยผู้ออกแบบนั้นจะต้องอาศัยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างซึ่งใช้กันโดยทั่วไป เช่น STAAD III , MICROFEAP I , MICROFEAP II เป็นต้น เข้ามาช่วยในการออกแบบ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นตามาคือ ผู้ออกแบบไม่สามารถรู้ได้ว่าควรใช้โครงสร้างส่วนต่างๆขนาดเท่าใด และหากจะทำการปรับเปลี่ยนขนาดต่างๆในโปรแกรมวิเคราะห์นั้นจะต้องเสียเวลาอย่างมาก ดังนั้นหากเราสามารถประมาณขนาดของโครงสร้างและสามารถวิเคราะห์ค่าโมเมนต์และค่าการแอ่นตัวอย่างคร่าวๆของโครงสร้างได้ ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design)

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา (Objectives of Study)

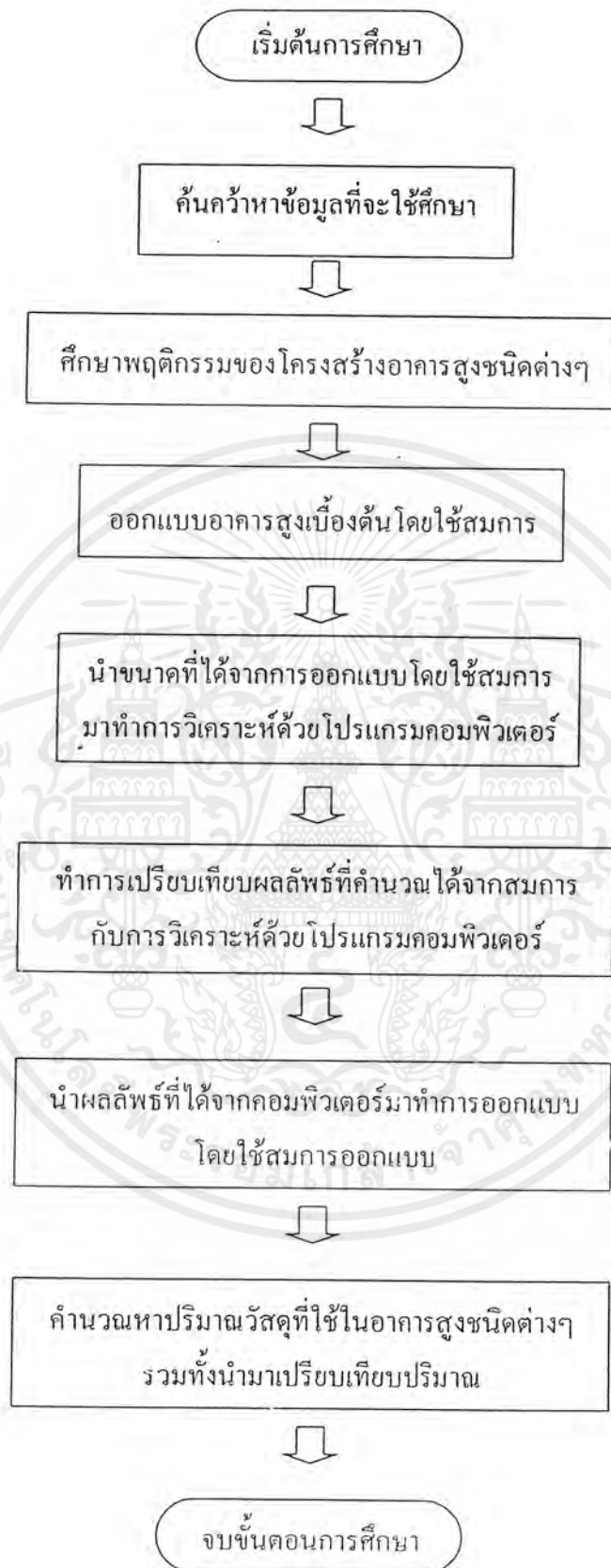
วัตถุประสงค์ของการศึกษาโครงการพิเศษนี้คือ เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมและเปรียบเทียบผลลัพธ์ต่างๆที่สำคัญต่อการวิเคราะห์โครงสร้าง เช่น ค่าโมเมนต์ , ค่าแรงตามแนวแกน และค่าการแอ่นตัว เป็นต้น ซึ่งได้จากสมการวิเคราะห์และจากโปรแกรม PCA FRAME ของระบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Wall Structures) , โครงสร้างแกน (Core Structures) , โครงสร้างปล้อง (Tubular Structure) และโครงสร้าง Outrigger (Outrigger – Braced Structures) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณวัสดุและน้ำหนักของอาคารสูง 30 ชั้นซึ่งใช้โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Wall Structures) และ โครงสร้างแกน (Core Structures) และอาคารสูง 60 ชั้น ซึ่งใช้โครงสร้างปล้อง (Tubular Structure) และ โครงสร้าง Outrigger (Outrigger – Braced Structures)

1.4. ขอบเขตการศึกษา (Scope of Study)

เนื้อหาที่จะทำการศึกษานั้นประกอบด้วยพฤติกรรมและสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ต่างๆ เช่น ค่าการแอ่นตัวและค่าโมเมนต์ เป็นต้น ของโครงสร้างทั้ง 4 ระบบที่กล่าวมาแล้ว รวมถึงศึกษาผลลัพธ์ที่ได้จากสมการวิเคราะห์และค่าที่ได้จากโปรแกรม PCA FRAME

1.5. วิธีการศึกษา (Methodology)

เริ่มจากการศึกษาพฤติกรรมและสมการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 4 ระบบ แล้วจึงทำการออกแบบโครงสร้างที่กำหนดขึ้นโดยใช้สมการวิเคราะห์ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากโปรแกรม PCA FRAME ทำการเปลี่ยนขนาดต่างๆของโครงสร้างและแรงลมที่ใช้ให้มีความเหมาะสมและถูกต้องตามข้อกำหนด แล้วจึงทำการออกแบบเหล็กเสริมและถอดปริมาณวัสดุออกมาเพื่อทำการเปรียบเทียบกันโดยใช้อาคาร 2 ขนาดคืออาคารสูง 30 ชั้น และอาคารสูง 60 ชั้น ซึ่งขั้นตอนการศึกษานั้นสรุปได้ดังแผนผังต่อไปนี้



รูปที่ 1-1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษาโครงการพิเศษ

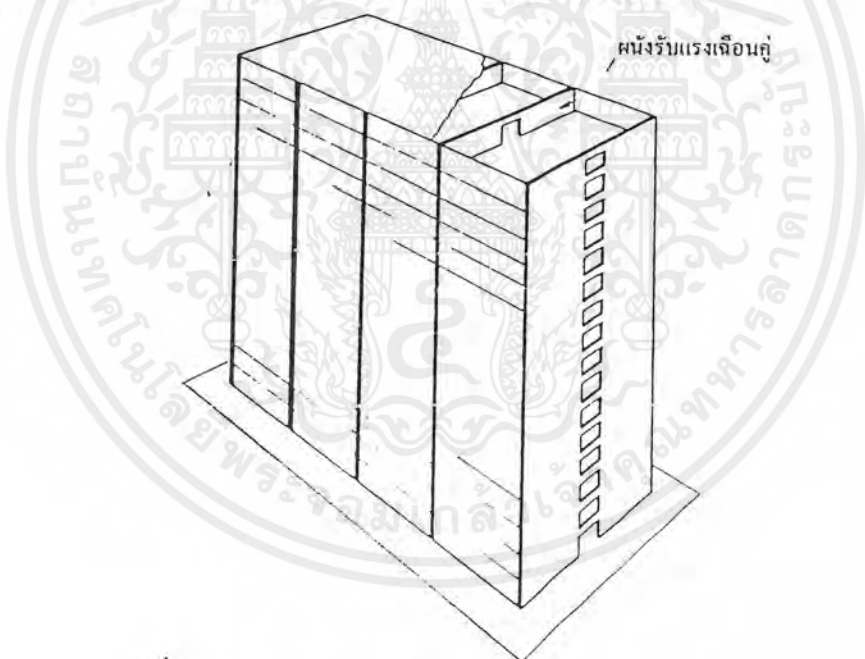
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

พฤติกรรมและการวิเคราะห์โครงสร้างระบบต่างๆ

2.1. โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Wall Structures)

โดยทั่วไปแล้วเราสามารถพบเห็นอาคารที่ใช้โครงสร้าง Coupled Shear Wall ได้จากอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก หรืออาคารเหล็กต่าง ๆ ซึ่งมักจะแบ่งห้องพักออกเป็น 2 คั่น และเว้นช่องตรงกลางไว้สำหรับเป็นทางเดิน จากลักษณะดังกล่าวทำให้เราสามารถที่จะใช้ประโยชน์จากพื้นทางเดินซึ่งเชื่อมต่อผนังห้องทั้ง 2 คั่น ในการช่วยต้านทานแรงกระทำด้านข้าง อันจะทำให้โครงสร้างดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างมากกว่าโครงสร้าง Shear Wall ธรรมดา



รูปที่ 2.1. ลักษณะ โครงสร้าง Coupled Shear Wall

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

2.1.1 พฤติกรรมของโครงสร้าง Coupled Shear Wall

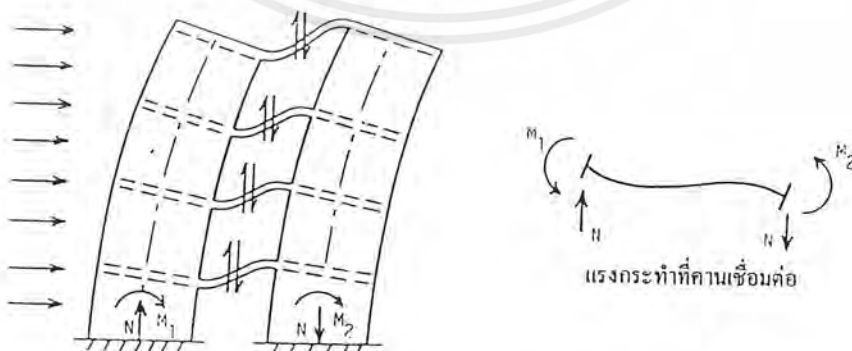
พฤติกรรมของโครงสร้าง Coupled Shear Wall นั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างผนังรับแรงเฉือนและคานเชื่อมต่อตรงกลาง ถ้าผนังรับแรงเฉือนถูกเชื่อมต่อในลักษณะหุ้มคาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(pin end link) กับคานตรงกลางแล้ว รอยต่อจะสามารถถ่ายได้เฉพาะแรงตามแนวแกนระหว่างผนังรับแรงเฉือนเท่านั้น สำหรับโมเมนต์ภายนอกจะถูกต้านทานโดยโมเมนต์ภายในผนังรับแรงเฉือนทั้งสองด้านแยกกันอิสระ โดยโมเมนต์ที่ผนังรับแรงเฉือนแต่ละตัวสามารถต้านทานได้จะขึ้นอยู่กับความแข็งแกร่ง (Flexural Rigidity) ของผนังรับแรงเฉือนนั้นๆ ถ้าหากการเชื่อมต่อเป็นแบบแข็งเกร็ง (Rigid) แล้ว โมเมนต์ภายนอกจะถูกต้านทานโดยผนังรับแรงเฉือนทั้งสองร่วมกัน โดยความเค้นที่เกิดขึ้นจะกระจายเป็นเส้นตรงผ่านจุดเช็นทรอยซ์ของโครงสร้างผสม (Composite Wall) ในทางปฏิบัติแล้วมักจะไม่เป็นแบบใดแบบหนึ่งเนื่องจากคุณภาพในการก่อสร้าง ดังนั้นหากต้องการให้โครงสร้าง Coupled Shear Wall มีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างมากที่สุด เราต้องพยายามทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมเข้าใกล้การรับแรงร่วมให้มากที่สุด

จากรูปที่ 2.2. จะพบว่า เมื่อผนังรับแรงเฉือนเกิดการแอ่นตัวภายใต้แรงกระทำด้านข้าง จะทำให้คานเชื่อมต่อ (Connecting Beam) เกิดการหมุนและเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ดังนั้นคานเชื่อมต่อจะเกิดการคดในลักษณะโค้งคู่คดกลับ (Double Curvature) และจะต้านทานการคดอิสระของผนังรับแรงเฉือน ภายใต้การคดจะทำให้เกิดแรงเฉือนในคานเชื่อมต่อ และโมเมนต์คดที่กระทำกับคานเชื่อมต่อนั้น จะมีทิศทางตรงข้ามกับโมเมนต์ภายนอกที่กระทำกับผนังรับแรงเฉือนทั้งคู่ แรงเฉือนดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงตามแนวแกนในผนังรับแรงเฉือนทั้งสองด้วย โดยเป็นแรงดึงในด้านเหนือลม และแรงอัดในด้านใต้ลม โมเมนต์เนื่องจากแรงกระทำภายนอก M ในแต่ละระดับจะถูกต้านทานโดยผลรวมของ M_1 และ M_2 ของผนังรับแรงเฉือนในแต่ละระดับ ร่วมกับโมเมนต์เนื่องจากแรงตามแนวแกน NI ดังสมการที่ (2.1.) เมื่อ N คือแรงตามแนวแกนในแต่ละผนังรับแรงเฉือนแต่ละระดับ และ I คือระยะระหว่างแกนเช็นทรอยซ์ของผนังรับแรงเฉือนทั้งสอง

$$M = M_1 + M_2 + NI$$

(2.1.)



รูปที่ 2.2. พฤติกรรมของโครงสร้าง Coupled Shear Walls ในการรับแรงกระทำด้านข้าง
ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2. วิธีการวิเคราะห์ (Method of Analysis)

วิธีการวิเคราะห์นั้นแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบขึ้นอยู่กับความถูกต้องที่ต้องการ โดยรูปแบบแรก คือ การวิเคราะห์แบบประมาณ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องคำนวณช่วย และ รูปแบบที่สอง คือการวิเคราะห์แบบละเอียดซึ่งต้องอาศัยเครื่องคำนวณช่วย สำหรับการวิเคราะห์แบบประมาณนั้นสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า “ Continuous Medium ” โดยที่โครงสร้างนั้นจะกำหนดให้คานเชื่อมต่อในแนวนอน (Horizontal Connecting Beam) สามารถต้านทานแรงกระทำด้านข้างได้โดยถูกสมมุติให้เป็น “ คานเชื่อมต่อแบบต่อเนื่องสมบูรณ์ (Equivalent Continuous Connecting Beam) ” ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆต่อเนื่องตลอดความสูงอาคาร จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์สมดุลของการเคลื่อนตัวซึ่งจะทำให้ได้ค่าแรงต่างๆในรูปของสมการดิฟเฟอเรนเชียล สำหรับเทคนิค “ Continuous Medium ” นี้จะสามารถนำมาใช้ได้กับอาคารที่มีลักษณะโครงสร้างสม่ำเสมอ (uniform) เท่านั้น

ในทางปฏิบัติแล้ว อาคารโดยทั่วไปมักจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอตลอดความสูงโดยอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างหรือความหนาของผนังรับแรงเฉือนทำให้การนำเทคนิค “ Continuous Medium ” มาใช้อาจจะได้คำตอบที่ไม่ถูกต้องนัก ดังนั้นเราจะต้องใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการวิเคราะห์โครงข้อแข็งโดยทั่วไป (Frame Analysis) ซึ่งจะใช้พื้นฐานของ Stiffness Matrix ในการวิเคราะห์สำหรับโมเดลของโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น จะต้องกำหนดตำแหน่งของผนังรับแรงเฉือนโดยใช้แกนเสา (Line Column) ที่ตำแหน่งแกนเซ็นทรอยด์ และกำหนดคานต่อเนื่องเชื่อมต่อ Line Column ทั้งสองด้าน ซึ่งเราเรียกวิธีนี้ว่า “ Wide – Column Method ” หากอาคารมีลักษณะช่องเปิดไม่เหมือนกรณีทั่วไป หรือ มีลักษณะของที่รองรับแบบพิเศษแล้ว ควรใช้ Finite Element ในการวิเคราะห์ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องกว่า

2.1.3. ที่มาของสมการดิฟเฟอเรนเชียล (Derivation of the Governing Differential Equations)

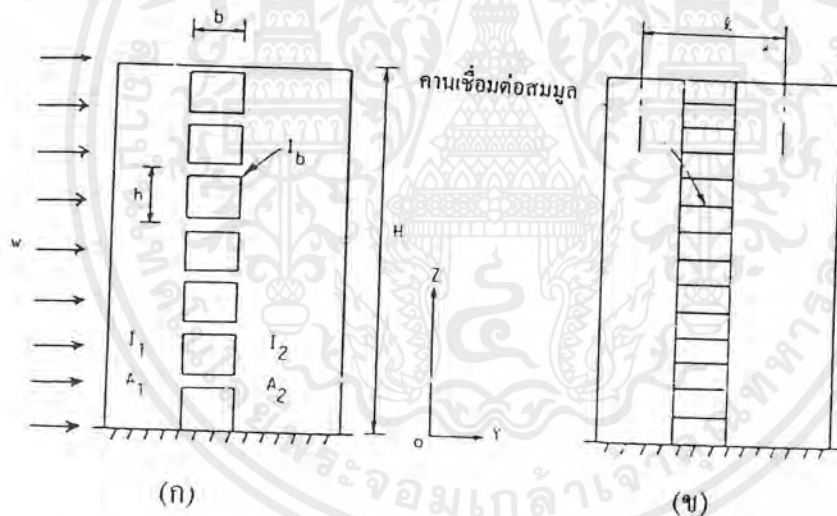
พิจารณาโครงสร้าง Coupled Shear Wall ในระนาบดังรูปที่ 2.3.(ก) ซึ่งรับแรงกระจายความเข้ม w ต่อความสูงหนึ่งหน่วยซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานของแรงที่ใช้หาที่มาของสมการดิฟเฟอเรนเชียลต่อไป

ข้อสมมุติฐานเบื้องต้นในการวิเคราะห์มีดังนี้

1. คุณสมบัติของผนังรับแรงเฉือน และคานเชื่อมต่อไม่เปลี่ยนแปลงตลอดความสูง และความสูงของชั้นคงที่
2. ส่วนคดียังคงอยู่ในระนาบทั้งก่อนรับแรงคดและหลังรับแรงคด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชุดของคานเชื่อมต่อที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งมี flexural rigidity EI_b จะถูกแทนที่โดย equivalent continuous connecting medium ซึ่งมี flexural rigidity EI_b/h ต่อความสูงหนึ่งหน่วยจากรูป 2.3.(ข) (Moment Inertia ของคานเชื่อมต่อด้วยบนสุดจะเป็น 1/2 ของคานเชื่อมต่อด้วยอื่นๆ)
4. ผนังรับแรงเฉือนจะแอ่นตัวเท่ากันในแนวนอน เนื่องจากผลของความแข็งแกร่งในระนาบ (high inplane rigidity) ของพื้นโคจรอบ และ axial stiffness ของคานต่อเนื่อง ดังนั้น slope ของผนังรับแรงเฉือนจะเท่ากันตลอดความสูงและจาก straight forward ของสมการ slope-deflection แสดงให้เห็นว่าคานต่อเนื่องหรือในรูปของคานต่อเนื่องสมมูล จะมีจุดเปลี่ยนโค้งที่จุดกึ่งกลางคาน จากข้อสมมติฐานนี้ แสดงว่า ความโค้งของผนังรับแรงเฉือนจะเท่ากันตลอดความสูง และโมเมนต์คดในแต่ละผนังรับแรงเฉือน จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ flexural rigidity ของผนังรับแรงเฉือนเอง
5. ชุดของ axial forces , shear forces และ bending moment ที่ไม่ต่อเนื่องในคานเชื่อมต่อจะถูกแทนที่โดย equivalent continuous distributions of intensity n , q , m ต่อความสูงหนึ่งหน่วย



รูปที่ 2.3. โครงสร้าง Coupled Shear Walls ซึ่งถูกแทน โดย continuum model
ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

ถ้าคานเชื่อมต่อสมมูลถูกสมมติให้ตัดแนวตั้งที่จุดเปลี่ยนโค้งจะเห็นว่ามีเพียง shear flow $q(z)$ per unit height และ axial force $n(z)$ per unit height เท่านั้นที่กระทำ แรงตามแกน N ในแต่ละผนังรับแรงเฉือนที่ระดับ z จะเท่ากับอินทิเกรตของ shear flow ในคานเชื่อมต่อสมมูลเหนือระดับนั้นดังนี้

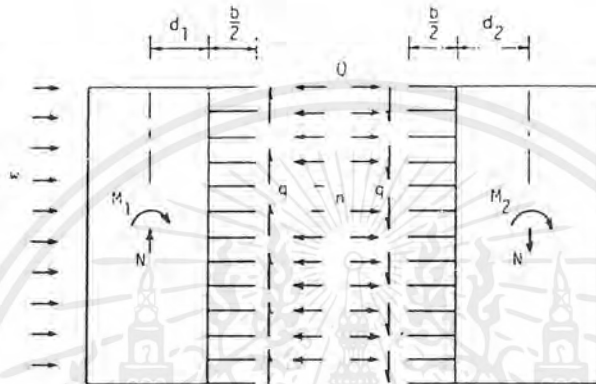
$$N = \int_z^H q dz \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Differentiating สมการที่ (2.2.) จะได้

$$q = -\frac{dN}{dz} \quad (2.3.)$$

เมื่อพิจารณาสภาพความสอดคล้องของรอยตัดในแนวตั้งที่จุดเปลี่ยนโค้งดังรูปที่ 2.4. จะพบว่า การเคลื่อนที่ในแนวตั้งที่เกิดขึ้นที่ปลายรอยตัดนั้นเกิดจาก 4 กรณี ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4. แรงภายในโครงสร้าง Coupled Shear Walls

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

1. การเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงค้ำ ที่เกิดขึ้นกับผนังรับแรงเฉือน (รูปที่ 2.5.(ก))

ภายใต้โมเมนต์ค้ำกระทำ ผนังรับแรงเฉือนจะแอ่นตัวและหน้าตัดขวางจะหมุนดังรูปที่ 2.5.(ก) ซึ่งการกระทำของโมเมนต์ค้ำจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ 1.) การค้ำอิสระของผนังรับแรงเฉือนเนื่องจากโมเมนต์ภายนอก 2.) การค้ำย้อนกลับเนื่องจากแรงเฉือนและแรงตามแนวแกนในคานต่อเนื่องสมดุลจาก slope ของแกนเส้นรอยต่อของผนังรับแรงเฉือนที่ระดับ z ซึ่งเท่ากับ dy / dz จะได้ว่า

$$\delta_{1a} = \left(\frac{b}{2} + d_1\right) \frac{dy}{dx} \quad \text{และ} \quad \delta_{2a} = \left(\frac{b}{2} + d_2\right) \frac{dy}{dx}$$

ดังนั้น

$$\delta_1 = \left(\frac{b}{2} + d_1\right) \frac{dy}{dx} + \left(\frac{b}{2} + d_2\right) \frac{dy}{dz} = l \frac{dy}{dz} \quad (2.4.)$$

เมื่อ δ_1 = การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

2. การเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงคดและแรงเฉือนของคานต่อเนื่องสมมูลภายใต้การกระทำของ shear flow (รูปที่ 2.5.(ข))

พิจารณาชั้นส่วนเล็กๆของคานต่อเนื่องสมมูลที่ความลึก dz ซึ่งสมมุติให้ยื่นออกมาจากขอบในของผนังรับแรงเฉือน จะได้ค่า flexural rigidity ของชั้นบางเล็กๆเป็น $(EI_b / h) dz$ และคานยื่นจะต้องรับแรงเฉือนเท่ากับ qdz เนื่องจากการคดอย่างเดียวยังจะสามารถหาการเคลื่อนตัว δ_2 ได้จากหลักการของวิธี moment – area ดังนี้

$$\delta_2 = -2 \left(\frac{2}{3} \left(\frac{1}{2} qdz \left(\frac{b}{2} \right) \right) \left(\frac{b}{2} \right) / \left(\frac{EI_b}{h} \right) dz \right)$$

$$\delta_2 = -2 \frac{qdz}{3(EI_b / h) dz} \left(\frac{b}{2} \right)^3 = -\frac{qb^3 h}{12EI_b} \quad (2.5.)$$

โดย b คือค่า clear span ของคานเชื่อมค่อ

สำหรับผลกระทบของ shearing deformation ในคานเชื่อมค่อ นั้น สามารถรวมเข้าไปได้ โดยแทนค่า flexural rigidity ที่แท้จริง (EI_b) ด้วย equivalent flexural rigidity (EI_c) โดยที่

$$I_c = \frac{I_b}{1+r} \quad (2.6.)$$

และ

$$r = \frac{12EI_b}{b^2 GA} \lambda$$

โดย GA คือ shearing rigidity

λ คือ cross – sectional shape factor สำหรับแรงเฉือน

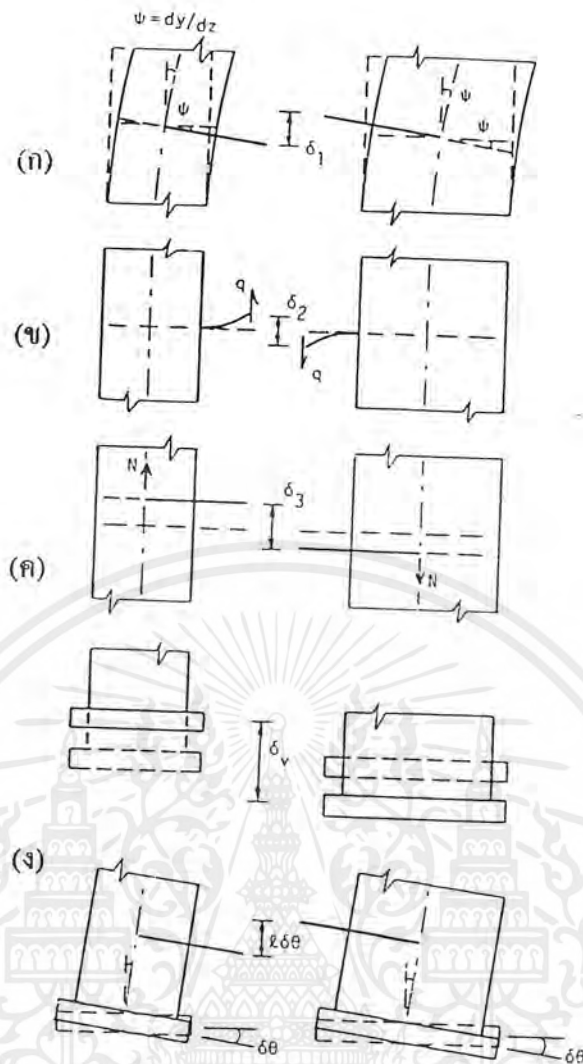
= 1.2 สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยม

สำหรับการปรับแก้เนื่องจาก shearing deformation นั้นจะใช้เมื่อคานเชื่อมค่อมีอัตราส่วน span to depth < 5

การประเมินค่า δ_2 นั้นจะสมมุติให้รอยต่อของคานเชื่อมค่อกับผนังรับแรงเฉือนนั้นเป็นแบบแข็งเกร็งและจะไม่คำนึงถึง local elastic deformation ที่รอยต่อของคานเชื่อมค่อกับผนังรับแรงเฉือน ซึ่งจะไปช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับแผ่นบางเล็กๆ จากการศึกษาเกี่ยวกับ elasticity และ finite element แสดงให้เห็นว่าการรวม elastic เข้าไปในการคำนวณด้วยนั้นจะสามารถทำได้โดยรวมความยาวของคานเชื่อมค่อที่ขยายออกไปเท่ากับ 1/4 ของความลึกคานเชื่อมค่อในผนังรับแรงเฉือนทั้งสองข้าง ดังนั้นค่า b

จากสมการข้างต้นจะใช้เป็น $b + 1/2$ ความลึกคานเชื่อมค่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5. การเคลื่อนตัวของตัวสัณทรีที่ตำแหน่งเปลี่ยนโค้ง
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

จากสมการที่ (2.3.) และ (2.6.) แทนในสมการที่ (2.5.) จะได้สมการใหม่ในเทอมของแรงตามแนวแกนดังนี้

$$\delta_2 = + \frac{b^3 h}{12 E I_c} \frac{dN}{dz} \quad (2.7.)$$

3. การเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงตามแนวแกนของผนังรับแรงเฉือน (รูปที่ 2.5.(ค))

เมื่อผนังรับแรงเฉือนอยู่ภายใต้การกระทำเนื่องจากแรงตามแนวแกน N ผลจากแรงเฉือนในคานเชื่อมต่อจะทำให้เกิดแรงค้ำในผนังรับแรงเฉือนด้านเหนือลมและแรงอัดในผนังรับแรงเฉือนด้านใต้ลม ดังนั้นจะสามารถคำนวณ δ_3 ที่ระดับ z ใดๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta_3 = -\frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^z N dz \quad (2.8.)$$

เมื่อ A_1 และ A_2 คือพื้นที่ตัดขวางของผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 1 และ 2

4. การเคลื่อนตัวเนื่องจากการทรุดตัวและการหมุนของฐานราก (รูปที่ 2.5.(ง))

การเคลื่อนตัวในแนวตั้งและการหมุนนั้นอาจเกิดจากการทรุดตัวของฐานรากซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับ modulus of subgrade หรือเป็นผลจาก flexibility ของโครงสร้างใต้ดินนั้นคือ

$$\delta_4 = -\delta_r + l\delta_\theta = \delta_b \quad (2.9.)$$

เมื่อ δ_r คือ การเคลื่อนตัวแนวตั้งของฐานราก

δ_θ คือ การหมุนของฐานราก

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.2. แล้วจะพบว่าบริเวณจุดเปลี่ยน โค้งของคานเชื่อมต่อนั้นจะไม่มีการเคลื่อนตัว ดังนั้น

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 = 0$$

จากการแทนค่า $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ และ δ_4 จะได้

$$l \frac{dy}{dz} + \frac{b^3 h}{12EI_c} \frac{dN}{dz} - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \int_0^z N dz + \delta_b = 0 \quad (2.10.)$$

โดยที่เทอมสุดท้าย δ_b จะสมมุติให้เป็นศูนย์เนื่องจากความแข็งแกร่งของฐานราก

เมื่อพิจารณาการคดโค้งที่เกิดจากโมเมนต์ภายนอก M และการคดย้อนกลับเนื่องจากแรงเฉือนและแรงตามแนวแกนในคานเชื่อมต่อกันแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ moment - curvature สำหรับผนังรับแรงเฉือนทั้งสองที่ระดับ z ใดๆ ดังนี้

$$M_1 = M - \left(\frac{b}{2} + d_1 \right) \int_z^H q dz - M_a = EI_1 \frac{d^2 y}{dz^2} \quad (2.11.)$$

และ

$$M_2 = -\left(\frac{b}{2} + d_2 \right) \int_z^H q dz + M_a = EI_2 \frac{d^2 y}{dz^2} \quad (2.12.)$$

เมื่อ M_a คือ โมเมนต์เนื่องจากแรงตามแนวแกนในคานเชื่อมต่อ

รวมสมการที่ (2.11.) และ (2.12.) เข้าด้วยกันจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E(I_1 + I_2) \frac{d^2 y}{dz^2} = M - l \int_z^H q dz = M - lN \quad (2.13.)$$

จากสมการที่ 2.10. และ 2.11. จะได้

$$\frac{d^2 N}{dz^2} - (k\alpha)^2 N = -\frac{\alpha^2}{l} M \quad (2.14.)$$

สมการดังกล่าวเป็นสมการของโครงสร้าง Coupled Shear Wall ในเทอมของแรงตามแนวแกน N โดยที่

$$\alpha^2 = \frac{12I_c l^2}{b^3 h l}$$

$$k^2 = 1 + \frac{AI}{A_1 A_2 I^2}$$

และ

$$I = I_1 + I_2$$

$$A = A_1 + A_2$$

จากสมการที่ (2.14.) จะเห็นว่าเทอมทางซ้ายของสมการแสดงถึงคุณสมบัติเฉพาะตัวของโครงสร้าง ส่วนเทอมทางขวาแสดงถึงแรงที่มากระทำ นอกจากนี้เราสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปของการแอนตัวได้ดังนี้

$$\frac{d^4 y}{dz^4} - (k\alpha)^2 \frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{1}{EI} \left(\frac{d^2 M}{dz^2} - (k\alpha)^2 \frac{k^2 - 1}{k^2} M \right) \quad (2.15.)$$

2.1.3.1 คำตอบในรูปทั่วไปของสมการดิฟเฟอเรนเชียล (General Solution of Governing Equations)

จากสมการที่ (2.14.) สามารถแก้สมการให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$N = C_1 \cosh k\alpha z + C_2 \sinh k\alpha z - \frac{1}{(k\alpha)^2} \left[1 + \frac{D^2}{(k\alpha)^2} + \frac{D^4}{(k\alpha)^4} + \dots \right] \left[\frac{\alpha^2 M}{l} \right] \quad (2.16.)$$

โดยที่ D คือ operator d/dz และ C_1, C_2 คือ ค่าคงที่จากการอินทิเกรตซึ่งจะสามารถหาได้จากเงื่อนไขที่ตำแหน่งฐานและบนสุดของโครงสร้าง

จากสมการที่ (2.15.) แก้สมการให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = C_3 + C_4 z + C_5 \cosh k\alpha z + C_6 \sinh k\alpha z - \frac{1}{EI (k\alpha)^2} \left[\frac{1}{D^2} + \frac{1}{(k\alpha)^2} + \frac{D^2}{(k\alpha)^4} + \frac{D^4}{(k\alpha)^6} + \dots \right] \left[\frac{d^2 M}{dz^2} - (k\alpha)^2 \frac{k^2 - 1}{k^2} M \right] \quad (2.17.)$$

เมื่อ C_3 ถึง C_6 คือค่าคงที่ซึ่งจะสามารถหาได้จากเงื่อนไขขอบเขต

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

เมื่อพิจารณาจากความสะดวกและความสมดุลที่ตำแหน่งบนสุดและต่ำสุดของโครงสร้างแล้ว จะสามารถหาเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมได้ภายในช่วงของสภาพการยึดของฐานรองรับ เช่น สำหรับโครงสร้างที่อิสระที่ตำแหน่งบนสุด และ ฐานแข็งแรงแล้วจะได้เงื่อนไขขอบเขต 2 เงื่อนไขสำหรับสมการที่ (2.16.) คือ

$$\text{ที่ } z = H \text{ จะได้ } N = 0 \quad (2.18.)$$

ที่ตำแหน่งฐานนั้น จากสมการที่ (2.10.) จะพบว่า slope ที่ฐาน $dy/dz = 0$ และพจน์ที่ 3 ก็เท่ากับศูนย์ด้วย (อินทิเกรตขอบเขตศูนย์ถึงศูนย์) ดังนั้นจะได้

$$\text{ที่ } z = 0 \text{ จะได้ } dN/dz = 0 \quad (2.19.)$$

สำหรับสมการที่ (2.17.) นั้นจะสามารถหาเงื่อนไขขอบเขต 4 เงื่อนไขได้ดังนี้

$$\text{ที่ } z = 0 \text{ จะได้ } y = 0 \quad (2.20.)$$

$$\text{และ } dy/dz = 0 \quad (2.21.)$$

ที่ตำแหน่งบนสุดจะพบว่า แรงตามแนวแกน $N = 0$ และโมเมนต์ก็เท่ากับศูนย์ด้วย ดังนั้นจากสมการที่ (2.13.) จะได้ว่า $d^2 y/dz^2 = 0$

สำหรับเงื่อนไขที่ 2 ของตำแหน่งบนสุดนั้นจะสามารถหาได้จากการแทนค่า N และ dN/dz จากสมการที่ (2.13.) ในสมการที่ (2.10.) ซึ่งจะทำให้ได้เงื่อนไขขอบเขตที่ตำแหน่งบนสุดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ที่ } z = H \text{ จะได้ } d^2y/dz^2 = 0 \quad (2.22.)$$

$$\frac{d^3y}{dz^3} - (k\alpha)^2 \frac{dy}{dz} = \frac{1}{EI} \left(\frac{dM}{dz} - \alpha^2 (k^2 - 1) \int_0^H M dz \right) \quad (2.23.)$$

สำหรับกรณีของฐานรากยืดหยุ่น (elastic) นั้นการหาเงื่อนไขขอบเขตจะต้องอาศัยสมมติฐานที่ซับซ้อนซึ่งต้องพิจารณาถึงลักษณะของพฤติกรรมของฐานรองรับโครงสร้างในการพิจารณาจำนวนของเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยปกติจะใช้วิธีลด degree of statical indeterminacy โดยการใส่ hinge ไปที่จุดเปลี่ยนโค้งหรือรอยต่อของเสาและฐาน (slender column) ร่วมกับคานาแข็งเกร็ง (stiff beam)

2.1.4. คำตอบของสมการสำหรับแรงกระทำมาตรฐาน (Solution for Standard Load Cases)

ปกติแล้วการหาคำตอบที่สมบูรณ์นั้นจะได้จากการใช้แรงกระทำด้านข้างซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอ แต่สำหรับแรงกระทำซึ่งกระจายในรูปแบบอื่น ๆ นั้นก็สามารถทำได้เช่นกันแต่จะมีความซับซ้อนมากขึ้น

2.1.4.1. แรงกระทำซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniformly Distributed Lateral Loading)

พิจารณานั่งรับแรงเฉือนคู่หนึ่งซึ่งรองรับด้วยฐานรากแข็งเกร็ง โดยมีแรงกระทำซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอมีความเข้มของแรง w ต่อความสูงหนึ่งหน่วย ดังนั้นจะสามารถหาโมเมนต์ที่กระทำกับผนังรับแรงเฉือนได้เท่ากับ

$$M = \frac{w(H-z)^2}{2} \quad (2.24.)$$

2.1.4.2. แรงตามแนวแกนในผนังรับแรงเฉือน (Axial Forces in Walls)

จากสมการที่ (2.16.) และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด จะสามารถหาค่า N ได้ดังนี้

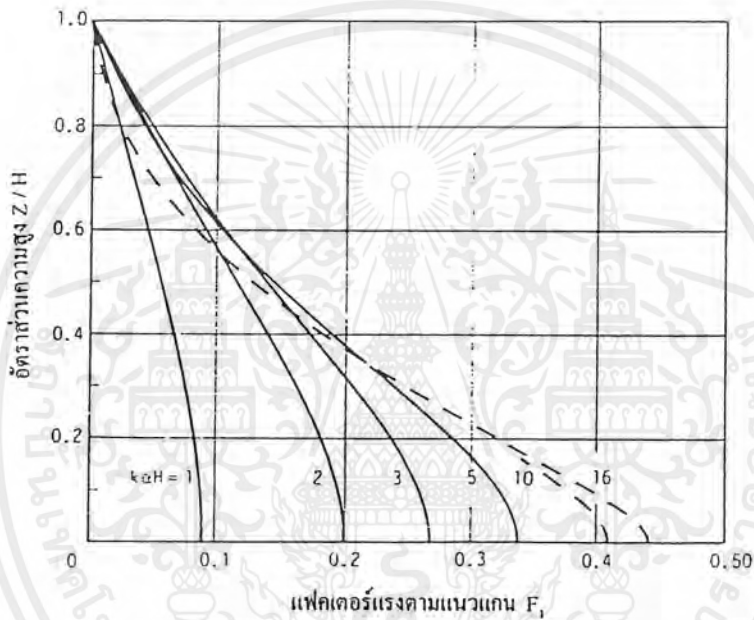
$$N = \frac{wH^2}{k^2 I} \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{z}{H} \right)^2 + \frac{1}{(k\alpha H)^2} \left[1 - \frac{\cosh k\alpha z + k\alpha H \sinh k\alpha(H-z)}{\cosh k\alpha H} \right] \right\} \quad (2.25.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่า N จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ไม่มีขนาด 2 ตัวคือ z/H และ $k\alpha H$ ดังนั้นอาจจะเขียนสมการดังกล่าวได้ดังนี้

$$N = w \frac{H^2}{k^2 l} F_1(z/H, k\alpha H) \quad (2.26.)$$

ค่าของ F_1 จะขึ้นอยู่กับ z/H และ $k\alpha H$ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.6. จะเห็นว่า F_1 เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อ $k\alpha H$ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.6. ค่าต่างๆของ axial force factor F_1
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

2.1.4.3. แรงเฉือนในคานเชื่อมต่อ (Shear in Connecting Member)

ค่า shear flow ที่เกิดขึ้นในคานเชื่อมต่อสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3.) ดังนี้

$$q = \frac{wH}{k^2 l} \left\{ \left(1 - \frac{z}{H}\right) + \frac{1}{k\alpha H} \left[\frac{\sinh k\alpha z - k\alpha H \cosh k\alpha (H-z)}{\cosh k\alpha H} \right] \right\} \quad (2.27.)$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ F_2 ได้ดังนี้

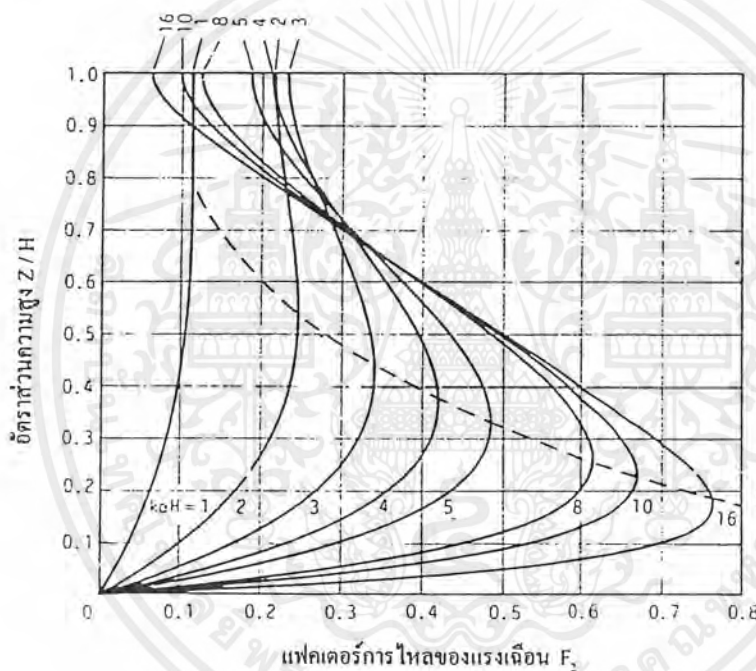
$$q = \frac{wH}{k^2 l} F_2(z/H, k\alpha H) \quad (2.28.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าต่างๆของ shear flow factor F_2 ซึ่งขึ้นอยู่กับ z/H และ $k\alpha H$ นั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7. สำหรับค่าสูงสุดของ $F_2(\max)$ สามารถคำนวณได้จากการคิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ (2.27.) และเส้นโค้งแสดงค่าของ $F_2(\max)$ นั้นแสดงไว้ด้วยเส้นประในรูปที่ 2.7. ค่าสูงสุดของ shear flow ในคานเชื่อมต่อได้แก่

$$q = \frac{wH}{k^2 I} F_2(\max) \quad (2.29.)$$

จากรูปที่ 2.7. จะพบว่าถ้าค่า $k\alpha H$ เพิ่มขึ้นหมายถึง stiffness ในคานเชื่อมต่อจะสูงขึ้นด้วยและตำแหน่งของความเค้นสูงสุดในคานเชื่อมต่อจะเคลื่อนที่ต่ำลง



รูปที่ 2.7. ค่าต่างๆของ shear flow factor F_2

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

2.1.4.4. โมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือน (Wall Moment)

เนื่องจากข้อสมมุติฐานนั้นกำหนดไว้ว่า การแอ่นตัวของผนังรับแรงเฉือนทั้ง 2 นั้นเท่ากัน ดังนั้นโมเมนต์ในแต่ละผนังรับแรงเฉือนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า I ของผนังรับแรงเฉือน ดังนี้

$$M_1 = \frac{I_1}{I} \left[\frac{1}{2} wH^2 \left(1 - \frac{z}{H} \right)^2 - Nl \right] \quad (2.30.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการดังกล่าว สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ F_1 ได้ดังนี้

$$M_1 = \frac{I_1}{I} \frac{1}{2} w H^2 \left[\left(1 - \frac{z}{H}\right)^2 - \frac{2}{k^2} F_1 \right] \quad (2.31.)$$

สำหรับโมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 2 นั้นเท่ากับ

$$M_2 = \frac{I_2}{I} \frac{1}{2} w H^2 \left[\left(1 - \frac{z}{H}\right)^2 - \frac{2}{k^2} F_1 \right] \quad (2.32.)$$

จะเห็นว่าเทอมในวงเล็บ [] แสดงถึงสัดส่วนของโมเมนต์เนื่องจากแรงลมกระทำที่ต้องต้านทานโดยผนังรับแรงเฉือน จะเห็นได้ว่าค่าที่เพิ่มขึ้นของ N และ F_1 จะส่งผลให้โมเมนต์ที่ต้านทานโดยผนังรับแรงเฉือนลดลง

2.1.4.5. การแอ่นตัว (Deflections)

การแอ่นตัวทางข้างสามารถหาได้จากสมการที่ (2.17.) และ (2.24.) ร่วมกับเงื่อนไขขอบเขตดังต่อไปนี้

$$y = \frac{wH^4}{EI} \left[\frac{1}{24} \left\{ \left(1 - \frac{z}{H}\right)^4 + 4 \frac{z}{H} - 1 \right\} + \frac{1}{k^2} \left\{ \left(\frac{1}{2(k\alpha H)^2} \right) \left[2 \frac{z}{H} - \left(\frac{z}{H} \right)^2 \right] - \frac{1}{24} \left[\left(1 - \frac{z}{H}\right)^4 + 4 \frac{z}{H} - 1 \right] - \frac{1}{(k\alpha H)^4 \cosh k\alpha H} \cdot [1 + k\alpha H \sinh k\alpha H - \cosh k\alpha z - k\alpha H \sinh k\alpha (H - z)] \right\} \right] \quad (2.33.)$$

จากสมการดังกล่าวจะพบว่า การแอ่นตัวทางข้างจะแบ่งเป็น 2 เทอม โดยเทอมแรกแสดงถึงลักษณะของคานยื่นสมบูรณ์ (pure cantilever action) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อผนังรับแรงเฉือนถูกเชื่อมยึดแบบ หมุดยึด (pin end) และ เทอมที่ 2 แสดงถึง independent action ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการค้ำยันกลับ

นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตอีกอย่างคือค่า y ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ z/H , k และ αH ซึ่งไม่สามารถสร้างกราฟเส้นเดียวได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาที่ค่าสูงสุดของการแอ่นตัวทางข้าง y_H ที่ตำแหน่งบนสุดของโครงสร้าง โดยที่ผู้ออกแบบมักจะกำหนดค่า y_H/H ไม่ให้เกินค่า 1/500

ที่ตำแหน่งบนสุด, $z/H = 1$ จะได้การแอ่นตัวสูงสุดเท่ากับ

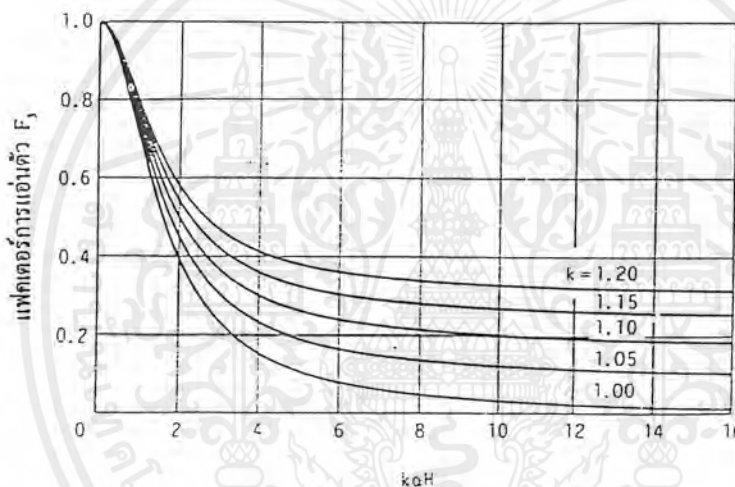
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_H = \frac{wH^4}{8EI} F_3(k, \alpha H)$$

เมื่อ

$$F_3 = 1 - \frac{1}{k^2} \left[1 - \frac{4}{(k\alpha H)^2} + \frac{8}{(k\alpha H)^4 \cosh k\alpha H} (1 + k\alpha H \sinh k\alpha H - \cosh k\alpha H) \right] \quad (2.34.)$$

ค่าต่างๆของ deflection factor (F_3) จะขึ้นอยู่กับ k , $k\alpha H$ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.8. ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าการแอ่นตัวทางข้างจะลดลงมากกว่า 60 % สำหรับค่า $k\alpha H$ มากกว่า 4



รูปที่ 2.8. ค่าต่างๆของ top deflection factor F_3
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

2.1.4.6. แรงต่างๆในโครงสร้างไม่ต่อเนื่อง (Forces in the Discrete Structure)

จากผลลัพธ์ต่างๆที่คำนวณได้นั้นเราคำนวณในรูปของ equivalent continuous system ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงค่าต่างๆให้อยู่ในรูปของโครงสร้างจริง สำหรับค่าแรงเฉือน Q_i ที่ตำแหน่งเชื่อมต่อกับ i ที่ระดับ z_i นั้นสามารถหาได้จากผลต่างของแรงตามแนวแกน N ที่ระดับ $h/2$ เหนือและใต้ระดับที่พิจารณา ดังนี้

$$Q_i = N(z_i - h/2) - N(z_i + h/2) \quad (2.35.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น หรืออาจจะหา Q_i ได้จากการอินทิเกรต shear flow q ตลอดความสูงที่ต้องการ ซึ่งการคำนวณจะยุ่งยากและมีความเสี่ยงต่อการผิดพลาดมากกว่าการใช้สมการ (2.35.) นี้ อย่างไรก็ตามหากต้องการความแม่นยำสูงๆ อาจจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_i = \int_{z_i - h/2}^{z_i + h/2} q dz$$

จากการแทนค่า q จากสมการที่ (2.27.) จะได้

$$Q_i = \frac{wH}{k^2 l} \left\{ \left(1 - \frac{z_i}{H}\right)h + \frac{2H \sinh k\alpha(h/2)}{(k\alpha H)^2 \cosh k\alpha H} [\sinh k\alpha z_i - k\alpha H \cosh k\alpha(H - z_i)] \right\} \quad (2.36.)$$

สำหรับค่าสูงสุดของแรงเฉือนสามารถหาได้จาก shear flow curve F_2 ซึ่งระบุตำแหน่งที่แรงกระทำมากที่สุดซึ่งจะได้ค่าประมาณดังนี้

$$Q_i(\max) \approx w \frac{H}{k^2 l} F_2(\max) h \quad (2.37.)$$

ดังนั้น ค่าสูงสุดของโมเมนต์คดในคานเชื่อมต่อตัวที่ i ที่รอยต่อกับผนังรับแรงเฉือนจะเท่ากับ $Q_i b / 2$

จากสมการที่ (2.31.) และ (2.32.) จะให้การกระจายที่ต่อเนื่องของโมเมนต์คดในผนังรับแรงเฉือนทั้งสอง สำหรับโครงสร้างจริงนั้นการกระจายจะไม่ต่อเนื่อง โดยค่าของ $Q_i b / 2$ จะถูกนำมาใช้ในผนังรับแรงเฉือนที่ตำแหน่งของแต่ละคานเชื่อมต่อ นอกจากนี้ในโครงสร้างที่สมมุติขึ้นมานั้นถึงแม้ว่าจะไม่มีโมเมนต์คดหรือแรงตามแกนที่ตำแหน่งบนสุดของแต่ละผนังรับแรงเฉือน แต่ในโครงสร้างจริงนั้นจะสามารถหาค่าของโมเมนต์คดและแรงตามแนวแกนได้โดยการอินทิเกรตโมเมนต์คดและแรงตามแนวแกนต่อเนื่องตลอดความสูงครึ่งหนึ่งของความสูงชั้นสุดท้ายของโครงสร้าง

2.1.5. วิธีการออกแบบโดยใช้กราฟฟิค (Graphic Design Method)

ในรายละเอียดของที่มาของสมการคิฟเฟอร์เนเชิลสำหรับแรงกระทำซึ่งกระจายอย่างสม่ำเสมอ นั้นแสดงให้เห็นว่า แรงในโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ไม่มีขนาด 2 ตัวคือ ความสูงสัมพัทธ์ z/H และความแข็งแกร่ง (stiffness) $k\alpha H$ ในการหาค่าตอบของสมการนั้นจะอาศัยกราฟในการออกแบบด้วย ซึ่งกราฟนั้นจะแสดงให้เห็นการกระจายของแรงตามแนวแกน N , โมเมนต์คด M_1 หรือ M_2 และ shear flow q ร่วมกับ z/H สำหรับแต่ละค่าของ $k\alpha H$ สำหรับการแ่่นตัวทางข้างนั้นจะขึ้นอยู่กับตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปร 3 คิว แต่เราสามารถใช้กราฟในรูปทั่วไป ช่วยคำนวณได้เนื่องจากเราจะหาเฉพาะการแอ่นตัวทางข้างสูงสุดที่ตำแหน่งบนสุดเท่านั้น

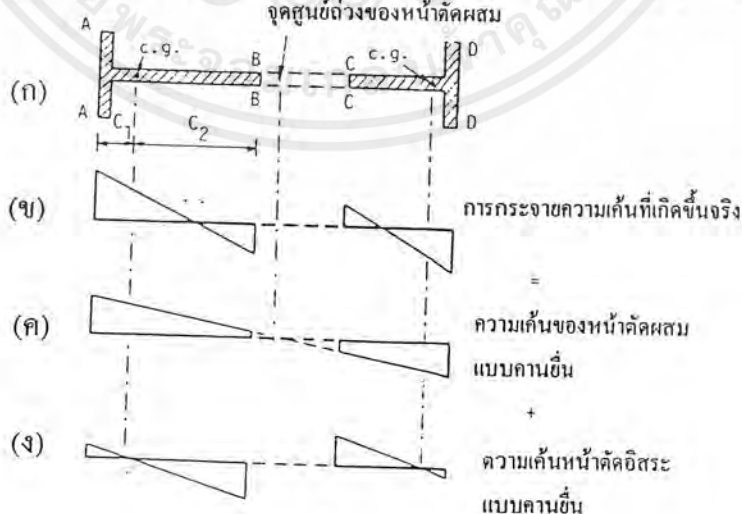
เทคนิคอย่างง่ายในการคำนวณความเค้นในผนังรับแรงเฉือนนั้นมีข้อดีคือ เราสามารถเห็นถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง และผู้ออกแบบยังสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของผนังรับแรงเฉือนร่วมกับคานเชื่อมต่อ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกรณีที่เหมาะสมของระบบ dowelled system

พิจารณาโครงสร้าง Coupled Shear Wall ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.9.(ก) การกระจายของความเค้นในแต่ละหน้าตัดภายใต้โมเมนต์คัต M_1 , M_2 และแรงตามแนวแกน N จะแสดงได้ดังรูป 2.9.(ข) กำหนดให้ความเค้นคิ่งมีเครื่องหมายบวก และ ความเค้นสูงสุดที่ขอบของผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 1 จะเท่ากับ

$$\begin{aligned}\sigma_A &= \frac{M_1 c_1}{I_1} + \frac{N}{A_1} \\ &= \left[\frac{1}{2} w(H-z)^2 - NI \right] \frac{c_1}{I} + \frac{N}{A_1}\end{aligned}\quad (2.38.)$$

$$\begin{aligned}\sigma_B &= -\frac{M_1 c_2}{I_1} + \frac{N}{A_1} \\ &= \left[-\frac{1}{2} w(H-z)^2 - NI \right] \frac{c_2}{I} + \frac{N}{A_1}\end{aligned}\quad (2.39.)$$

ถ้าผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 2 นั้นมีการกระจายความเค้นในลักษณะคล้ายกัน



รูปที่ 2.9. ผลรวมของการกระจายความเค้นเนื่องจาก composite และ individual action

ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้การกระจายของความเค้นที่สมมุติฐานนั้นอาจจะพิจารณาจากการรวมกันของการกระจาย pure bending stress ที่สมมุติขึ้น 2 ตัว ได้แก่ (1) การกระจายความเค้นคดซึ่งอยู่บนพื้นฐานที่สมมุติขึ้นว่าผนังรับแรงเฉือนนั้นมีพฤติกรรมเป็น single composite cantilever ซึ่งมีแกนสะเทินอยู่บนตำแหน่งเส้นทแยงของผนังรับแรงเฉือนทั้งสอง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.9.(ค) และ (2) การกระจายความเค้นเป็นเส้นตรงสองเส้นซึ่งได้จากสมมุติฐานที่ว่าผนังรับแรงเฉือนมีพฤติกรรมเป็น independent cantilevers ซึ่งแกนสะเทินจะอยู่ที่ตำแหน่งเส้นทแยงของแต่ละผนังรับแรงเฉือนซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.9.(ง) การกระจายความเค้นที่แท้จริงนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.9.(ข) ซึ่งได้จากการรวมกันของขนาดการกระจายสมมุติที่เหมาะสมของรูปที่ 2.9.(ค) และ 2.9.(ง) จากวิธีนี้จะพบว่าคำตอบที่ซับซ้อนของโครงสร้าง Coupled Shear Wall จะลดลงเป็นการผสมกันของ simple cantilever

สมมุติค่า K_1 คือเปอร์เซ็นต์ของโมเมนต์เนื่องจากแรงลมทั้งหมด ซึ่งถูกต้านทานโดย independent cantilever action และ K_2 คือเปอร์เซ็นต์ซึ่งถูกต้านทานโดย composite cantilever action และพิจารณาการกระจายความเค้นทั้งสองส่วนดังนี้

1.) Composite Cantilever Action (รูปที่ 2.9.(ค))

โมเมนต์คดทั้งหมดในแต่ละส่วนซึ่งถูกต้านทานโดย composite action คือ

$$M_c = \frac{K_2}{100} \frac{1}{2} w(H-z)^2 \quad (2.40.)$$

จากการคิดสมดุลโมเมนต์ที่ขอบใดขอบหนึ่ง สามารถหาจุดเส้นทแยงร่วมของผนังรับแรงเฉือนทั้งสองได้ ซึ่งพบว่าอยู่ที่ระยะ $(A_2/A) + c_1$ จากขอบ A โดยที่ c_1 คือระยะจากจุด A ไปยังจุดเส้นทแยงของผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 1 (รูปที่ 2.9.(ก)) ดังนั้นจะได้โมเมนต์ความเฉื่อย I_g ของผนังรับแรงเฉือนทั้งสองรอบแกนเส้นทแยงร่วม คือ

$$I_g = I_1 + I_2 + \frac{A_1 A_2}{A} I^2 \quad (2.41.)$$

ดังนั้นความเค้นที่ขอบของผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 1 สำหรับ composite cantilever คือ

$$\sigma_A = \frac{w(H-z)^2}{2I_g} \left(\frac{A_2 I}{A} + c_1 \right) \frac{K_2}{100} \quad (2.42.)$$

และ

$$\sigma_B = \frac{w(H-z)^2}{2I_g} \left(\frac{A_2 I}{A} - c_2 \right) \frac{K_2}{100} \quad (2.43.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความเค้นในผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 2 ก็มีการกระจายเหมือนกัน

2.) Individual Cantilever Action (รูปที่ 2.9.(ง))

จากสมมุติฐานที่เรากำหนดไว้คือการแอ่นตัวทางข้างของผนังรับแรงเฉือนทั้งสองนั้นเท่ากัน ดังนั้นโมเมนต์ที่ผนังรับแรงเฉือนแต่ละตัวต้องต้านทานนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับโมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละผนังรับแรงเฉือน โดยที่โมเมนต์ทั้งหมดที่ถูกต้านทานโดย Individual Cantilever Action คือ

$$\frac{1}{2} w(H-z)^2 \frac{K_1}{100}$$

และโมเมนต์คดในผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 1 และ 2 จะเท่ากับ

$$M_1 = \frac{1}{2} w(H-z)^2 \frac{I_1}{I} \frac{K_1}{100} \quad (2.44.)$$

และ

$$M_2 = \frac{1}{2} w(H-z)^2 \frac{I_2}{I} \frac{K_1}{100} \quad (2.45.)$$

ดังนั้นความเค้นที่ขอบของผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 1 จะเท่ากับ

$$\sigma_A = \frac{M_1 c_1}{I_1} = \frac{1}{2} w(H-z)^2 \frac{c_1}{I} \frac{K_1}{100} \quad (2.46.)$$

$$\sigma_B = -\frac{M_1 c_2}{I_1} = -\frac{1}{2} w(H-z)^2 \frac{c_2}{I} \frac{K_1}{100} \quad (2.47.)$$

สำหรับความเค้นในผนังรับแรงเฉือนตัวที่ 2 ก็มีการกระจายเหมือนกัน

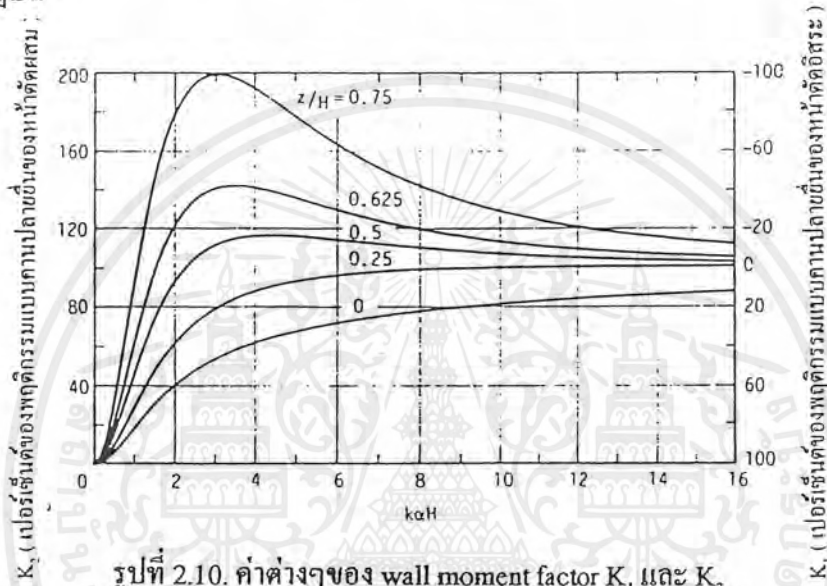
สำหรับค่า individual และ composite cantilever factor K_1 และ K_2 นั้นจะเปลี่ยนแปลงตลอดความสูง ซึ่งเราสามารถคำนวณได้จากความสอดคล้องของความเค้นที่ได้จากสมการทั้งสอง โดยเมื่อแทนค่าแรงตามแนวแกน N จากสมการที่ (2.25.) ในสมการที่ (2.38.) และ (2.39.) แล้วเปรียบเทียบกับสมการที่ (2.42.) บวกกับสมการที่ (2.46.) และสมการที่ (2.43.) บวกกับสมการที่ (2.47.) จะสามารถหาค่า composite cantilever factor K_2 ได้เท่ากับ

$$K_2 = \frac{200}{(k\alpha H)^2 [1 - (z/H)]^2} \left[1 + \frac{\sinh k\alpha H - k\alpha H}{\cosh k\alpha H} \sinh k\alpha (H-z) - \cosh k\alpha (H-z) + \frac{1}{2} (k\alpha H)^2 \left(1 - \frac{z}{H} \right)^2 \right] \quad (2.48.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_1 = 100 - K_2 \quad (2.49.)$$

สำหรับสัดส่วนของ composite และ individual cantilever action ที่ต้องการในการหาความเค้นที่แท้จริงในแต่ละตำแหน่งนั้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ความแข็งแกร่ง $k\alpha H$ และอัตราส่วนความสูง z/H ค่าของ K_1 และ K_2 นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.10. สำหรับช่วงของ $k\alpha H$ ซึ่งครอบคลุมช่วงที่ใช้งานในทางปฏิบัติ



รูปที่ 2.10. ค่าต่างๆของ wall moment factor K_1 และ K_2
ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

2.1.6. การแปลงคานเชื่อมต่อในโครงสร้างให้เป็นคานสมมูล

ในโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ที่มีความสมมาตรของผนังรับแรงเฉือนนั้นจะพบว่าการหมุนของผนังทั้งสองจะเท่ากันทุกระดับความสูงเมื่อเราไม่พิจารณาการเคลื่อนตัวตามแนวแกนของคานเชื่อมต่อ ดังนั้นการหมุนของคานเชื่อมต่อแข็งเกร็งก็จะเท่ากันด้วยซึ่งทำให้เราสามารถแทนคานเชื่อมต่อแข็งเกร็งด้วยคานสมมูลซึ่งมีโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล I_e อันจะส่งผลให้โครงข้อแข็งที่มีเสากว้าง (wide-column frame) กลายเป็นโครงข้อแข็งในระนาบของคานและเสาทั่วไป สำหรับโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล I_e ที่ต้องการของคานสมมูลจะมีความสัมพันธ์กับโมเมนต์ความเฉื่อย I_c ของคานจริงดังรูปที่ 11 จากสมการการเคลื่อนตัวแนวตั้งสัมพัทธ์ δ ของคานจริงและคานสมมูลซึ่งรับแรงเฉือนแนวตั้ง P ขนาดเดียวกันดังสมการ

$$\frac{P}{\delta} = \frac{12 EI_b}{b^3} = \frac{12 EI_e}{l^3} \quad (2.50.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$I_e = \left(\frac{I}{b} \right)^3 I_b = \rho I_b \quad (2.51.)$$

เมื่อ ρ คือตัวประกอบขยายความแข็งแกร่ง (stiffness amplification factor)

ซึ่งจะเท่ากับอัตราส่วนของความยาวระหว่างจุดศูนย์กลางของผนังกับความยาวจริงของคานเชื่อมต่อกำลังสาม



รูปที่ 2.11. การแปลงคานเชื่อมต่อแข็งแกร่งด้วยคานสมมูล

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

สำหรับโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคานนั้นสามารถที่จะนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ได้โดยพิจารณาโครงสร้างเป็นโครงข้อแข็งซึ่งมีคานเชื่อมต่อสมมูลยาว l และมีโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล I_e

ค่าตัวประกอบขยาย ρ ที่ต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับเทอม $(I/b)^3$ โดยในทางปฏิบัติแล้วความกว้างของผนังจะมากกว่าช่วงความยาวคานและค่า I/b จะประมาณ 3 ถึง 5 ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า ρ เท่ากับ 27 ถึง 125 ซึ่งจากทฤษฎีที่กล่าวถึงนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความแข็งแกร่ง (stiffness) ของคานเชื่อมต่อจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก เกือบเป็นผลมาจากผลกระทบของโครงข้อแข็งแบบคานกว้างความแข็งแกร่งของแผ่นพื้นจึงเชื่อมยึดกับผนัง

ในโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคานนั้นในบางครั้งเราอาจใช้ระบบแผ่นพื้น ไร้คาน (flat slab) หรือระบบแผ่นพื้นอัดแรงแบบคานที่หลังร่วมกับผนังรับแรงเฉือน โดยที่แผ่นพื้นนั้นจะทำหน้าที่เสมือนคานเชื่อมต่อระหว่างผนังทั้งสองแทนคานทั่วไป ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นเราสามารถพิจารณาการคานที่ได้นำเสนอไปแล้วในการคำนวณได้โดยพิจารณาถึงความแข็งแกร่งการคานของแผ่นพื้นร่วมด้วย

สำหรับผนังรับแรงเฉือนซึ่งถูกเชื่อมยึดด้วยพื้นนั้นจะมีค่าพารามิเตอร์ความแข็งแกร่ง k_{OH} ค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 1 ถึง 3) ดังนั้นความผิดพลาดของค่าความกว้างประสิทธิผลหรือค่าความแข็งแกร่งของแผ่นพื้นที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยในส่วนของการพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบ เช่น ค่าความเค้นในผนังรับแรงและค่าการแอ่นตัวที่ตำแหน่งบนสุดของโครงสร้าง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำการคำนวณค่าความกว้างประสิทธิผลให้มีความถูกต้องสูงซึ่งต้องใช้การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณที่ซับซ้อน ในกรณีทั่วไปแล้วเราสามารถใช้อนุกรมอย่างง่ายในการคำนวณค่าความกว้างประสิทธิภาพได้ โดยสมการดังกล่าวจะอยู่ในรูปของอัตราส่วนระหว่างความกว้างประสิทธิภาพและความจริงดังต่อไปนี้

$$\text{สำหรับ } 0 \leq b/Y' \leq 1 \quad \frac{Y_e}{Y} = \frac{a}{Y} + \frac{b}{Y} \left(1 - 0.4 \frac{b}{Y'}\right) \quad (2.52.)$$

$$\text{สำหรับ } 1 \leq b/Y' \leq \infty \quad \frac{Y_e}{Y} = \frac{a}{Y} + \frac{Y'}{Y} \left[1 - 0.4 \left(\frac{b}{Y'}\right)^{-1}\right]$$

เมื่อ a คือ ความกว้างของผนังรับแรง

Y คือ ความกว้างช่วงพื้น

$$Y' = Y - a$$

b คือ ความกว้างช่องเปิดระหว่างผนังรับแรง

2.1.7. ความสำคัญของพารามิเตอร์ $k\alpha H$ (Significance of Parameter $k\alpha H$)

ดังที่ได้แสดงไปแล้วว่าแต่ละความสูง z/H นั้น การกระจายของแรงตามแนวแกน , โมเมนต์คดในผนังรับแรงเฉือน และ shear flow ในคานเชื่อมต่อจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ความแข็งแกร่ง $k\alpha H$ ซึ่งสมการของ k และ α นั้นแสดงไว้ในสมการที่ (2.14.) จะได้

$$k\alpha H = \left[\frac{12 I_c I^2}{b^3 h I} \left(1 + \frac{A I}{A_1 A_2 I^2}\right) H^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.53.)$$

สำหรับผนังรับแรงเฉือนที่กำหนดขนาดแน่นอนนั้น ค่าของ $k\alpha H$ จะถูกวัดในรูปของความแข็งแกร่งของคานเชื่อมต่อ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้า I_c เพิ่มขึ้นหรือ clear span b มีค่าลดลง ถ้าคานเชื่อมต่อนั้นไม่พิจารณาความแข็งแกร่ง ($k\alpha H = 0$) นั่นคือโมเมนต์ที่กระทำ (M) จะถูกต้านทานทั้งหมดโดยโมเมนต์คดในผนังรับแรงเฉือนและแรงตามแกน N จะไม่พิจารณา ซึ่งก็คือโครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบผนังอิสระ (linked walls) ถ้าคานเชื่อมต่อนั้นมีความแข็งแกร่งมาก ($k\alpha H = \infty$) โครงสร้างจะมีพฤติกรรมเป็นแบบโครงสร้างผสมแบบยึดแน่น (single composite dowelled beam) ซึ่งการกระจายความเค้นคดนั้นจะเป็นเส้นตรงตลอดทั้งหน้าตัด และความเค้นจะเป็นศูนย์ที่จุดเชื่อมต่อของผนังรับแรงเฉือนทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการกระจายความเค้นสำหรับข้อจำกัดทั้ง 2 กรณีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9.(ค) และ 2.9.(ง) ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของ $K_1 = 100\%$ และ $K_2 = 100\%$ ตามลำดับ

ในทางปฏิบัตินั้นการกระจายของความเค้นนั้นจะอยู่ระหว่างกรณีทั้งสอง เมื่อคานมีความแข็งเกร็ง (stiffness) เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดแรงตามแนวแกนในคานเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเพิ่มส่วนของความเค้นดึงและความเค้นอัดในคานรับแรงเฉือน ทำให้โมเมนต์คัตในคานรับแรงเฉือนลดลง ส่งผลให้ความเค้นคัตในแต่ละคานรับแรงเฉือนลดลง

ค่าของ $k_{\alpha H}$ นั้นจะแสดงถึงวิธีการของการกระทำร่วม (composite action) และจะบ่งชี้ถึงรูปแบบ (mode) ของการคานทานโมเมนต์ภายนอก ถ้า $k_{\alpha H}$ มีค่าน้อย (น้อยกว่า 1) แล้วคานเชื่อมต้องจะถูกพิจารณาในลักษณะยืดหยุ่น (flexible) และโครงสร้างจะมีพฤติกรรมเป็นคานยื่นอิสระ (independent linked cantilevers) ถ้า $k_{\alpha H}$ มีค่ามาก (มากกว่า 8) คานเชื่อมต้องจะถูกพิจารณาในลักษณะแข็งเกร็ง (stiff) และโครงสร้างจะมีพฤติกรรมเป็นโครงสร้างผสม (composite cantilever) ถ้าหาก $k_{\alpha H}$ อยู่ระหว่างนี้ รูปแบบของพฤติกรรมจะเปลี่ยนแปลงไปดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10.



2.2. โครงสร้างปล้องแกน (Core Structures)

ปล้องลิฟท์หรือปล้องแกน(core)เป็นส่วนที่มีความสำคัญในการรับแรงทั้งแรงด้านข้างและน้ำหนักตัวของโครงสร้างอาคารสูง โดยทั่วไปแล้วปล้องแกนจะประกอบด้วยผนังรับแรงเฉือนหลาย ๆ อันมาประกอบกันโดยมีลักษณะคล้ายกล่องซึ่งจะมีบางส่วนที่เป็นช่องเปิดเนื่องจากเป็นช่องใช้งานและบางส่วนซึ่งเป็นช่องปิดเนื่องจากมีพื้นหรือคานสลักกันไปเป็นระยะ ๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.12.(ก),(ข), และ (ค) ด้วยเหตุที่โมเมนต์ความเฉื่อยของปล้องแกนคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่ามาก จึงทำให้สามารถต้านการบิดและการคดจากแรงกระทำด้านข้างได้เป็นอย่างดี

หากอาคารถูกกระทำให้เกิดการบิดขึ้น สติฟเนสในการต้านทานการบิด(torsion stiffness)ของปล้องแกนจะมีนัยสำคัญอย่างมากต่อการต้านทานการบิดและพฤติกรรมของโครงสร้าง หากมองให้ปล้องแกนมีลักษณะเป็นคานปลายยื่นผนังบาง เมื่อเกิดการโก่งบิดของปล้องแกนจะมีพฤติกรรมดังที่แสดงในรูปที่ 2.13. โดยปกติแล้วฐานรากจะถูกออกแบบไว้แบบจุดรองรับยึดแน่น (fixed support) ดังนั้นการโก่งบิดจะทำให้เกิดความเค้นและความเครียด

ส่วนบิดของปล้องแกนจะเกิดจากการที่มีคานหรือแผ่นพื้นเชื่อมผ่านบริเวณที่เป็นช่องเปิด ส่วนบิดเหล่านี้จะมีผลในการควบคุมการโก่งของปล้องแกนและอาคารอย่างมาก เนื่องจากส่วนบิดจะช่วยเพิ่มสติฟเนสของการบิดของปล้องแกนให้มีค่ามากขึ้น จึงช่วยลดการบิดเบี้ยวและความเค้นซึ่งเป็นผลจากการบิดเบี้ยวได้

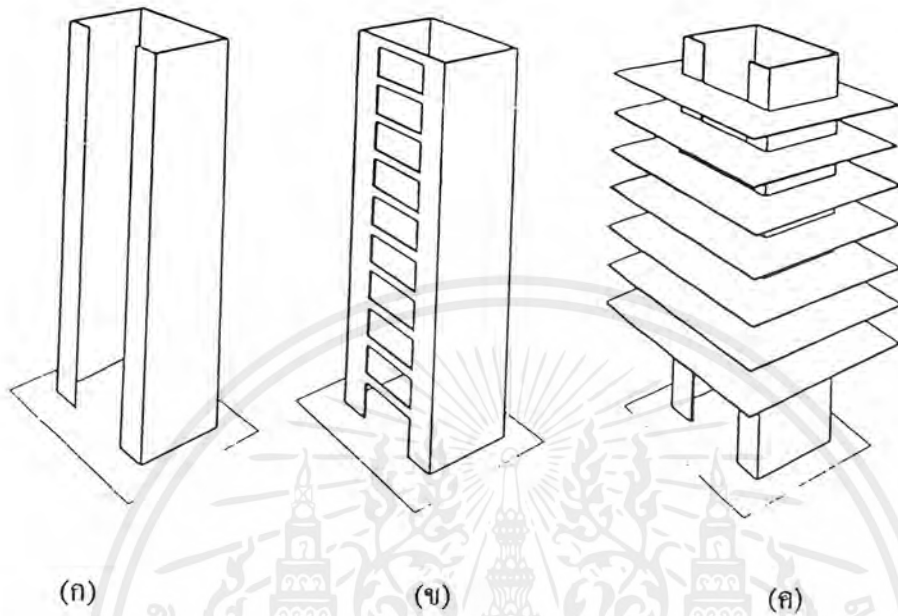
จุดมุ่งหมายในการศึกษาในขั้นนี้ อันดับแรกคือการศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดในการควบคุมการบิดเบี้ยวของปล้องแกน อันดับที่ต้องคือแสดงวิธีการคิดโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์และแผนภูมิในการออกแบบเมื่อรู้ตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็น

2.2.1. พฤติกรรมของการบิดเบี้ยว (Concept of Warping Behavior)

ตัวอย่างที่ง่ายที่สุดในการแสดงถึงพฤติกรรมการบิดเบี้ยว(warping)ของปล้องแกนผนังบางจะใช้ปล้องแกนหน้าตัดรูปตัว I ปลายยื่นโดยส่วนฐานเป็นจุดยึดแน่น(fixed support)เป็นปล้องแกนสาริต เมื่อมีแรงบิดมากระทำที่ส่วนบนสุดของปล้องแกน(ในรูปที่ 2.14.(ก)) เนื่องจากส่วนปีกของปล้องแกน(flange)สองด้านมีขนาดไม่เท่ากันดังนั้นหน้าตัดนี้จึงสมมาตรแกน x เพียงแกนเดียว และสมมติให้ปล้องแกนส่วนเอว(web)มีความชะลูดมากจึงมีผลในการช่วยรับแรงบิดน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้

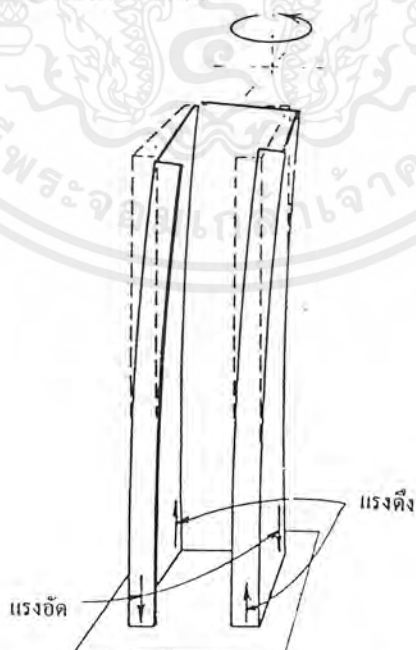
จุดทั้งสองที่อยู่ในรูปที่ 2.14.(ข) เป็นจุดที่มีนัยสำคัญ จุดแรกคือจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัด(center of area, C)ซึ่งเป็นจุดที่มีความสำคัญต่อแรงตามแนวแกนในแนวตั้งเป็นอย่างยิ่ง หากแรง

ตามแนวแกนในแนวตั้งกระทำผ่านจุดนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปตามแนวแกน(axial deformation)เท่านั้น จะไม่เกิดแรงคดใด ๆ และการโก่งตัวในปล้องแกนขึ้น เมื่อกำหนดว่าส่วนเวบ(web)ของแกนมีผล



รูปที่ 2.12. (ก) หน้าตัดปล้องแกนเปิด ; (ข) ปล้องแกนซึ่งยึดด้วยคานบางส่วน ;
(ค) ปล้องแกนซึ่งยึดด้วยพื้นบางส่วน

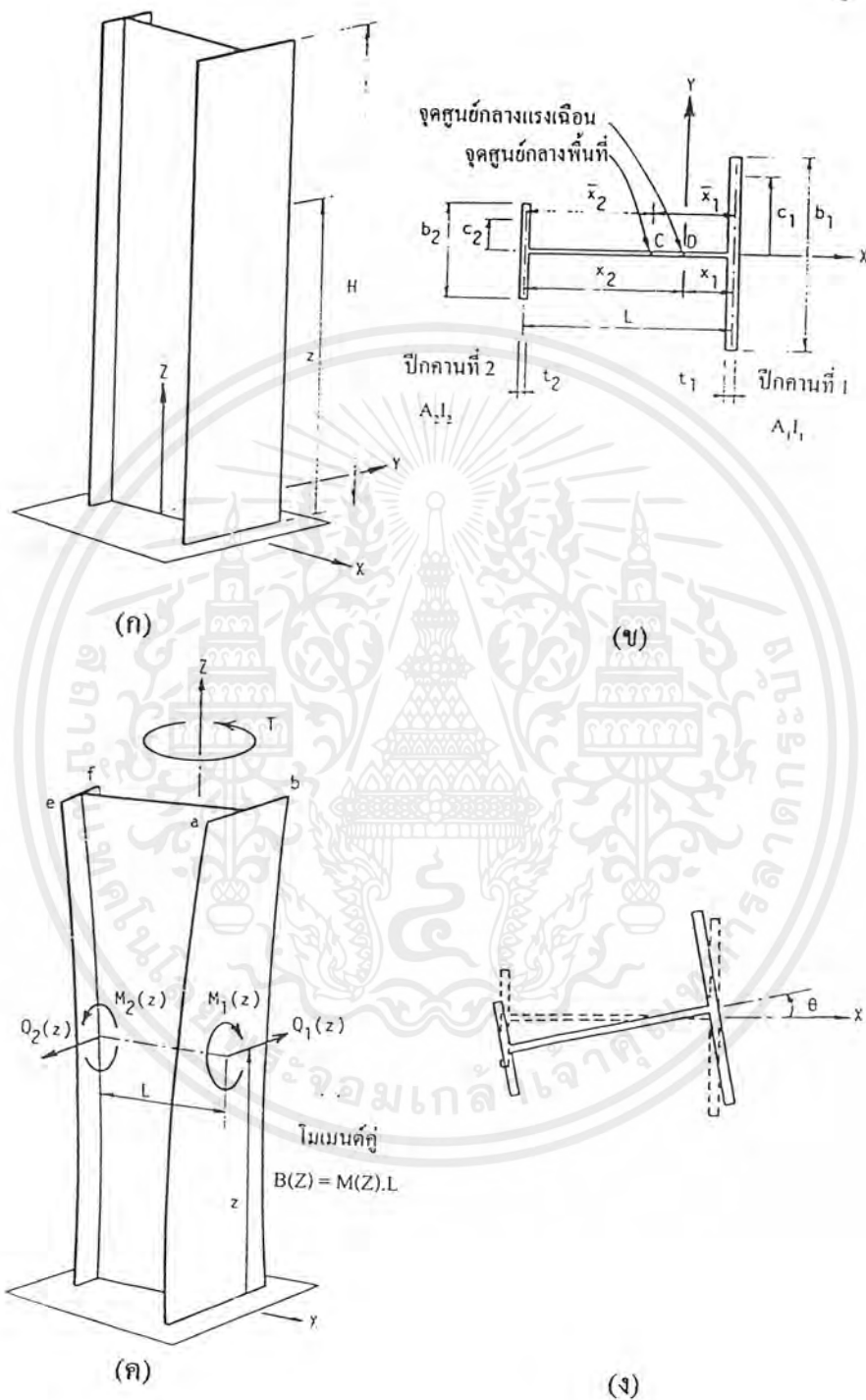
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE



รูปที่ 2.13. การหมุนของปล้องแกน

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14. (ก) ปล้องแกนตัวไอ ; (ข) หน้าตัดปล้องแกน ; (ค) ปล้องแกนรับ โมเมนต์บิด ;

(ง) การบิดของส่วนปีกและเอว

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการรับแรงบิดน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้เมื่อเทียบกับส่วนปีก(flange) จะได้ตำแหน่งของจุด C ตามแนวแกนสมมาตรจาก

$$\bar{x} = \frac{A_2}{A_1 + A_2} L \quad \text{และ} \quad \bar{x} = \frac{A_1}{A_1 + A_2} L \quad (2.54.)$$

ส่วนจุดที่สองได้แก่จุดศูนย์กลางแรงเฉือน(shear center, D) เมื่อแรงตามแนวขวางกระทำผ่านจุดศูนย์กลางแรงเฉือนของหน้าตัดปล่องแกน จะไม่ทำให้เกิดการบิดและบิดเบี้ยว(twist and warp) จะเกิดเพียงการคด(bending)เท่านั้น เราสามารถหาตำแหน่งของจุด D ได้จาก

$$x_1 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} L \quad \text{และ} \quad x_2 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} L \quad (2.55.)$$

จากสมการที่ (2.54.) และ (2.55.) ที่กล่าวมาจะใช้เพื่อหาตำแหน่งของจุดทั้งสองในกรณีทั่วไป แต่ถ้าหน้าตัดของโครงสร้างมีความสมมาตรทั้งสองแกนแล้ว จุดทั้งสองจะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันที่จุดศูนย์กลางความสมมาตร

เมื่อแรงบิด T ตามแนวแกน z กระทำที่ส่วนบนสุดของปล่องแกนในรูปที่ 2.14.(ข) จะเกิดแรงบิดขึ้นในส่วนปีกของปล่องแกนและเกิดการบิดในระนาบหน้าตัดของปล่องแกนขึ้นโดยมีจุดหมุนของระนาบอยู่ที่จุดศูนย์กลางแรงเฉือนดังที่แสดงในรูปที่ 2.14.(ค) และ (ง) ผลจากการเกิดแรงคดในส่วนปีกของปล่องแกนจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในทิศทางตรงกันข้ามบนแกน x หรือเรียกว่าการบิดเบี้ยว(warping)

ที่ระดับความสูง z จากฐานของปล่องแกน แรงบิด T [= T(z)] จะถูกต้านทานไว้โดยแรงบิดคู่ควบ $T_w(z)$ ซึ่งเกิดจากแรงเฉือนในส่วนปีก และแรงบิดคู่ควบ $T_v(z)$ ซึ่งเกิดจากความเค้นเฉือนรอบหน้าตัดของปล่องแกนที่กำลังพิจารณาอยู่ หรือสามารถเขียนเป็นสมการสมดุลได้

$$T_w(z) + T_v(z) = T(z) \quad (2.56.)$$

การหมุนในระนาบหน้าตัดของปล่องแกนที่ความสูง z รอบแกนศูนย์กลางแรงเฉือนจากฐานเป็นมุม $\theta(z)$ จะได้การเคลื่อนตัวในแนวราบในปีกของปล่องแกนส่วนที่ 1

$$y_1(z) = x_1 \theta(z) \quad (2.57.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการหาอนุพันธ์

$$\frac{dy_1}{dz}(z) = x_1 \frac{d\theta}{dz}(z) \quad (2.58.)$$

$$\frac{d^2 y_1}{dz^2}(z) = x_1 \frac{d^2 \theta}{dz^2}(z) \quad (2.59.)$$

$$\frac{d^3 y_1}{dz^3}(z) = x_1 \frac{d^3 \theta}{dz^3}(z) \quad (2.60.)$$

ในปีกส่วนที่สองก็ทำเช่นเดียวกับสมการที่ (2.57.) ถึง (2.60.) จึงขอละไว้

แรงเฉือนร่วมซึ่งเกิดจากการค้ำของส่วนปีกของปล่องแกน 1 และ 2 จะได้มาจาก

$$Q_1(z) = -EI_1 \frac{d^3 y}{dz^3}(z) = -EI_1 x_1 \frac{d^3 \theta}{dz^3}(z) \quad (2.61.)$$

และ

$$Q_2(z) = -EI_2 \frac{d^3 y}{dz^3}(z) = -EI_2 x_2 \frac{d^3 \theta}{dz^3}(z) \quad (2.62.)$$

ดังนั้นแรงบิดคู่ควบ $T_w(z)$ ซึ่งเกิดจากแรงเฉือนในส่วนปีกจะหาได้โดยสมการ

$$T_w(z) = Q_1 x_1 + Q_2 x_2 = -(EI_1 x_1^2 + EI_2 x_2^2) \frac{d^3 \theta}{dz^3}(z) \quad (2.63.)$$

เมื่อ

$$T_w(z) = -EI_\omega \frac{d^3 \theta}{dz^3}(z) \quad (2.64.)$$

เนื่องจาก

$$I_\omega = I_1 x_1^2 + I_2 x_2^2 \quad (2.65.)$$

เราอาจจะอนุมานว่าแรงเฉือนในแนวราบมีความสมดุลจะได้ $Q_1 = Q_2$

I_ω เป็นค่าทางเรขาคณิตของหน้าตัดหรืออาจเรียกว่าโมเมนต์ความเฉื่อยของการบิดเบี้ยว ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการควบคุมการบิดเบี้ยวของปล่องแกน แรงบิดอีกบางส่วนจะถูกต้านทานโดยแรงด้านการบิดตัวของปล่องแกนในส่วนปีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_v(z) = GJ_1 \frac{d\theta}{dz}(z) \quad (2.66.)$$

เมื่อ J คือค่าคงที่การบิดตัว(torsion constant)ของหน้าตัด ซึ่งจะได้มาจากสมการ

$$J_1 = \frac{b_1 t_1^3}{3} + \frac{b_2 t_2^3}{3} \quad (2.67.)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.64.) และ (2.66.) แทนลงในสมการ (2.56.)

$$-EI_w \frac{d^3\theta}{dz^3}(z) + GJ_1 \frac{d\theta}{dz}(z) = T \quad (2.68.)$$

สมการที่ (2.68.) เป็นสมการพื้นฐานในการควบคุมการเกิดการบิดเบี้ยวในปล่องแกน พิจารณาความเค้นในผนังซึ่งเกิดจากการคดตัว ความเค้นอัดซึ่งเกิดขึ้นในปีก 1 ที่ระยะ c_1 จากแกน x และความสูง z จากฐาน จะได้

$$\sigma_1(c_1, z) = \frac{M_1(z)}{I_1} c_1 \quad (2.69.)$$

และจะได้ความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในปีก 2 ที่ระยะ c_2 จากแกน x เป็น

$$\sigma_2(c_2, z) = \frac{M_2(z)}{I_2} c_2 \quad (2.70.)$$

ทำการปรับรูปด้วยการคูณเศษส่วนซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ในสมการที่ (2.69.)

$$\frac{L}{(x_1 + x_2)} \frac{x_1}{x_1}$$

ซึ่งเมื่อ $Q_1 = Q_2$ และ โมเมนต์ในปีกของปล่องแกน $M_1 = M_2 = M$

$$\sigma_1(c_1, z) = \frac{M(z) L x_1 c_1}{I_1 x_1^2 + I_2 x_1 x_2} \quad (2.71.)$$

และจากสมการที่ (2.55.)

$$I_1 x_1 x_2 = I_2 x_2^2 \quad (2.72.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

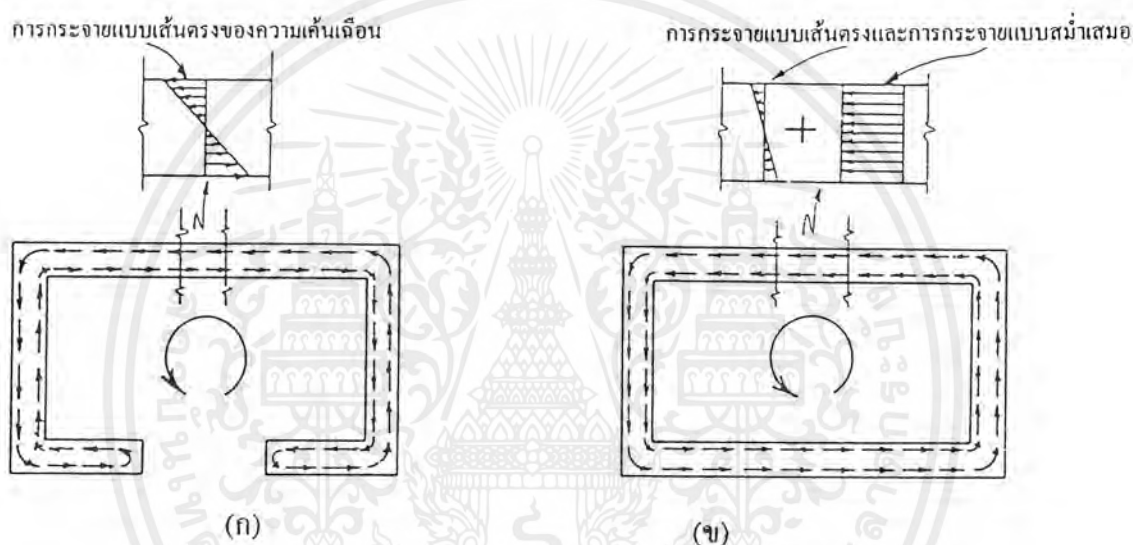
นำสมการที่ (2.72.) แทนลงในสมการที่ (2.71.)

$$\sigma_1(c_1, z) = \frac{B(z)\omega(c_1)}{I_\omega} \quad (2.73.)$$

หรือ

$$\sigma_1(c_1, z) = \frac{M(z)Lx_1c_1}{I_1x_1^2 + I_1x_2^2} \quad (2.74.)$$

$B(z) [= M(z)L]$ หรือโมเมนต์คู่ (bimoment) เกิดจากแรงคู่ควบซึ่งมีขนาดเท่ากันและอยู่ในระนาบที่ขนานกัน และ $\omega(c_1) (= x_1c_1)$ หรือพิกัดทางเรขาคณิตของตำแหน่งต่าง ๆ ในหน้าตัด



รูปที่ 2.15. (ก) ความเค้นการบิดในหน้าตัดเปิด ; (ข) ความเค้นการบิดในหน้าตัดปิด
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

2.2.2. การหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของหน้าตัดซึ่งมีผลต่อการควบคุมการบิดเบี้ยวของปล้องแกน

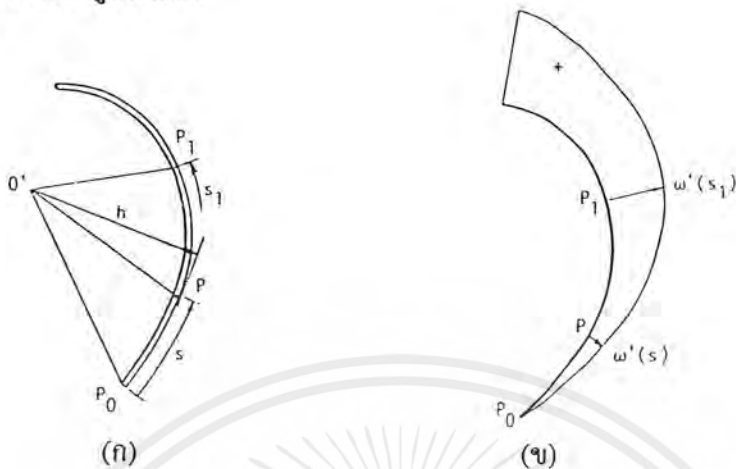
2.2.2.1. Sectorial Coordination ω'

เป็นตัวแปรซึ่งแสดงถึงขอบเขตของผลที่เกิดขึ้น(เช่นการเคลื่อนตัว ความเค้นและความเครียด) ณ จุดต่าง ๆ บนหน้าตัด ω' เป็นผลจากความสัมพันธ์ของโปรเจกชัน (projection, h) ของระยะจากตำแหน่ง (p) ต่าง ๆ ในหน้าตัดถึงจุดเริ่มต้นสมมุติ (O') ซึ่งหาได้จาก

$$\omega'(s) = \int h ds \quad (2.75.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.16.



รูปที่ 2.16. (ก) รูปตัดของหน้าตัด ; (ข) sectorial coordinate (ω') diagram
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

2.2.2.2. Shear Center

เป็นจุดซึ่งหากมีแรงในแนวขวางกระทำผ่านจะไม่ก่อให้เกิดการบิดเบี้ยวของหน้าตัดในระนาบขวางนั้น ๆ โดยทั่วไปปล้องแกนของอาคารมักมีการออกแบบให้มีความสมมาตรหนึ่งหรือสองแกน สำหรับการสมมาตรสองแกนของหน้าตัดจุดศูนย์กลางแรงเฉือนจะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดนั้น ๆ ส่วนหน้าตัดที่สมมาตรเพียงแกนเดียวจะมีจุดศูนย์กลางแรงเฉือนอยู่บนแกนสมมาตร แต่สำหรับหน้าตัดซึ่งไม่สมมาตรแกนใดเลยการหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงเฉือนจะทำให้ยากและจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ยกตัวอย่างจากรูปที่ 2.17.(ก) สามารถหาจุดศูนย์กลางแรงเฉือนได้ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1) หาฟังก์ชันของ ω' (ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.17.(ข) ด้วยการรวมอนุพันธ์ตามสมการที่ (2.75.)

ขั้นตอนที่ 2) หาฟังก์ชันระยะจากแกน x (ระยะ y) ในแต่ละตำแหน่งในหน้าตัด (ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.17.(ค)) จากนั้นทำการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของฟังก์ชัน ω' รอบแกน x (แทนด้วย $I_{\omega'x}$)

$$I_{\omega'x} = \int_A \omega' y dA \quad (2.76.)$$

ซึ่ง $dA = t ds$ โดย t คือความหนาของผนังปล้องแกน และ ds คือความยาวของจุดหนึ่ง

ๆ ที่สั้นที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3) หาโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดรอบแกนหลัก x (I_{xx}) โดยวิธีทั่วไป

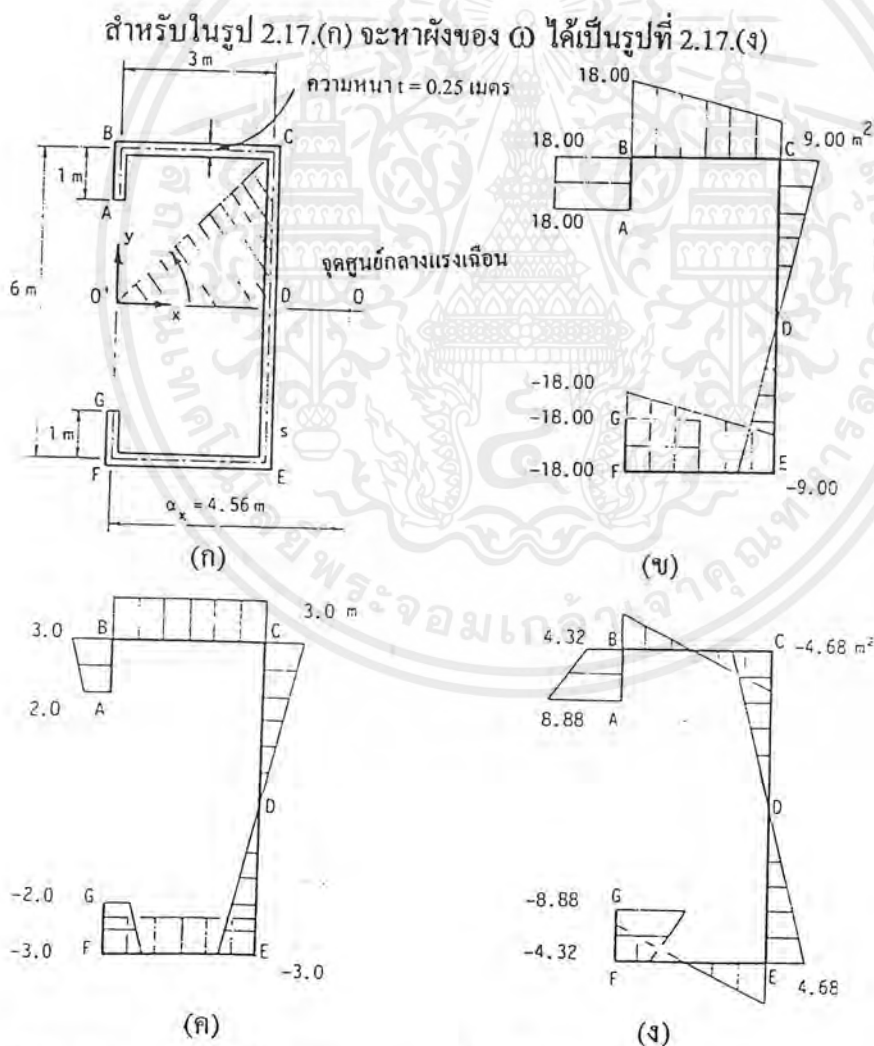
ขั้นตอนที่ 4) หาระยะทางจากจุดเริ่มต้นสมมุติ (O') ไปยังจุดศูนย์กลางแรงเฉือน (α_x) จาก

$$\alpha_x = \frac{I_{dx}}{I_{xx}} \quad (2.77.)$$

2.2.2.3. Principal Sectorial Coordinate (ω)

จะหาได้จาก

$$\omega = \omega' - \alpha_x y \quad (2.78.)$$



รูปที่ 2.17. (ก) หน้าตัดปล่องแกนสมมาตรด้านเดียว ; (ข) ω' diagram ; (ค) y diagram ;

(ง) principal sectorial ω diagram

เอกสารนี้ TALL BUILDING STRUCTURE เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4. Sectorial Moment of Inertia I_ω

เป็นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของผ้ง ω ซึ่งหาได้จาก

$$I_\omega = \int^A \omega^2 dA \quad (2.79.)$$

2.2.2.5. The Torsion Constant J

เมื่อส่วนที่เป็นช่องเปิดของปล่องแกนถูกกระทำโดยแรงบิด (ในรูปที่ 2.15.(ก)) ผ้งแต่ละด้านของปล่องแกนจะเกิดการบิดและคด การกระจายของความเค้นในแนวขวางของหน้าตัดจะมีการไหลของความเค้นเฉือนในสองทิศทางตรงข้ามกัน ผลจากการไหลสวนทางกันของความเค้นเฉือนจะทำให้หน้าตัดที่สามารถรับความเค้นเฉือนได้ มีเพียงสองในสามของความหนาทั้งหมด ค่าคงที่ของการบิด (Torsion Constant) สำหรับส่วนที่เกิดการบิด

$$J_1 = \frac{1}{3} \sum b t^3 \quad (2.80.)$$

ซึ่ง b เป็นความกว้าง, t เป็นความหนา, และ n คือจำนวนผ้งซึ่งประกอบกันในหน้าตัด ความแข็งแกร่ง (rigidity) ของค่อการบิดในช่องเปิดเป็น GJ_1

เมื่อช่องปิดถูกกระทำโดยแรงบิด (แสดงในรูปที่ 2.15.(ข)) ความต้านทานต่อการบิดเบี่ยงจะเกิดจากความเค้นเฉือนซึ่งไหลในหน้าตัด จากรูปจะพบว่าช่องปิดจะมีการไหลของความเค้นเฉือนในทิศทางเดียวทั้งหน้าตัด ดังนั้นความสามารถในการต้านทานการบิดเบี่ยงของหน้าตัดจะมากกว่าในช่องเปิดมาก

$$J_2 = \frac{\Omega}{\oint ds/t} \quad (2.81.)$$

เมื่อ Ω เป็น 2 เท่าของพื้นที่ของส่วนที่ถูกปิดล้อมโดยช่องปิด

ดังนั้นเมื่อในปล่องแกนประกอบด้วยส่วนที่เป็นช่องปิดและส่วนที่เป็นช่องเปิดจะได้ค่า

J รวมเท่ากับ

$$J = J_1 + J_2 = \frac{1}{3} \sum b t^3 + \frac{\Omega}{\oint ds/t} \quad (2.82.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3. ทฤษฎีสำหรับกำหนดการบิดเบี้ยวของปล้องแกนที่มีหน้าตัดคงที่เมื่อเกิดการบิด

2.2.3.1. การสร้างสมการอนุพันธ์เพื่อใช้ในการควบคุมการบิดตัวของปล้องแกน

พิจารณาปล้องแกนในรูปที่ 2.18. ซึ่งเป็นเสมือนคานาปลายยื่นในแนวตั้งซึ่งมีจุดรองรับที่ฐานแบบยึดแน่นและถูกกระทำโดยโมเมนต์กระจาย $m(z)$ ที่ความสูง z จากฐาน จากสมการที่กล่าวไปแล้ว

$$T_w(z) + T_v(z) = T(z)$$

แรงบิดซึ่งเกิดในผนังส่วนที่เกิดแรงคดจากการบิดเบี้ยวเป็น

$$T_v(z) = GJ \frac{d\theta}{dz}(z) \quad (2.83.)$$

แทนสมการที่ (2.64.) และ (2.83.) ลงในสมการที่ (2.56.) จะได้สมการอนุพันธ์พื้นฐาน

$$-EI_\omega \frac{d^3\theta}{dz^3}(z) + GJ \frac{d\theta}{dz}(z) = T(z) = \int_z^H m dz \quad (2.84.)$$

ทำการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (2.84.) เพื่อกำจัดพจน์ซึ่งมีการรวมอนุพันธ์(Integrate) และหารสมการทั้งหมดด้วย EI_ω จะได้

$$\frac{d^4\theta}{dz^4}(z) - \alpha^2 \frac{d^2\theta}{dz^2}(z) = \frac{m(z)}{EI_\omega} \quad (2.85.)$$

โดยที่

$$\alpha^2 = \frac{GJ}{EI_\omega} \quad (2.86.)$$

สมการที่ (2.85.) เป็นสมการอนุพันธ์ลักษณะเฉพาะ(Characteristic Differential Equation)ซึ่งแทนพฤติกรรมการบิดเบี้ยวของปล้องแกน

2.2.3.2. การหาผลเฉลยสำหรับโมเมนต์กระจายแบบคงที่

ตามสมการซึ่งมีการพิสูจน์ไว้ในเรื่องผนังรับแรงเฉือน(wall-frame) ผลเฉลยของการหมุนเมื่อมีโมเมนต์กระจายแบบคงที่ m กระทำกับปล่องแกนจะได้ว่า

$$\theta(z) = C_1 + C_2 z + C_3 \cosh \alpha z + C_4 \sinh \alpha H - \frac{mz^2}{2EI_\omega \alpha^2} \quad (2.87.)$$

กำหนดเงื่อนไขของเขตสำหรับหาค่าคงที่ C_1 ถึง C_4

1. ที่ฐานซึ่งเป็นจุดรองรับแบบยึดแน่น

$$\theta(0) = \frac{d\theta}{dz}(0) = 0 \quad (2.88.)$$

2. เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของการบิดที่จุดยอดมีค่าเป็นศูนย์

$$\frac{d^2\theta}{dz^2}(H) = 0 \quad (2.89.)$$

เมื่อ โมเมนต์ที่จุดบนสุดมีค่าเป็นศูนย์

$$-EI_\omega \frac{d^3\theta}{dz^3}(H) + GJ \frac{d\theta}{dz} = 0 \quad (2.90.)$$

นำสมการที่ (2.88.), (2.89.) และ (2.90.) มาหาผลเฉลยของค่าคงที่ C_1 ถึง C_4 ในสมการที่ (2.87.)

$$\theta(z) = \frac{mH^4}{EI_\omega} \left\{ \frac{1}{(\alpha H)^4} \left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H} (\cosh \alpha z - 1) - \alpha H \sinh \alpha z \right] + (\alpha H)^2 \left[\frac{z}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{H} \right)^2 \right] \right\} \quad (2.91.)$$

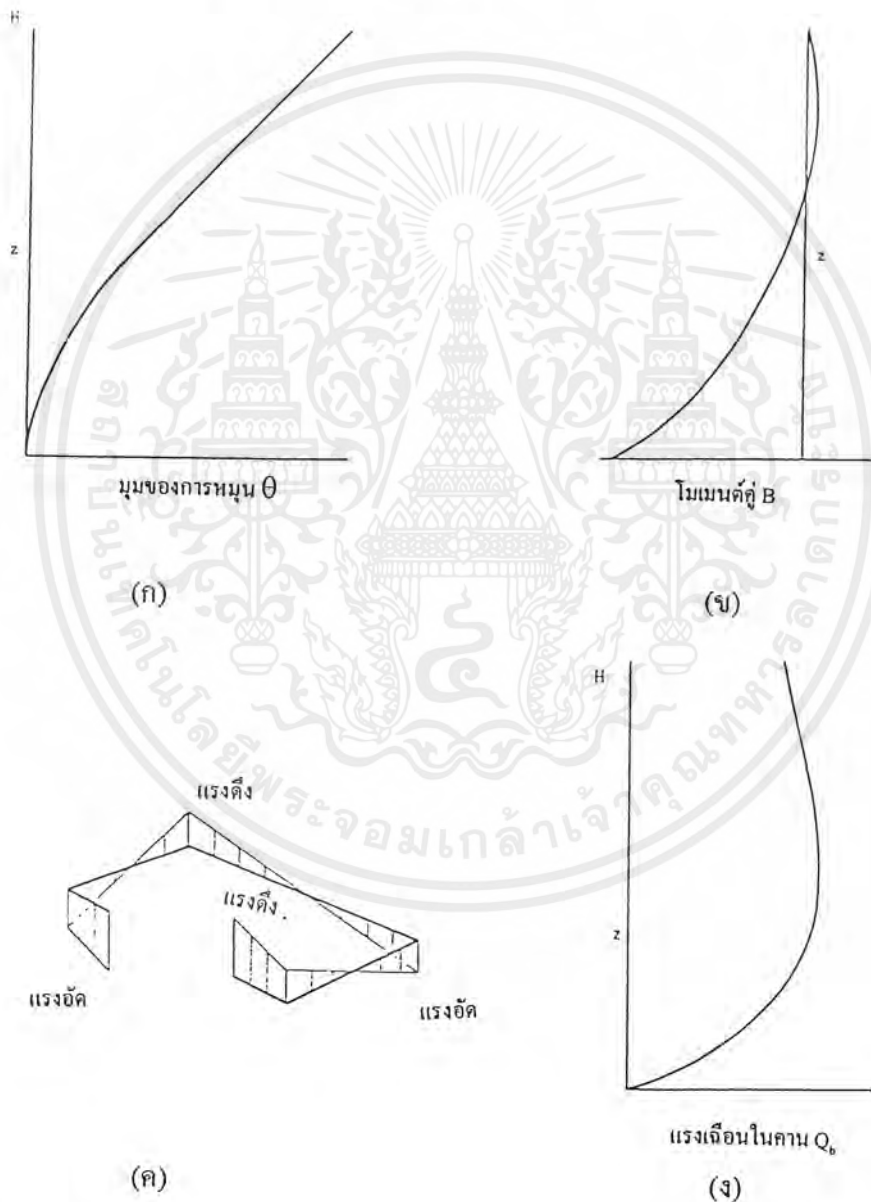
จากสมการที่ (2.91.) จะพบว่า ในแต่ละพจน์จะมีความสัมพันธ์กับค่า αH ทั้งสิ้น โดยที่

$$\alpha H = H \sqrt{\frac{GJ}{EI_\omega}} \quad (2.92.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3. ความเค้นซึ่งเกิดจากการบิดเบี้ยว (Warping Stress)

ความเค้นซึ่งเกิดจากการบิดเบี้ยวมีความสำคัญต่อผู้ออกแบบเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นความเค้นในแนวตั้งของผนังปล่องแกน ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อของพื้น คาน หรือแม้แต่ว่าส่วนที่เป็นช่องเปิดของปล่องแกน เราจะต้องทราบถึงผลของแรงเฉือนและแรงดัดที่จุดเชื่อมต่อขององค์อาคารเหล่านั้น เพื่อใช้ในการออกแบบให้จุดนั้น ๆ สามารถทนต่อแรงต่าง ๆ ได้อย่างเพียงพอ



รูปที่ 2.18. (ก) การหมุนของปล่องแกน ; (ข) โมเมนต์คู่ในปล่องแกน ; (ค) ความเค้นบิดเบี้ยวในปล่องแกน ; (ง) แรงเฉือนในคานของปล่องแกนหน้าตัดเปิด

ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักของการเกิดการบิดเบี้ยวคือโมเมนต์คู่ (bimoment) โดยโมเมนต์คู่ในผนังส่วนหนึ่ง ๆ จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดความเค้นในแนวคิ่งในผนังส่วนนั้น(เสมือนว่าเป็นแรงค้ำซึ่งเกิดขึ้นในลาน) โดยโมเมนต์คู่หาได้จาก

$$B(z) = -EI_{\omega} \frac{d^2 \theta}{dz^2}(z) \quad (2.93.)$$

ทำการหาอนุพันธ์อันดับที่สองของสมการที่ (2.91.) เพื่อแทนในสมการที่ (2.93.) เพื่อใช้ในการหาค่าของโมเมนต์คู่

$$B(z) = -mH^2 \left\{ \frac{1}{(\alpha H)^2} \left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H} (\cosh \alpha z) - \alpha H \sinh \alpha z - 1 \right] \right\} \quad (2.94.)$$

การเคลื่อนตัวในแนวคิ่ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของปล่องแกนสามารถหาได้จาก

$$w(s, z) = -\omega(s) \frac{d\theta}{dz}(z) \quad (2.95.)$$

ความเครียดในแนวคิ่ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของปล่องแกนสามารถหาได้จาก

$$\theta(s, z) = \frac{dw}{dz}(s, z) = -\omega(s) \frac{d^2 \theta}{dz^2}(z) \quad (2.96.)$$

ความเค้นอัดในแนวคิ่ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของปล่องแกนสามารถหาได้จาก

$$\sigma(s, z) = E \theta(s, z) = -E \omega(s) \frac{d^2 \theta}{dz^2}(z) \quad (2.97.)$$

หรือ

$$\sigma(s, z) = \frac{B(z)\omega(s)}{I_{\omega}} \quad (2.98.)$$

2.3. โครงสร้างแบบปล้อง (Tubular Structure)

โครงสร้าง Tube เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกับโครงข้อแข็งทั่วไป โดยช่วงเสา รอบนอกของโครงสร้างนั้นจะค่อนข้างถี่เพื่อให้พฤติกรรมของโครงสร้างเข้าใกล้กับพฤติกรรมของคาน ปลายยื่นขนาดใหญ่ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานของโครงสร้างส่วนอื่นลดลงได้

2.3.1. พฤติกรรมของโครงสร้างแบบปล้อง

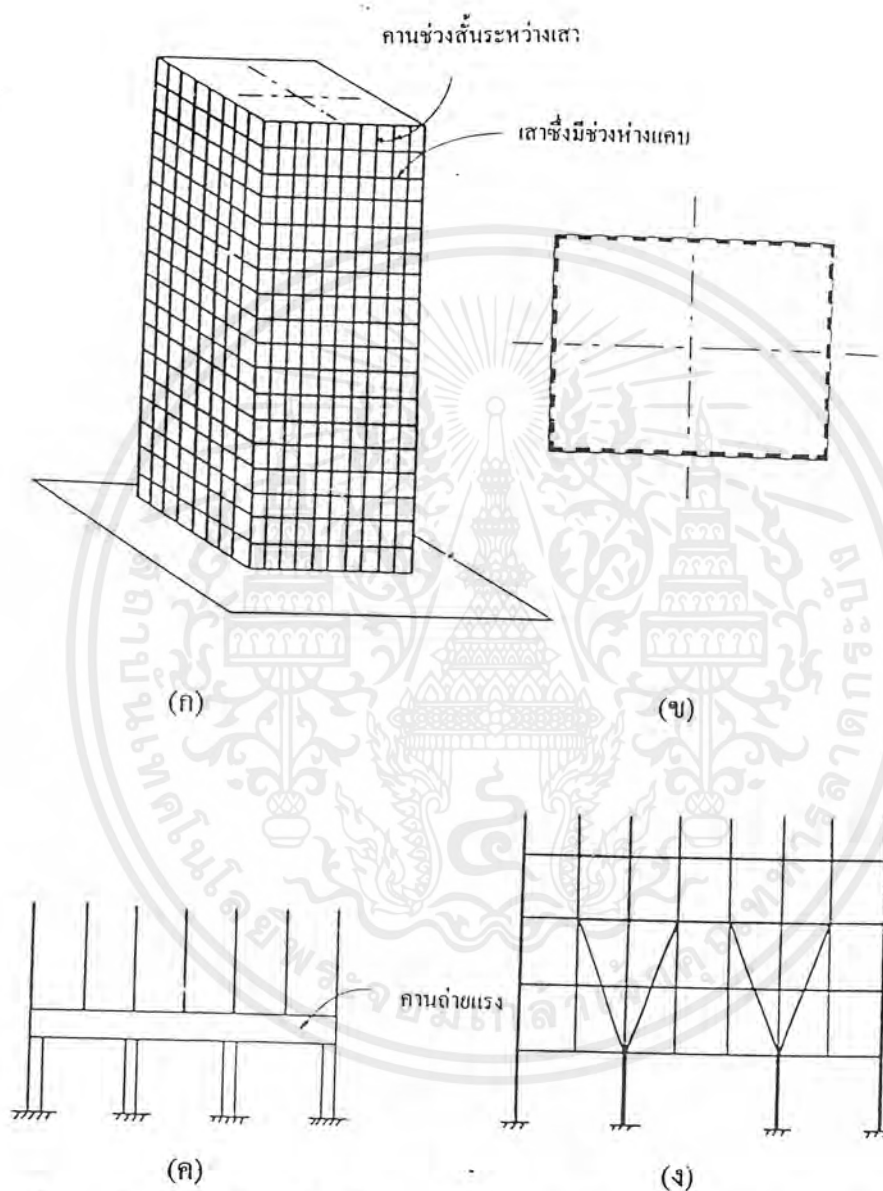
ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของโครงสร้างแบบปล้องชนิดต่าง ๆ เมื่อมีแรงลมมากระทำด้านข้าง ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

2.3.1.1. โครงสร้างโครงข้อแข็งแบบปล้อง (Frame-Tubed Structure)

เป็นโครงสร้างแบบปล้องที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด โครงสร้างหลักของอาคารถูกสร้างขึ้นจากโครงข้อแข็ง 4 ชุดประกอบกันเป็นปล้องดังรูปที่ 2.19.(ก) เสาแต่ละต้นของโครงข้อแข็งจะถูกเชื่อมต่อโดยคานย่อยที่ระดับพื้นของทุก ๆ ชั้น เมื่อเกิดแรงดัด(bending moment)กระทำต่อตัวอาคาร แรงตามแกนซึ่งเกิดจากแรงดัดจะถูกถ่ายลงที่เสาของในโครงข้อแข็งด้านที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงลมทั้งหมด เสาในส่วนนี้จะต้องสามารถรับแรงตามแกนที่เกิดขึ้นรวมทั้งน้ำหนักของตัวอาคารบางส่วนได้ทั้งหมดอย่างเพียงพอ โครงสร้างในส่วนนี้ เป็นส่วนที่ทำให้ความเฉื่อย(Inertia)ของอาคารมีค่ามากที่สุด ในหลาย ๆ อาคารที่มีการใช้ระบบโครงสร้างแบบปล้องจะออกแบบโดยให้เสาของโครงข้อแข็งในส่วนนอกรับเพียงแต่ผลเนื่องจากแรงลม สำหรับโครงข้อแข็งซึ่งอยู่บนระนาบซึ่งขนานกับทิศทางของแรงลม จะมีหน้าที่ต้านทานแรงเฉือนในแนวราบซึ่งเกิดจากแรงลมเท่านั้น จากแนวคิดดังกล่าวนี้ เมื่อพิจารณาจะพบว่าโครงสร้างอาคารโดยรวมมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับคานปลายยื่น (Cantilever Beam) ในแนวตั้ง โดยโครงข้อแข็งส่วนที่ต้านทานแรงซึ่งเป็นผลมาจากแรงดัด(ส่วนด้านที่ตั้งฉากกับแรงลม)จะมีพฤติกรรมคล้ายปีกคาน(Flanges) และโครงข้อแข็งส่วนที่ขนานกับแรงลมจะมีพฤติกรรมคล้ายกับเอว(web)ของคาน สำหรับแรงในแนวตั้งเนื่องจากน้ำหนักของอาคารบางส่วนจะถูกรับโดยเสารอบนอกและบางส่วนจะถูกรับโดยเสาและโครงสร้างพิเศษภายในตัวอาคาร ถึงแม้ว่าโครงสร้างแบบปล้องโดยทั่วไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยม แต่เราก็สามารถนำแนวคิดเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบโครงสร้างแบบปล้องซึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปอื่น ๆ เช่น วงกลม สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู และรูปแบบอื่น ๆ ได้เช่นกัน

เนื่องจากโครงสร้างแบบปล้องจะต้องมีเสาอยู่โดยรอบและระยะห่างของแต่ละเสามีไม่มากนัก ในบางครั้งจึงเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานและทางสถาปัตยกรรม ดังนั้นในอาคารหลาย ๆ หลัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งประสบปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการปรับเปลี่ยนแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีต่างๆ เช่น การสร้างคานขนาดใหญ่ หรือการใช้เสาเอียงเพื่อที่จะถ่ายน้ำหนักจากเสาด้านบนลงสู่เสาด้านล่างซึ่งมีช่วงห่างมากกว่า ดังที่แสดง ในรูปที่ 2.19.(ค) และ 2.19.(ง)

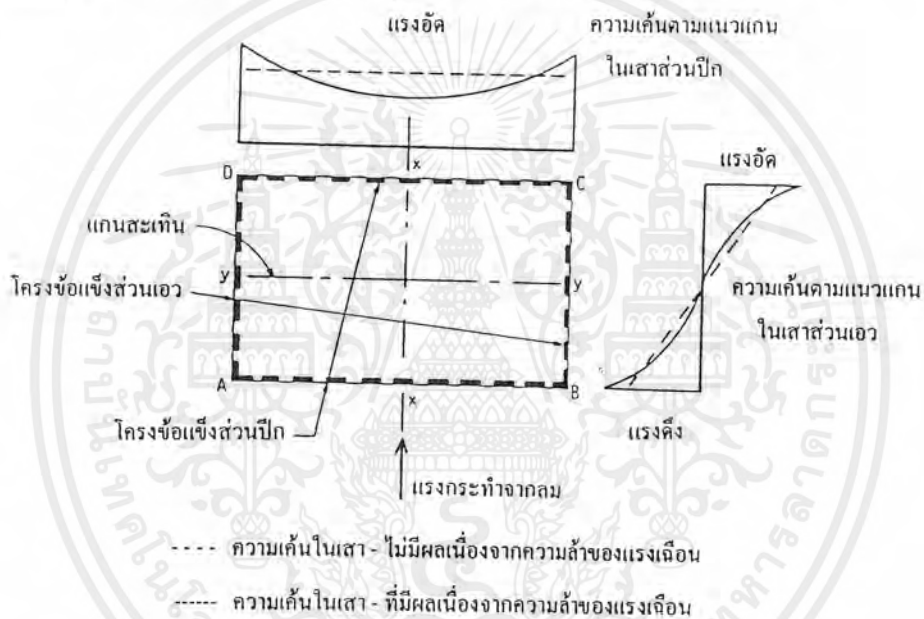


รูปที่ 2.19. โครงสร้างโครงข้อแข็งแบบปล่อง (ก) รูปด้าน ; (ข) แปลนโครงสร้าง ;
(ค) คานถ่ายแรงที่ฐานล่าง ; (ง) เสาถ่ายแรงในโครงสร้าง

ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

ลักษณะของพฤติกรรม (Mode of Behavior) ถึงแม้ว่าโครงสร้างแบบปล่องโครงข้อ
แข็งจะมีความซับซ้อนมากกว่าปล่องปิดทึบและมีค่าสถิติในส้นน้อยกว่าแต่เมื่ออยู่ภายใต้อิทธิพลของแรง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืบเนื่องจากแรงลม แต่พฤติกรรมของโครงสร้างโดยรวมก็ยังมีลักษณะเหมือนกับพฤติกรรมของคาน ปลายยื่นในแนวดิ่ง โดยเสาของโครงข้อแข็งที่อยู่ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับแรงลมจะมีเสาของโครงข้อแข็ง ด้านหนึ่งรับแรงอัดตามแกนและอีกด้านซึ่งตรงข้ามกันจะรับแรงดึงตามรูปที่ 2.20. ในโครงข้อแข็งด้านที่ ขนานกับแรงลม(ด้าน AB และ BC ในรูปที่ 2.20. จะต้องรับทั้งผลจากแรงคืบและผลจากแรงเฉือนรวม กัน ความซับซ้อนของแรงในส่วนนี้เป็นปัจจัยซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคานซึ่งเชื่อมระหว่างเสา แต่ละต้นของโครงสร้าง และแรงเฉือนในคานนี้ยังจะส่งผลให้เกิดความล้าเนื่องจากแรงเฉือน(shear lag) ในเสาค้นที่เชื่อมต่อกับคานอีกด้วย ผลที่ได้ทำให้ความเค้นตามแนวแกนในเสาค้นมุมของโครงสร้างมีค่า เพิ่มขึ้นจากผลที่คาดคะเนได้ในทางทฤษฎีและความเค้นที่เสาค้นฉุดเข้ามาในปีก(flanges , ด้าน AB และ CD)ของอาคารมีความเค้นลดลง ดังที่แสดงโดยเส้นทึบในรูปที่ 2.20.

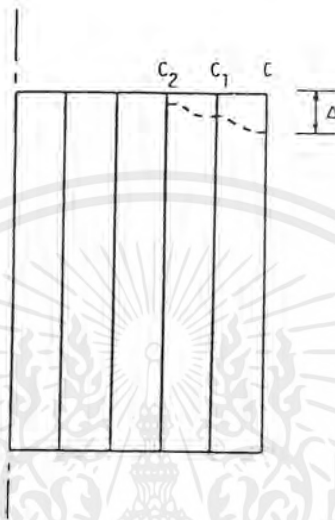


รูปที่ 2.20. การกระจายความเค้นตามแนวแกนในเสาของโครงสร้างโครงข้อแข็งแบบปล่อง
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เมื่อมีแรงตามแกนกระทำที่เสาจะทำให้เกิดการทรุดตัวของเสาขึ้น แต่จากการที่เสาค้นมุม และเสาค้นที่ฉุดเข้ามาตามแกน y ของโครงข้อแข็งส่วนปีกมีความเค้นไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดการทรุดตัว ของเสาแต่ละต้นมีไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่นเมื่อเสา C ,C1 และ C2 ในรูปที่ 2.21. เป็นเสาในแนวโครงข้อ แข็งส่วนปีกและเชื่อมกันโดยคานย่อยที่ระดับพื้นของทุก ๆ ชั้น (ในกรณีที่เป็นโครงสร้างแบบปล่อง เดี่ยว) เสาค้นที่อยู่นอกสุด C จะได้รับแรงเฉือนในแนวดิ่งซึ่งถ่ายมาจากโครงข้อแข็งด้านเอวของอาคาร แรงในส่วนนี้จะถูกส่งผ่านไปยังเสาค้นฉุดไปของโครงข้อแข็งส่วนปีกโดยคานเชื่อมย่อย ดังนั้นการถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเฉือนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสติฟเนสและความยืดหยุ่น (flexible) ของคานเชื่อมข้อย ซึ่งโดยปกติแล้วคานเชื่อมข้อยจะมีความยืดหยุ่นทำให้การถ่ายแรงเฉือนในแนวดิ่งไม่สามารถทำได้ทั้งหมด ดังนั้นแรงตามแกนในเสาชั้นนอกสุดจึงมีค่ามากกว่าเสาชั้นที่ถัดเข้ามาและมีค่าน้อยที่สุดที่เสาชั้นกลางของโครงข้อแข็งส่วนปีก ดังนั้นแรงตามแนวแกนของเสาชั้นนอกสุด C จะมีค่ามากกว่าเสา C1 และ C2 ตามลำดับ ทำให้เสาแต่ละต้นเกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันและเกิดการเคลื่อนและคดตัวในคานข้อย



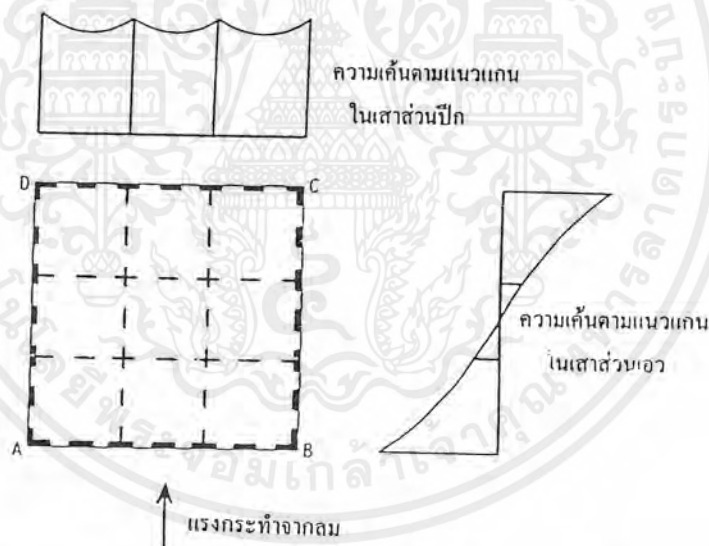
รูปที่ 2.21. การเคลื่อนตัวของปีกโครงข้อแข็งเนื่องจาก shear lag
ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structure Analysis.) จริงๆ แล้วแผ่นพื้นเป็นองค์อาคารที่มีส่วนช่วยในการถ่ายแรงในโครงสร้างพอสมควร สำหรับการออกแบบโดยทั่วไปเราจะสมมุติให้แผ่นพื้นมีสติฟเนสมากเกินไป แต่ไม่ได้มีส่วนช่วยในการรับแรงคดและแรงบิดในโครงสร้างเลย แต่ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยละเอียดอาจจะใช้แผ่นพื้นช่วยในการถ่ายแรงในแนวราบต่อองค์อาคารในแนวดิ่งต่างๆ เนื่องจากจะช่วยให้การออกแบบมีความประหยัดมากขึ้นได้

ในบางครั้งซึ่งโครงสร้างอาคารซึ่งมีความสมมาตรทั้ง 2 แกนหลัก (double symmetric) การออกแบบอาจจะสามารถแบ่งคิดเพียงหนึ่งในสี่ของโครงสร้างรวมได้ โดยแรงลมที่กระทำจะใช้เพียงหนึ่งในสี่ของแรงลมกระทำทั้งหมด หรือหากสมมาตรในแกนหลักเพียงแกนเดียวก็จะใช้แรงลมกระทำเพียงครึ่งหนึ่งของแรงลมกระทำทั้งหมด เพื่อความสะดวกและลดจำนวนชิ้นส่วนที่ใช้ในการคำนวณ

2.3.1.2. โครงสร้างแบบกลุ่มปล้อง (Bundled-Tube Structure.)

สำหรับอาคารที่มีความสูงมาก ๆ ปัญหาการเกิดความล้าจากแรงเฉือน (shear lag) ที่ส่วนปีกของโครงสร้างจะมีค่ามากและมีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบ ระบบโครงสร้างกลุ่มปล้องเป็นโครงสร้างแบบปล้องซึ่งเพิ่มจำนวนโครงข้อแข็งส่วนเอวภายในโครงสร้างแบบปล้องเดิมหรืออาจมองได้ว่าเป็นโครงสร้างแบบปล้องหลาย ๆ ปล้องมัดติดกัน เพื่อที่จะลดผลของความล้าจากแรงเฉือนเป็นหลัก เมื่ออาคารถูกแรงด้านข้างกระทำ ส่วนเอวที่เพิ่มขึ้นมาจะช่วยในการแบ่งรับแรงเฉือนในแนวนอนซึ่งเกิดจากแรงลมได้มากขึ้น เมื่อแรงเฉือนที่กระทำกับโครงข้อแข็งส่วนเอวแต่ละชั้นมีค่าลดลงจะส่งผลให้จุดเชื่อมต่อระหว่างส่วนเอวและส่วนปีกของโครงสร้างมีการถ่ายแรงเฉือนในแนวดิ่งลดลง ทำให้การเกิดความล้าจากแรงเฉือนมีค่ามีค่าลดลงตามไปด้วย เมื่อความล้าจากแรงเฉือนมีค่าลดลงเราจะสามารถออกแบบให้คานย่อยที่เชื่อมต่อระหว่างเสาในโครงข้อแข็งมีขนาดและสทิเฟนสลดลงได้หรือสามารถเพิ่มระยะห่างระหว่างเสาให้มากขึ้นได้ การกระจายของความเค้นตามแนวแกนในเสาของโครงสร้างในส่วนปล้องแสดงแสดงในรูปที่ 2.22.



รูปที่ 2.22. shear lag ของ โครงสร้างกลุ่มปล้อง (bundled-tube structure)

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

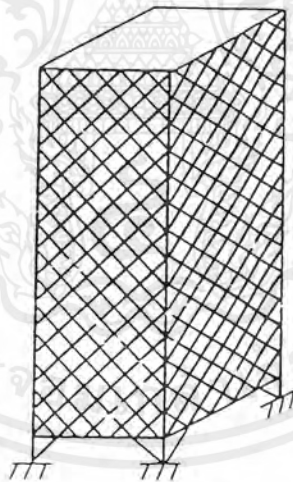
2.3.1.3. โครงข้อแข็งแบบปล้องซึ่งมีค้ำยัน (Braced-tube Structures.)

ถึงแม้ว่าโครงข้อแข็งแบบปล้องจะมีความสามารถในการต้านทานแรงด้านข้างได้มาก แต่ความสามารถในการต้านทานแรงด้านข้างของโครงสร้างอาคารจะถูกกำหนดโดยแรงค้ำซึ่งเกิดในเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคานในส่วนของโครงข้อแข็งเอวและความล้าจากแรงเฉือนซึ่งเกิดในโครงข้อแข็งส่วนปีก นอกจากนี้แล้วปัจจัยทั้งสองยังมีผลโดยตรงต่อการควบคุมแอ่นตัวของอาคาร

ระบบโครงสร้างแบบปล่องซึ่งมีค้ำยัน ในรูปที่ 2.23. เป็นอีกระบบที่ช่วยในการลดผลจากปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมา การที่มีค้ำยันนี้จะทำให้โครงข้อแข็งมีพฤติกรรมคล้ายโครงข้อหมุน(trust) โดยจะเปลี่ยนแรงค้ำยันในส่วนขององค์อาคารต่าง ๆ เช่น เสา คาน พื้น และจุดเชื่อมต่อ ให้เป็นแรงตามแนวแกนจึงสามารถลดการเกิดแรงค้ำยันในองค์อาคารเหล่านั้นได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะคานเชื่อมข้อซึ่งเชื่อมต่อระหว่างเสาแต่ละต้นของส่วนโครงสร้างที่เป็นปล่อง ในโครงข้อแข็งส่วนปีกค้ำยันจะช่วยในการถ่ายแรงเฉือนในแนวดิ่งจากเสาต้นที่เป็นจุดเชื่อมต่อกับโครงข้อแข็งส่วนเอวซึ่งมีแรงเฉือนในแนวดิ่งกระทำมากที่สุดไปสู่เสาต้นข้างเคียงจึงลดการเกิดแรงค้ำยันจากการถ่ายแรงเฉือนแนวดิ่งในคานเชื่อมข้อได้อย่างมาก เราจึงสามารถลดขนาดและสถิติเนสของคานลงหรือเพิ่มช่วงห่างระหว่างเสาแต่ละต้นให้มากขึ้นได้ เพราะองค์อาคารเหล่านี้ไม่จำเป็นจะต้องรับแรงค้ำยันมาก ๆ เช่นเดิม สำหรับโครงข้อแข็งส่วนเอวการใช้ค้ำยันจะช่วยลดแรงค้ำยันที่จุดเชื่อมต่อและเสาอื่นเนื่องมาจากการถ่ายแรงในแนวนอนโดยจะเปลี่ยนให้เป็นแรงในแนวแกนภายในตัวค้ำยันแทนจึงสามารถลดขนาดขององค์อาคารได้เป็นอย่างดี เพราะองค์อาคารเหล่านี้ไม่จำเป็นจะต้องรับแรงค้ำยันมาก ๆ เช่นเดิม



รูปที่ 2.23. ระบบปล่องโครงข้อหมุนแนวทะแยง
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

2.3.2. การวิเคราะห์โครงสร้างสามมิติ (General Tree-Dimensional Structural Analysis)

การคำนวณโครงสร้างของระบบโครงข้อแข็งแบบปล่องโดยใช้วิธีคำนวณ 3 มิติเป็นวิธีซึ่งสามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดโดยทั่วไปจะใช้วิธี “Stiffness-Matrix-Method” เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การคำนวณโดยวิธีนี้มีความยุ่งยากค่อนข้างมาก ในอาคารหนึ่งหลังจะมีจุดเชื่อมต่อและส่วนประกอบต่าง ๆ จำนวนมาก บางโครงสร้างอาจมีจำนวนข้อมูลของส่วนประกอบทั้งหมดซึ่งต้องใช้ในการและคำนวณมากกว่าหนึ่งพันข้อมูลซึ่งเป็นการยากและใช้เวลานานอย่างมากในการคำนวณแม้ว่าในปัจจุบันจะมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณก็ตาม ดังนั้นจึงได้มีผู้คิดค้นวิธีการในประมาณค่าการคำนวณ โดยการใช้การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นหรือวิธีการในการลดรูปโครงสร้างเช่นในกรณีที่มีความสมมาตรของโครงสร้าง แต่หากพบโครงสร้างซึ่งมีความซับซ้อนและอยู่นอกเหนือเงื่อนไขขอบเขตที่วิธีการประมาณค่ากำหนด หรือต้องการความละเอียดสูงแล้วก็ยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ในการคำนวณแบบสามมิติ

2.3.3. แบบจำลองการวิเคราะห์สำหรับโครงสร้างปล้องที่มีความสมมาตร

(Simplified Analytical Models for Symmetrical Tubular Structures)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณโดยประมาณสำหรับโครงข้อแข็งแบบปล้อง ซึ่งจะให้ความสนใจเฉพาะพฤติกรรมหลัก ๆ ที่เกิดในโครงสร้างอาคาร แล้วทำการแปลงโครงสร้างสามมิติและพฤติกรรมเหล่านั้นให้เป็นโครงสร้างแบบสองมิติโดยการสมมุติเงื่อนไขขอบเขตต่าง ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณสำหรับโครงข้อแข็งแบบปล้องชนิดต่าง ๆ

2.3.3.1 การลดรูปโครงสร้างสามมิติให้กลายเป็นโครงสร้างสมมูลในสองมิติ

(Reduction of Three-Dimensional Framed Tube to an Equivalent Plane Frame)

หัวข้อนี้แสดงถึงวิธีการคำนวณโครงข้อแข็งแบบปล้องโดยประมาณ โครงสร้างสามมิติให้มาอยู่ในรูปของ โครงสร้างสองมิติเมื่อถูกแรงกระทำจากด้านข้าง

เริ่มต้นพิจารณาจากโครงสร้างในรูปที่ 2.20. เมื่อมีแรงมากระทำด้านข้างในทิศทางของแกนหลัก (x) แรงกระทำที่เกิดขึ้นจะถูกรับไว้โดยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ผลจากแรงเฉือนในแนวราบถูกต้านทานไว้โดยโครงข้อแข็งส่วนเอว (ด้าน AD และ BC) ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงลม
2. ผลจากแรงคดของค้ำอาคาร ถูกต้านทานไว้โดยโครงข้อแข็งส่วนปีก (ด้าน AB และ CD) ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางของแรงลม

เมื่อโครงสร้างมีความสมมาตรในแกน x-x และแผ่นพื้นมีสติเฟ้นตเพียงพอ แต่เราจะสมมุติให้แผ่นพื้นมิได้ช่วยในการรับแรงใด ๆ จากโครงสร้าง และผลจากการบิดตัวขององค์อาคารต่าง ๆ มีน้อยมาก การเคลื่อนตัวตามแนวแกนของเสาที่มุมของโครงข้อแข็งส่วนเอวจะถูกควบคุมโดยความแข็งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกร็ง (rigidity) ในแนวตั้งของเสาที่มุมโครงข้อแข็งในส่วนปีกและเอว A B C และ D สำหรับการเปลี่ยนรูป (deformation) ของโครงสร้างในส่วนปีกจะขึ้นอยู่กับสติฟเนสและความสามารถในการยืดหยุ่น (flexible) ของคานย่อยที่ระดับพื้นของแต่ละชั้น

ภายใต้แรงกระทำด้านข้าง แรงเฉือนในแนวราบเกือบทั้งหมดจะถูกต้านทานไว้โดยโครงข้อแข็งส่วนเอว ส่วนแรงคด (bending moment) ซึ่งกระทำต่อตัวอาคารจะถูกต้านทานไว้โดยแรงคดและแรงตามแนวแกนในเสาของโครงข้อแข็งส่วนเอวและแรงตามแกนในเสาของโครงข้อแข็งส่วนปีก แต่เพื่อความง่ายในการคำนวณเราจะสมมติให้แรงคดของอาคารทั้งหมดถูกต้านทานไว้โดยแรงตามแนวแกนในโครงข้อแข็งส่วนปีก

ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อให้โครงสร้างมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในโครงสร้างแบบสามมิติ ที่เสาต้นมุมซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงข้อแข็งส่วนเอวและส่วนปีกจะมีเฉพาะแรงเฉือนในแนวตั้งเท่านั้นที่สามารถถ่ายผ่านจากโครงข้อแข็งส่วนเอวไปยังโครงข้อแข็งส่วนปีกได้ สำหรับแรงในแนวราบ แรงคด และการเคลื่อนตัวจะไม่สามารถถ่ายผ่านไปได้

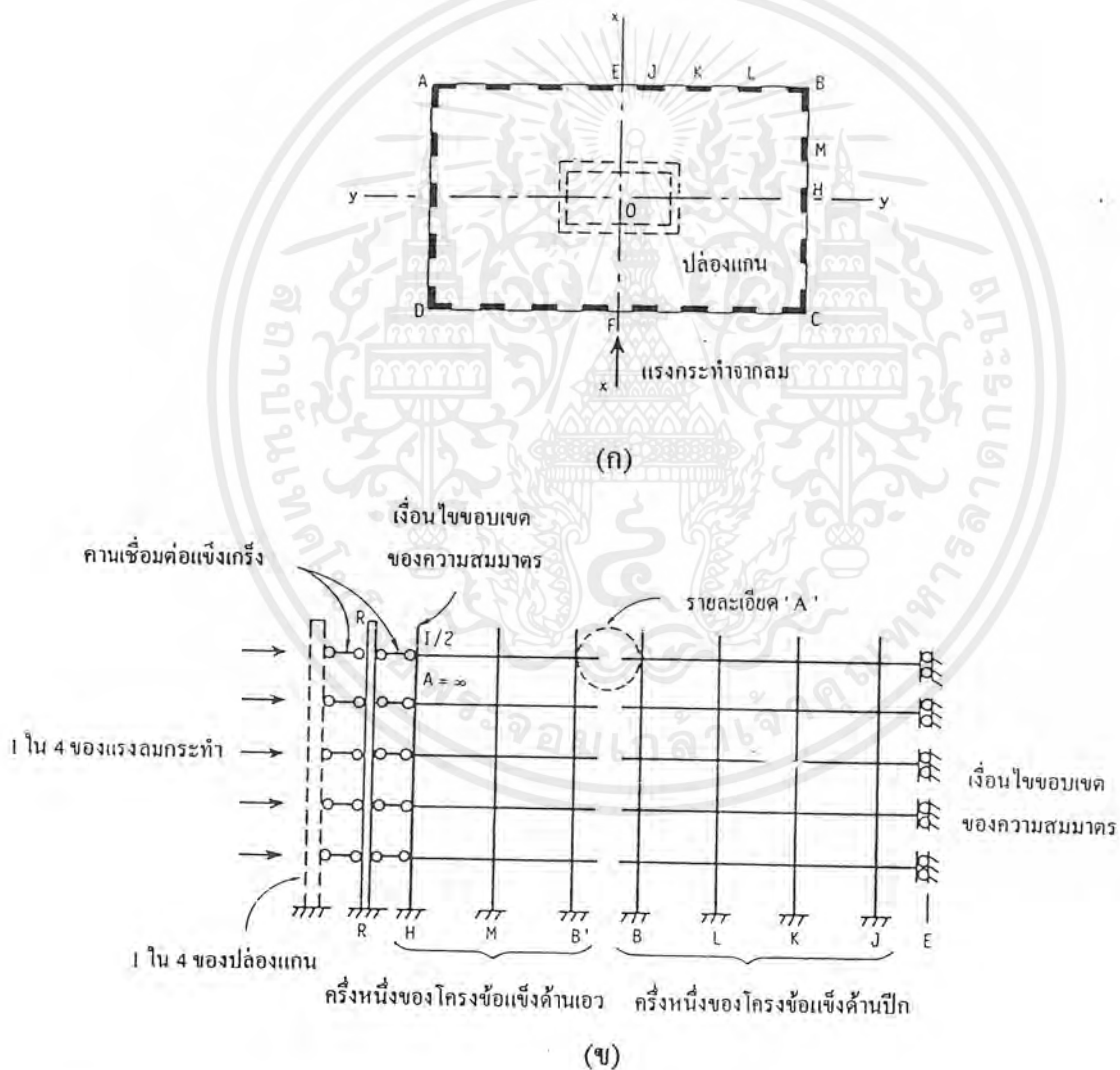
สำหรับโครงข้อแข็งส่วนเอว จุดเชื่อมต่อต่าง ๆ จะต้องหมุนได้ในระนาบของโครงข้อแข็งนั้น ๆ และจะต้องเคลื่อนตัวได้ในแนวราบและแนวตั้ง สำหรับโครงข้อแข็งส่วนปีก จุดเชื่อมต่อต่าง ๆ จะต้องหมุนได้ในระนาบของโครงข้อแข็งนั้น ๆ แต่จะต้องเคลื่อนตัวได้ในแนวตั้งเท่านั้น

สำหรับตัวอย่างซึ่งแสดงในรูปที่ 2.24.(ก) จะพบว่าโครงสร้างมีความสมมาตรทั้งในแกนหลัก x-x และแกนรอง y-y เราจึงสามารถแบ่งคิดเพียงหนึ่งในสี่ของโครงสร้างทั้งหมดได้ โดยมีเงื่อนไขขอบเขตว่า (เมื่อเลือกพิจารณาที่ส่วน EBH) แรงเฉือนในคานที่จุด E จะต้องมีความชันของการเคลื่อนตัวเป็นศูนย์ และที่จุด H การเคลื่อนตัวในแนวตั้งจะต้องมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน ในอีกกรณีหนึ่งหากที่จุดกึ่งกลางของคาน BC เป็นเสา ภายในเสานั้นจะต้องไม่มีแรงคดเกิดขึ้น เมื่อเราสร้างโครงสร้างขึ้นมาใหม่ตามเงื่อนไขทั้งหมดที่กล่าวมาจะได้เป็นโครงข้อแข็งสองมิติใหม่ขึ้นมาดังที่แสดงในรูปที่ 2.24.(ข)

สำหรับโครงสร้างแบบปล่องซึ่งมีโครงข้อแข็งเสริมภายใน (interior flange frame) ที่แสดงในรูปที่ 2.25.(ก) จะพบว่าอาคารมีความสมมาตรในแกนหลัก x เท่านั้น ในกรณีนี้เราจะสามารถลดรูปโครงสร้างลงได้โดยคิดเพียงครึ่งเดียวซึ่งสมมาตรแกนได้ดังที่แสดงในรูปที่ 2.25.(ข) แต่มีข้อสังเกตว่าที่จุด D เป็นจุดที่โครงข้อแข็งส่วนปีก DC เชื่อมต่อกับโครงข้อแข็งส่วนเอว BF ดังนั้นจะต้องมีการคิดผลจากการถ่ายแรงเฉือนในแนวตั้งสู่โครงข้อแข็งส่วนปีก DC ด้วยเช่นเดียวกับโครงข้อแข็งส่วนปีกอื่น ๆ รูปที่ 2.25.(ค) แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของโครงข้อแข็ง DC

โครงสร้างแบบปล่องซึ่งมีแกนกลาง (Hull-Core Structures) ในอาคารหนึ่ง ๆ นอกจากการใช้โครงสร้างแบบปล่องในการรับแรงด้านข้างแล้ว ในบางครั้งอาจมีระบบอื่น ๆ เข้ามาช่วยด้วย โครงสร้างแบบแกน (core) ก็เป็นโครงสร้างอีกแบบหนึ่งซึ่งนิยมใช้ โดยปกติแล้วจะเป็นส่วนของปล่อง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

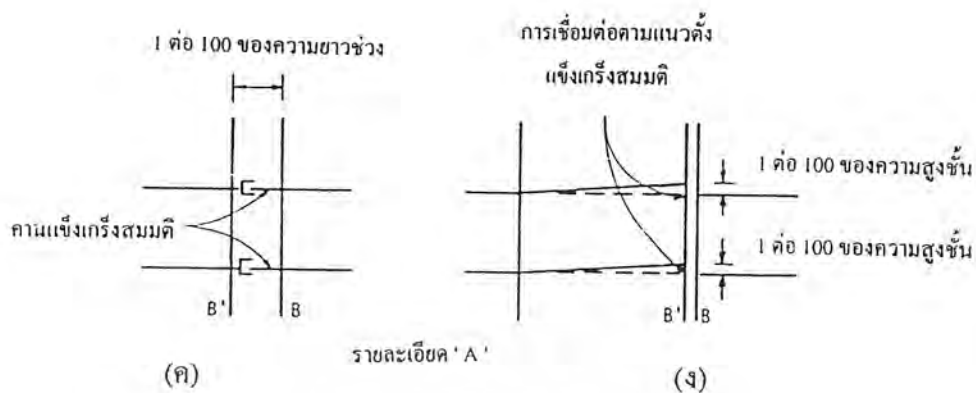
ลิฟท์หรือช่องบันไดซึ่งมีความหนาและสถิติในสมาก โดยพฤติกรรมของแกนจะเหมือนคานปลายยื่นในแนวตั้ง ในวิธีการคำนวณโครงสร้างที่กล่าวมาเราสามารถนำมาโครงสร้างแกนมาร่วมในการคำนวณได้ด้วยโดยสมมุติให้แกนเปรียบเสมือนเสาต้นหนึ่งซึ่งเชื่อมต่อกับ โครงข้อแข็งส่วนเอวโดยใช้คานสมมุติเพื่อถ่ายแรงตามแนวราบ ข้อกำหนดสำหรับคานสมมุติจะต้องถ่ายเฉพาะแรงในแนวราบเท่านั้น ที่ปลายทั้งสองของคานสมมุติจะต้องเป็นจุดยึดหมุน(hinge)และสถิติในสของคานสมมุติจะต้องมีค่าเป็นอนันต์ดังที่แสดงในรูปที่ 2.24.(ข) แต่สำหรับตัวอย่างนี้เป็นการแบ่งคิดโครงสร้างเพียงหนึ่งในสี่ของโครงสร้างทั้งหมดดังนั้นเสาที่สมมุติจะต้องมีความสามารถในการรับแรงด้นข้างเพียงหนึ่งในสี่ของความสามารถทั้งหมดที่ตัวแกนรับได้



รูปที่ 2.24. โครงสร้างปล่องโครงสร้างข้อแข็งหรือปล่องซ้อนปล่อง (ก) แปลนโครงสร้าง ; (ข) แบบจำลองสมมูลในระนาบ ; (ค),(ง) รายละเอียดของรอยต่อในแบบจำลองในระนาบ

ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

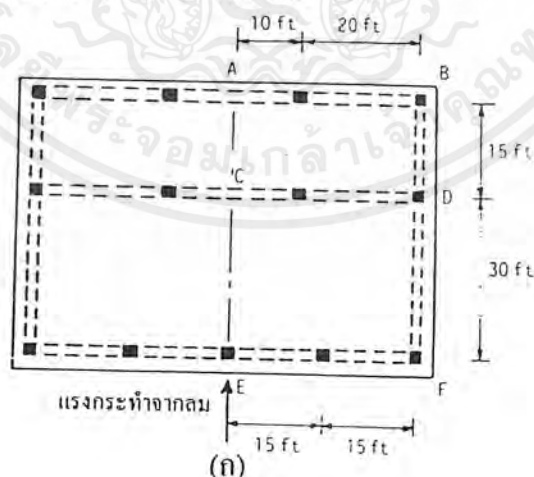
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24.(ค) โครงสร้างปล่องโครงข้อแข็งหรือปล่องซ้อนปล่อง (ก) แปลนโครงสร้าง ;
(ข) แบบจำลองสมมูลในระนาบ (ค),(ง) รายละเอียดของรอยต่อในแบบจำลอง
ในระนาบ

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

การบิดตัวของโครงข้อแข็งแบบปล่อง เมื่อโครงสร้างเกิดการบิดตัวจากแรงกระทำด้านข้าง แรงบิด (Torsion) ซึ่งเกิดจากจะถูกต้านทานไว้โดยโครงข้อแข็งทั้งสี่ด้าน เมื่อพิจารณาจะพบว่าโครงข้อแข็งทั้งสี่ด้านจะทำหน้าที่ต้านทานแรงเฉือนในระนาบราบร่วมกันและวนไปในทิศทางเดียวกันซึ่งต่างจากการต้านทานแรงคดซึ่งจะมีเพียงสองด้านซึ่งอยู่ตรงข้ามกัน(สำหรับปล่องสี่เหลี่ยม)ซึ่งจะรับแรงเฉือนในแนวราบ ส่วนอีกสองด้านที่เหลือจะใช้ในการต้านทานแรงคด



รูปที่ 2.25. โครงข้อแข็งแบบปล่องร่วมกับปีกโครงข้อแข็งภายใน (ก) แปลนโครงสร้าง ;

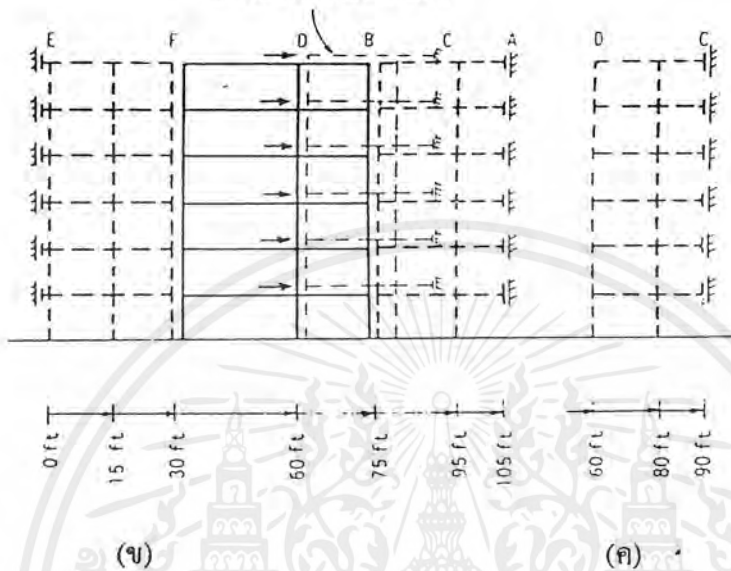
(ข),(ค) แบบจำลองสมมูลในระนาบ

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่แท้จริงของแบบจำลอง

โครงข้อแข็งส่วนปีกที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.25.(ต่อ) โครงข้อแข็งแบบปล่องร่วมกับปีกโครงข้อแข็งภายใน (ก) แปลน โครงสร้าง ;

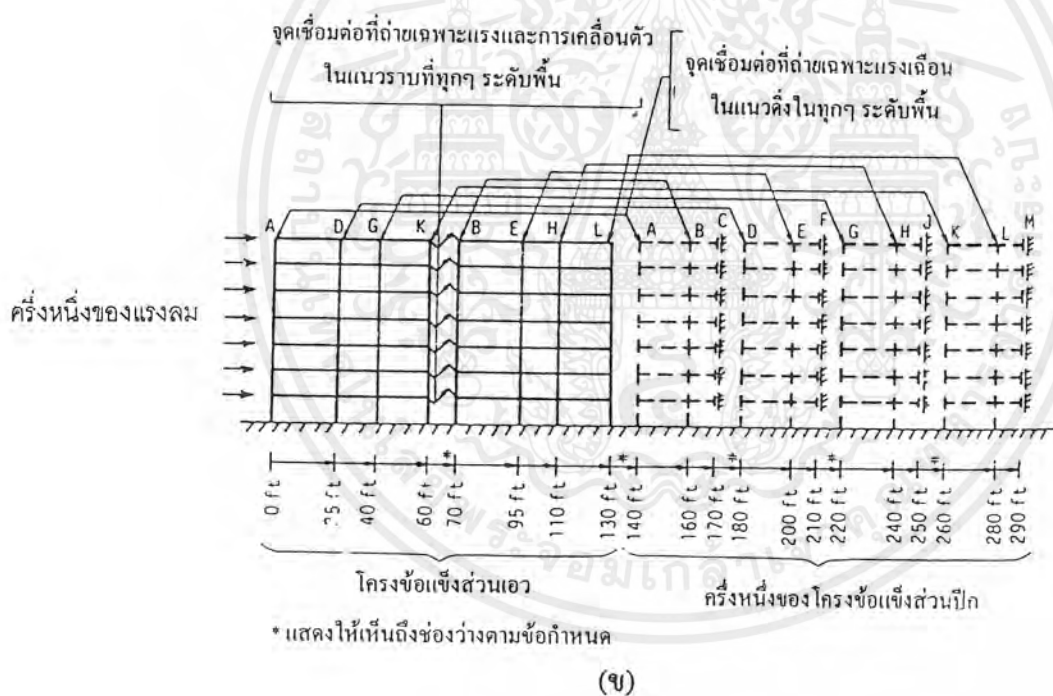
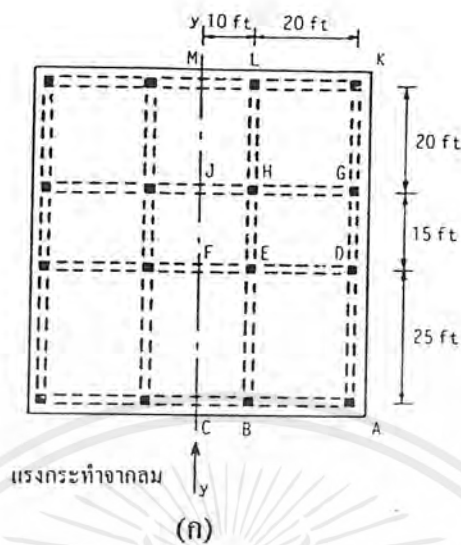
(ข),(ค) แบบจำลองสมบูรณ์ในระนาบ

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

สำหรับตัวอย่างของการคำนวณ โครงข้อแข็งแบบกลุ่มปล่องโดยไม่มีแรงบิดมาเกี่ยวข้องพิจารณาในรูปที่ 2.26.(ก) ซึ่งรวมโครงข้อแข็งแบบปล่องย่อย 9 ปล่อง จากรูปพบว่าโครงสร้างมีความสมมาตรในแกนรอง y-y จึงสามารถแบ่งคิดเพียงครึ่งหนึ่งของโครงสร้างทั้งหมดได้เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ผ่านมา

ในรูปที่ 2.26.(ข) เป็นการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างจากสามมิติเป็นสองมิติตามวิธีที่อธิบายไปแล้ว สังเกตว่าองค์อาคารนี้มีส่วนที่เป็นโครงข้อแข็งส่วนเอวถึงสองโครงสร้าง(จากโครงสร้างซึ่งคิดเพียงครึ่งหนึ่งเนื่องจากความสมมาตร) ดังนั้นแรงเฉือนในแนวนอนจะถูกต้านทานโดยโครงข้อแข็งส่วนเอวทั้งสอง จากรูปเราจึงกำหนดให้การเชื่อมต่อระหว่างโครงข้อแข็งส่วนเอวทั้งสองใช้คานเชื่อมต่อสมมุติซึ่งจะถ่ายเฉพาะแรงในแนวนอน และการเคลื่อนตัวที่จุดเชื่อมต่อของปลายคานจะเป็นไปได้ในแนวตั้งเท่านั้น สำหรับกรณีนี้จะเห็นได้ว่าการคำนวณโครงข้อแข็งแบบกลุ่มปล่องจะมีจุดเชื่อมต่อที่มีเงื่อนไขต่าง ๆ หลายจุดด้วยกันรวมทั้งมีจำนวนองค์อาคารซึ่งต้องนำมาใช้ในการคำนวณมีจำนวนมาก ส่งผลให้การคำนวณมาความซับซ้อนยุ่งยากใกล้เคียงกับการออกแบบโครงสร้างในสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26. แบบจำลองของ โครงสร้างปล่องซ้อนปล่อง 3 มิติโดยใช้โครงข้อแข็งในระนาบ

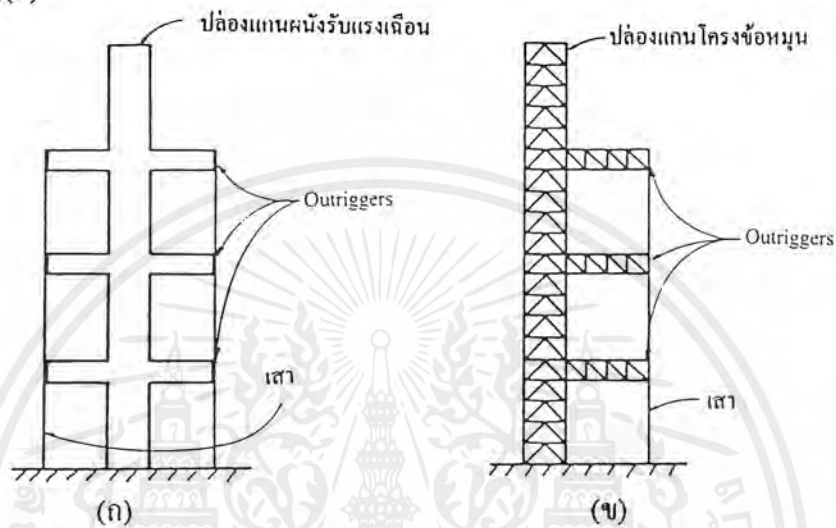
(ก) แปลนโครงสร้าง ; (ข) แบบจำลองโครงสร้างสมมูลในระนาบ

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. โครงสร้าง Outrigger-Braced Structures

โครงสร้าง Outrigger-Braced Structure นั้นเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย main core ซึ่งอาจจะก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ เหล็กรูปพรรณซึ่งเชื่อมต่อกับเสาภายนอกด้วยโครงสร้าง cantilever ในแนวนอน โดยที่ core อาจจะอยู่ตรงกลาง หรือ ด้านใดด้านหนึ่งของโครงสร้างก็ได้ดังรูปที่ 2.27.(ก) และ 2.27.(ข)



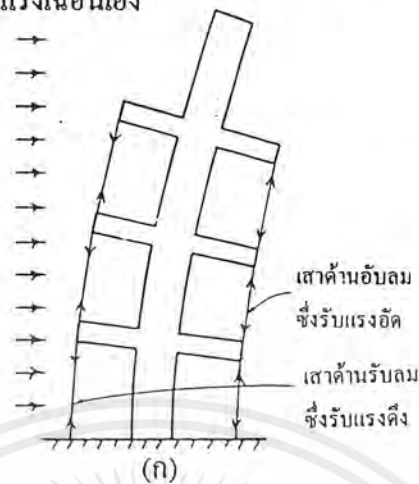
รูปที่ 2.27. (ก) โครงสร้าง Outrigger ร่วมกับ core ตรงกลาง , (ข) โครงสร้าง Outrigger ร่วมกับ core ด้านข้าง

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

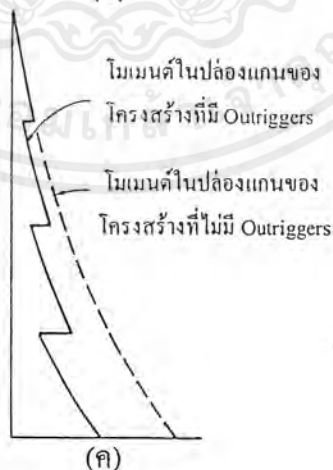
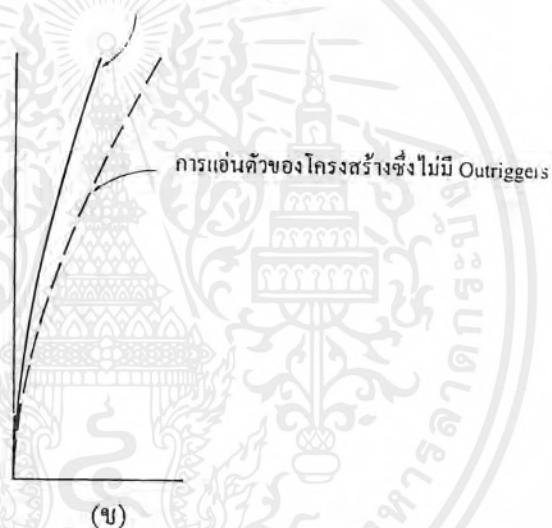
เมื่อมีแรงกระทำในแนวนอนเสาที่อยู่ด้านข้างรอบนอกจะช่วยลดการหมุนของ core ซึ่งทำให้การเคลื่อนตัวด้านข้างและโมเมนต์ใน core จะน้อยกว่าการใช้โครงสร้าง core เพียงอย่างเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.28. ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความถี่ประสิทธิภาพในการต้านทานแรงด้านข้าง โดยจะทำให้เกิดแรงดึงในด้านเหนือลมและแรงอัดในด้านใต้ลม

โดยปกติแล้วเราจะให้เสารอบนอกอาคารช่วยในการต้านทานแรงด้านข้างด้วยการใช้คานขนาดใหญ่รัดรอบภายนอก (deep spandrel girder หรือ belt) ที่ระดับของ outrigger ดังรูปที่ 2.29. ซึ่งเราเรียกว่า belt-braced structure ในการที่จะทำให้อ outrigger และ belt girder มีความแข็งแรงเพียงพอนั้น เรามักจะทำเพียง 1 หรือ 2 ชั้นเท่านั้น อาคารโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำทางข้างได้เพียงพอโดยใช้ outrigger ตัวเดียวที่ตำแหน่งบนสุดของโครงสร้างซึ่งเราเรียกกันว่า “ top-hat ” และการเพิ่ม outrigger ที่ตำแหน่งอื่นๆอีกลงมาจะช่วยเพิ่ม lateral stiffness ด้วยแต่น้อยกว่าชั้นบนๆขึ้นไปซึ่งปกติแล้วมักจะใช้ outrigger ไม่เกิน 4 ตัวสำหรับอาคารสูงที่มีความสูงมาก ข้อสังเกตอีก

อย่างคือ โครงสร้างoutrigger นั้นจะมีประสิทธิภาพมากในการต้านทานการค้ดแต่จะ ไม่เพิ่มการต้านทานแรงเฉือนเลย โดยที่ core นั้นจะเป็นตัวรับแรงเฉือนเอง



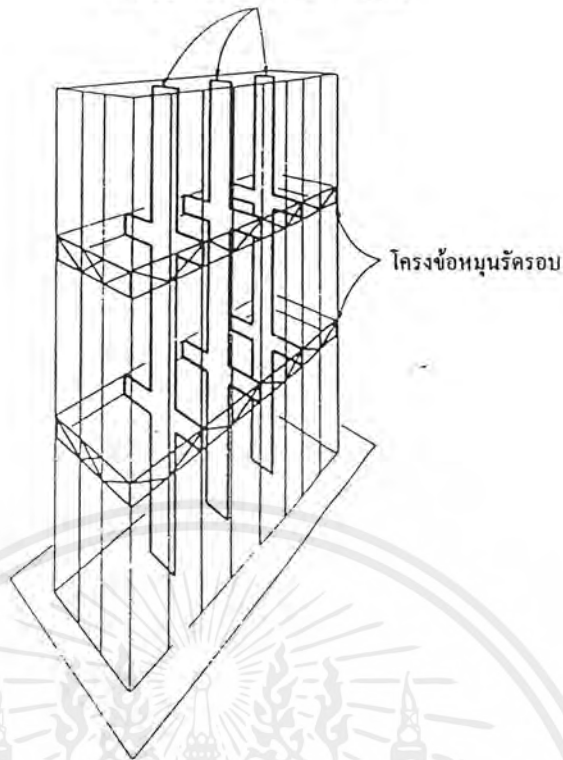
(ก) การแอ่นตัวของโครงสร้างซึ่งมี Outriggers



รูปที่ 2.28. (ก) โครงสร้าง Outtrigger ซึ่งเคลื่อนตัวภายใต้แรงกระทำด้านข้าง ; (ข) การแอ่นตัวที่เกิดขึ้น ; (ค) โมเมนต์ที่เกิดขึ้นใน core

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29. โครงสร้าง outrigger ร่วมกับ belt girders
ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

ในการอธิบายวิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง outrigger โดยประมาณนั้น เราจะใช้โครงสร้าง outrigger ที่มีความสมมาตร นั่นคือใช้ core , เสาภายนอก และ outrigger ขนาดเท่ากันตลอดโครงสร้าง ถึงแม้ว่าในทางปฏิบัติอาจจะมีการลดขนาดโครงสร้างลงแต่วิธีการวิเคราะห์ที่จะกล่าวถึงนี้จะช่วยในการประมาณอย่างคร่าวๆสำหรับการเอนตัวและแรงต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์ในการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design)

2.4.1. วิธีการวิเคราะห์ (Method of Analysis)

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้กับโครงสร้าง coupled shear wall นั้น จะใช้เทคนิค continuum method ซึ่งจะคำนวณค่าต่างๆเป็นค่าต่อเนื่อง แต่ในโครงสร้างแบบ outrigger นั้น จะใช้เทคนิคความสอดคล้อง (Compatibility Method) ในการวิเคราะห์แทนซึ่งจะพิจารณาว่าการหมุนของ core และ outrigger นั้นจะต้องเท่ากัน

สมมติฐานในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์นั้นจะอยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานดังนี้

1. โครงสร้างมีความยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มีเฉพาะแรงตามแนวแกนเท่านั้นที่เกิดในเสา
3. outrigger มีความแข็งแกร่งในการเชื่อมยึดกับ core และ core มีความแข็งแกร่งในการเชื่อมยึดกับฐานราก
4. คุณสมบัติของ core , เสาภายนอก และ outrigger มีความสม่ำเสมอตลอดความสูง

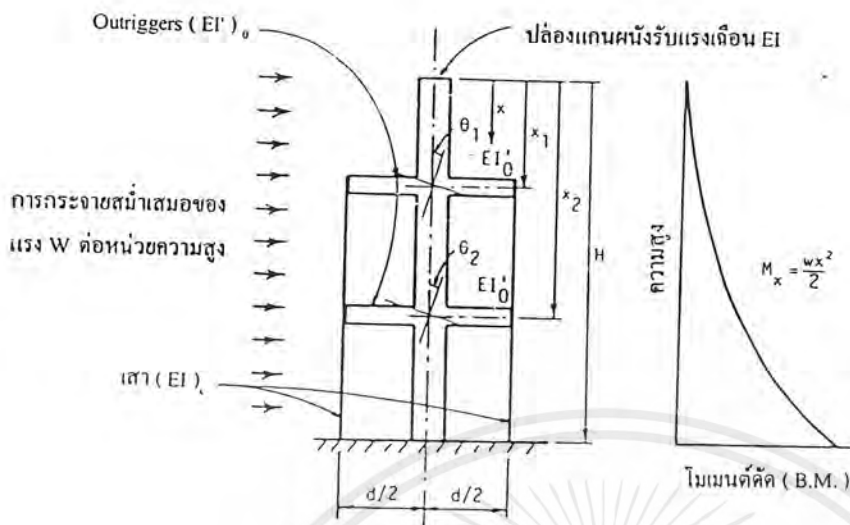
ข้อสมมติฐานที่ 4 นั้นไม่มีความจำเป็นมากเท่าใดนัก ถึงแม้ว่าในทางปฏิบัติจะมีการลดขนาดของ core และหน้าตัดของเสา แต่องค์ประกอบที่เราสนใจในการออกแบบเบื้องต้น (เช่น moment ที่ฐานของ core และแรงตามแนวแกนในเสา) จะได้รับอิทธิพลของคุณสมบัติของโครงสร้างที่ชั้นล่างๆ มากกว่า นั่นคือในการวิเคราะห์โครงสร้างสม่ำเสมอโดยใช้พื้นที่ช่วงล่าง (lower region) ในการออกแบบก็จะได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในระดับหนึ่งสำหรับการออกแบบเบื้องต้น

2.4.2. การวิเคราะห์ความสอดคล้องของโครงสร้างที่มี outrigger 2 ตัว

(Compatibility Analysis of a Two-outrigger Structure)

โครงสร้าง Outrigger 2 ตัว นั้นเหมาะที่จะใช้ในการเริ่มต้นวิเคราะห์เนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวได้รวมขั้นตอนที่จำเป็นในการวิเคราะห์ในรูปแบบอย่างง่าย สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างมากกว่าหรือน้อยกว่า 2 outrigger สามารถทำได้โดยใช้พื้นฐานของ การวิเคราะห์ outrigger 2 ตัว

การวิเคราะห์นั้นจะเริ่มจากการพิจารณาโครงสร้าง core ปลายยื่นอิสระซึ่งเป็นโครงสร้างแบบ statically determinate โดยมี outrigger เป็นตัว redundant (1 outrigger จะมี 1 redundant , 2 outrigger จะมี 2 redundant) จำนวนของสมการความสอดคล้องนั้นจะสัมพันธ์กับ degree of redundancy สำหรับสมการความสอดคล้องที่แต่ละระดับของ outrigger นั้น จะพิจารณาจากความสมดุลกันระหว่างการหมุนของ core และการหมุนของ outrigger สำหรับการหมุนของ core นั้นจะกระจายในรูปแบบของการเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงคด ส่วนการหมุนของ outrigger นั้นจะกระจายในรูปแบบของการเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงตามแนวแกนของเสาภายนอก และการคดของ outrigger สำหรับ model ที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้าง outrigger 2 ตัวนั้นแสดงไว้ดังรูปที่ 2.30.(ก) ซึ่งเป็นโครงสร้างรับแรงคานข้างที่เป็นแรงกระจายอย่างสม่ำเสมอ



(ก)

(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 2.30. (ก) โครงสร้าง Outrigger 2 ตัว ; (ข) การกระจายโมเมนต์ภายนอก ; (ค) การกระจาย M_1
(ง) การกระจาย M_2 ; (จ) การกระจายโมเมนต์ใน core

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

สำหรับกระจายโมเมนต์ใน core (รูปที่ 2.30.(จ)) จะประกอบด้วยโมเมนต์เนื่องจากแรงกระทำภายนอกซึ่งถูกลดขนาดลงด้วยโมเมนต์หน่วงจาก outrigger สำหรับแต่ละ outrigger ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ระดับของ outrigger เองและกระจายสม่ำเสมอลงไปถึงฐาน

จากวิธี moment - area จะหาขนาดการหมุนของ core ที่ระดับ 1 และ 2 ได้ดังนี้

$$\theta_1 = \frac{1}{EI} \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 \right) dx + \frac{1}{EI} \int_{x_2}^H \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 - M_2 \right) dx \quad (2.99.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta_2 = \frac{1}{EI} \int_{x_2}^H \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 - M_2 \right) dx \quad (2.100.)$$

เมื่อ EI, H คือ flexural rigidity และความสูงของ core

w คือ ความเข้มของแรงกระจายค้ำข้าง

X_1, X_2 คือ ระยะจากตำแหน่งบนสุดของ core

M_1, M_2 คือ โมเมนต์หน่วยของ outrigger ที่แต่ละระดับ

สำหรับการกระจายการหมุนของ outrigger ที่จุดเชื่อมต่อกับ core จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ จากการเคลื่อนตัวเนื่องจากแรงค้ำแนวแกนของเสาภายนอกและการค้ำของ outrigger ภายใต้อิทธิพลของแรงกระทำของแรงภายในเสา

ขนาดการหมุนที่ตำแหน่งค้ำในของ outrigger ที่ตำแหน่งที่ 1 หาได้จาก

Δ เนื่องจากแรงค้ำแนวแกนของเสาภายนอก ;

$$\Delta_1 = \frac{M_1(H - x_1)}{d(EA)_c} + \frac{M_2(H - x_2)}{d(EA)_c}$$

Δ เนื่องจากการค้ำของ outrigger ;

$$\Delta_2 = \frac{M_1 d^2}{24(EI)_o}$$

ดังนั้นจะได้

$$\theta_1 = (\Delta_1 + \Delta_2) \left(\frac{2}{d} \right)$$

$$\theta_1 = \frac{2M_1(H - x_1)}{d^2(EA)_c} + \frac{2M_2(H - x_2)}{d^2(EA)_c} + \frac{M_1 d}{12(EI)_o} \quad (2.101.)$$

ขนาดการหมุนของ outrigger ที่ตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ

$$\theta_2 = \frac{2(M_1 + M_2)(H - x_2)}{d^2(EA)_c} + \frac{M_2 d}{12(EI)_o} \quad (2.102.)$$

เมื่อ $(EA)_c$ คือ axial rigidity ของเสาภายนอก

$d/2$ คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางของ core

$(EI)_o$ คือ ค่าความแข็งเชิงคด (flexural rigidity) ประสิทธิภาพของ outrigger

เมื่อพิจารณาผลของ wide column effect ดังรูปที่ 2.31. แล้วจะพบว่าค่า flexural rigidity ที่แท้จริง $(EI)_o$ จะเท่ากับ

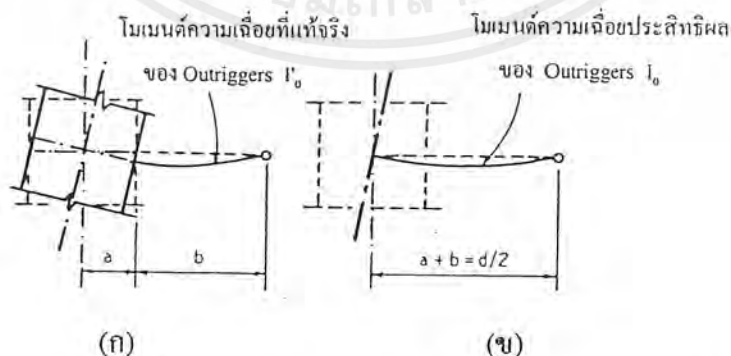
$$(EI)_o = \left(1 + \frac{a}{b}\right)^3 (EI')_o \quad (2.103.)$$

ดังนั้นจะได้สมการความสอดคล้องที่ตำแหน่ง outrigger ตัวที่ 1 คือ

$$\begin{aligned} & \frac{2M_1(H - x_1)}{d^2(EA)_c} + \frac{2M_2(H - x_2)}{d^2(EA)_c} + \frac{M_1 d}{12(EI)_o} \\ &= \frac{1}{EI} \left[\int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 \right) dx + \int_{x_2}^H \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 - M_2 \right) dx \right] \end{aligned} \quad (2.104.)$$

และสมการความสอดคล้องที่ตำแหน่ง outrigger ตัวที่ 2 คือ

$$\frac{2(M_1 + M_2)(H - x_2)}{d^2(EA)_c} + \frac{M_2 d}{12(EI)_o} = \frac{1}{EI} \int_{x_2}^H \left(\frac{wx^2}{2} - M_1 - M_2 \right) dx \quad (2.105.)$$



รูปที่ 2.31. (ก) outrigger เชื่อมต่อกับขอบของ core , (ข) outrigger สมมูลเชื่อมต่อกับ

จุดศูนย์กลางของ core

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.104.) และ (2.105.) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$M_1[S_1 + S(H - x_1)] + M_2S(H - x_2) = \frac{w}{6EI}(H^3 - x_1^3) \quad (2.106.)$$

$$M_1S(H - x_2) + M_2[S_1 + S(H - x_2)] = \frac{w}{6EI}(H^3 - x_2^3) \quad (2.107.)$$

เมื่อ

$$S = \frac{1}{EI} + \frac{2}{d^2}(EA)_c \quad (2.108.)$$

$$S_1 = \frac{d}{12(EI)_o} \quad (2.109.)$$

2.4.2.1. การวิเคราะห์แรง (Analysis of Forces)

จากสมการที่ (2.106.) และ (2.107.) จะสามารถคำนวณโมเมนต์หน่วยที่ตำแหน่ง outrigger ตัวที่ 1 ได้ดังนี้

$$M_1 = \frac{w}{6EI} \left[\frac{S_1(H^3 - x_1^3) + S(H - x_2)(x_2^3 - x_1^3)}{S_1^2 + S_1S(2H - x_1 - x_2) + S^2(H - x_2)(x_2 - x_1)} \right] \quad (2.110.)$$

และ โมเมนต์ที่ตำแหน่ง outrigger ตัวที่ 2 เท่ากับ

$$M_1 = \frac{w}{6EI} \left[\frac{S_1(H^3 - x_2^3) + S[(H - x_1)(H^3 - x_2^3) - (H - x_2)(H^3 - x_1^3)]}{S_1^2 + S_1S(2H - x_1 - x_2) + S^2(H - x_2)(x_2 - x_1)} \right] \quad (2.111.)$$

ดังนั้นจะได้โมเมนต์ใน core ที่ตำแหน่งใดๆ จากสมการ

$$M_x = \frac{wx^2}{2} - M_1 - M_2 \quad (2.112.)$$

เมื่อ ในสมการดังกล่าวมี M_1 เท่านั้น สำหรับ $x > x_1$

ในสมการดังกล่าวมี M_1 และ M_2 สำหรับ $x > x_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้ว่าแรงตามแนวแกนในเสาภายนอกจะเท่ากับ M_1/d สำหรับ $x_1 < x < x_2$ และ $(M_1 + M_2)/d$ สำหรับ $x \geq x_2$ นอกจากนี้จะได้โมเมนต์สูงสุดใน outrigger ที่ระดับที่ 1 คือ $M_1(b/d)$ และที่ระดับ 2 คือ $M_2(b/d)$ เมื่อ b คือ ความยาวสุทธิของ outrigger ดังรูปที่ 2.30.(ก)

2.4.2.2. การวิเคราะห์การแอ่นตัวทางข้าง (Analysis of Horizontal Deflections)

การแอ่นตัวทางข้างของโครงสร้าง outrigger นั้นสามารถคำนวณได้จากการกระจายโมเมนต์ใน core โดยใช้วิธี moment area method แต่เนื่องจากสมการของโมเมนต์ใน core นั้นไม่ได้เป็นสมการที่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะวิเคราะห์การแอ่นตัวในรูปของสมการทั่วไปสำหรับทุกระดับความสูงเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงวิเคราะห์เฉพาะสมการการแอ่นตัวที่ตำแหน่งบนสุดเท่านั้น

$$\Delta_o = \frac{wH^4}{8EI} - \frac{1}{2EI} [M_1(H^2 - x_1^2) + M_2(H^2 - x_2^2)] \quad (2.113.)$$

จากสมการดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า เทอมแรกของสมการทางด้านขวานั้นแทนการแอ่นตัวของ core เมื่อ core มีพฤติกรรมแบบคานยื่นอิสระซึ่งรับแรงกระทำด้านข้างทั้งหมด และพจน์ที่สองแทนการแอ่นตัวเนื่องจากโมเมนต์หน่วง M_1 และ M_2 ของ outrigger

2.4.3. คำตอบในรูปทั่วไปของแรงและการแอ่นตัวทางข้าง (Generalized Solutions of Forces and Deflections)

สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างที่ใช้ outrigger จำนวนมากหรือน้อยกว่า 2 ตัวนั้นก็ใช้การวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกัน โดยสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปทั่วไปดังนี้

2.4.3.1. โมเมนต์หน่วง (Restraining Moment)

โมเมนต์หน่วงสำหรับโครงสร้างที่มีขนาดคงที่ตลอดความสูงซึ่งรับแรงกระจายอย่างสม่ำเสมอสามารถเขียนสมการในรูป matrix ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix} = \frac{w}{6EI}$$

$$\begin{bmatrix} S_1 + S(H - X_1) & S(H - X_2) & \cdots & S(H - X_i) & \cdots & S(H - X_n) \\ S(H - X_2) & S_1 + S(H - X_2) & \cdots & S(H - X_i) & \cdots & S(H - X_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S(H - X_i) & S(H - X_i) & \cdots & S_1 + S(H - X_i) & \cdots & S(H - X_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S(H - X_n) & S(H - X_n) & \cdots & S(H - X_n) & \cdots & S_1 + S(H - X_n) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} H^3 - X_1^3 \\ H^3 - X_2^3 \\ \vdots \\ H^3 - X_i^3 \\ \vdots \\ H^3 - X_n^3 \end{bmatrix} \quad (2.114.)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของ outrigger

สำหรับสมการในรูปทั่วไปของโมเมนต์ใน core ระหว่าง outrigger ตัวที่ j ถึง $j+1$ คือ

$$M_x = \frac{wx^2}{2} - \sum_{i=1}^j M_i \quad (2.115.)$$

2.4.3.2. การแอ่นตัวทางข้าง (Horizontal Deflections)

เมื่อแทนค่าโมเมนต์หน่วย M_1 ถึง M_2 จากสมการที่ (2.114.) ลงในสมการที่ (2.116.) จะสามารถคำนวณการแอ่นตัวที่ตำแหน่งบนสุดได้ดังนี้

$$\Delta_o = \frac{wH^4}{8EI} - \frac{1}{2EI} \sum_{i=1}^n M_i (H^2 - x_i^2) \quad (2.116.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4. ตำแหน่งที่เหมาะสมของ outrigger (Optimum Locations of Outrigger)

การวิเคราะห์ที่ผ่านมานั้น ไม่ได้มีประโยชน์เพียงเพื่อประมาณค่าโมเมนต์ใน core และการแอ่นตัวทางข้างเท่านั้น แต่ยังช่วยประเมินระดับที่เหมาะสมของ outrigger ซึ่งทำให้เกิดการแอ่นตัวทางข้างน้อยที่สุดด้วย ซึ่งสามารถหาได้โดยการ differentiate สมการที่ (2.113.) เทียบกับ x_1 และ x_2 ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$(H^2 - x_1^2) \frac{dM_1}{dx_1} + (H^2 - x_2^2) \frac{dM_2}{dx_1} - 2x_1 M_1 = 0 \quad (2.117.)$$

$$(H^2 - x_1^2) \frac{dM_1}{dx_2} + (H^2 - x_2^2) \frac{dM_2}{dx_2} - 2x_2 M_2 = 0 \quad (2.118.)$$

เมื่อ dM_1/dx_1 , dM_2/dx_1 , dM_1/dx_2 และ dM_2/dx_2 นั้นสามารถหาได้จากการ differentiate M_1 และ M_2 จากสมการที่ (2.110.) และ (2.111.) ตามลำดับ เทียบกับ x_1 และ x_2 จากนั้นจึงแทนค่า M_1 และ M_2 และค่าที่ differentiate ลงในสมการที่ (2.117.) และ (2.118.) เพื่อคำนวณ x_1 และ x_2 ออกมา ซึ่งขั้นตอนนี้อาจต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

ในการกระจายสมการที่ (2.117.) และ (2.118.) นั้น คุณสมบัติของโครงสร้างจะถูกแทนในรูปของ S และ S_1 ซึ่งกำหนดไว้ในสมการที่ (2.108.) และ (2.109.) โดยสมการที่ (2.117.) และ (2.118.) สามารถเขียนใหม่ได้ในรูปของพารามิเตอร์ไร้มิติ α และ β ซึ่งแทนค่า core to column และ core to outrigger rigidities ตามลำดับ ดังนี้

$$\alpha = \frac{EI}{(EA)_c (d^2 / 2)} \quad (2.119.)$$

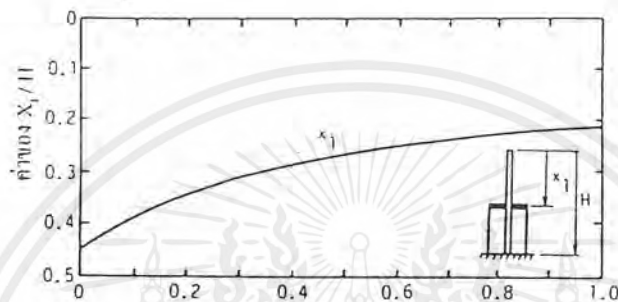
$$\beta = \frac{EI}{(EI)_o} \frac{d}{H} \quad (2.120.)$$

เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น เราจะรวมพารามิเตอร์ α และ β ให้อยู่ในรูปของ ω ดังนี้

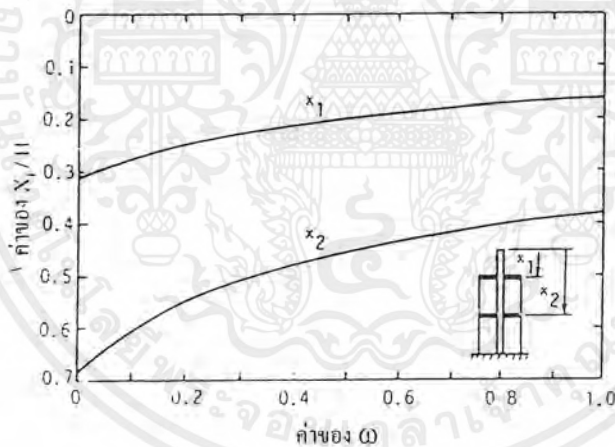
$$\omega = \frac{\beta}{12(1 + \alpha)} \quad (2.121.)$$

พารามิเตอร์ ω นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่ไร้มิติ ซึ่งใช้อธิบายลักษณะเฉพาะตัวของโครงสร้างที่มีขนาดคงที่ตลอดความสูงที่ใช้ outrigger ที่ flexible โดยที่ ω นั้นจะมีประโยชน์ในการตรวจสอบพฤติกรรมของโครงสร้างในรูปแบบอย่างง่ายได้

จากสมการที่ (2.119.) ถึง (2.121.) นั้น เราสามารถสรุปได้ว่า หากคุณสมบัติอื่นๆ คงที่ แล้ว เมื่อค่า ω ลดลง จะทำให้ค่าความแข็งแกร่งยืดหยุ่นของ outrigger เพิ่มขึ้น และเมื่อ ω เพิ่มขึ้นจะทำให้ความแข็งแกร่งตามแกนของเสาภายนอกเพิ่มขึ้น



(ก)



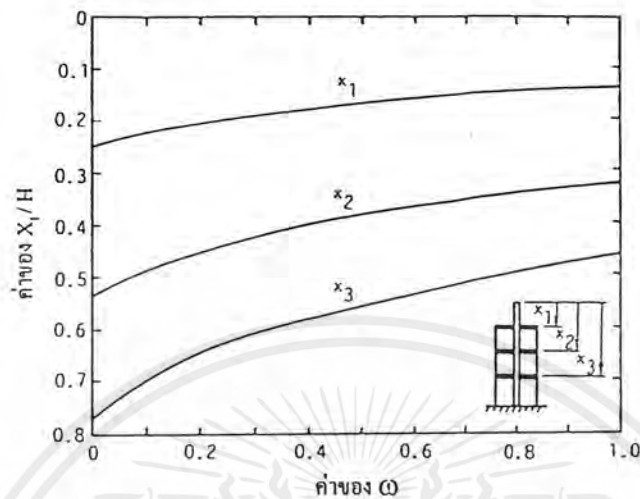
(ข)

รูปที่ 2.32. (ก) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 1 คิว ; (ข) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 2 คิว ; (ค) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 3 คิว
(ง) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 4 คิว

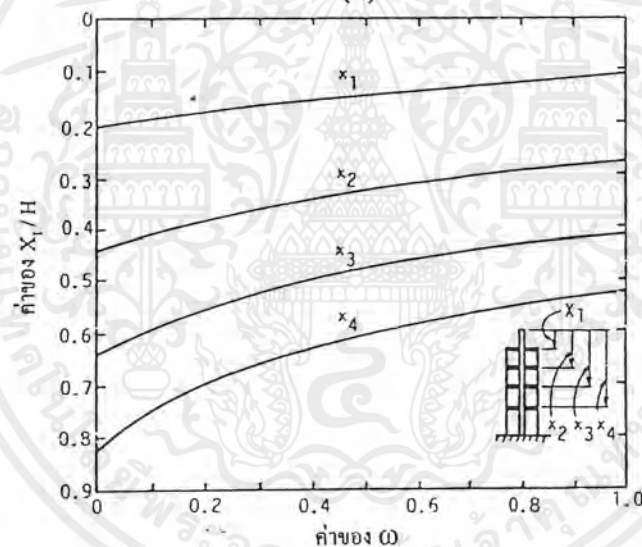
ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

สมการที่ (2.117.) และ (2.118.) นั้นใช้สำหรับหาระดับที่เหมาะสมของ outrigger คิวที่ 1 และคิวที่ 2 สำหรับช่วงของค่า ω ซึ่งอาจจะหาค่าอย่างง่ายได้จากรูปที่ 2.32.(ข) ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า ω ทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งที่เหมาะสมได้จากรูปที่ 2.32.(ข) ซึ่งที่ตำแหน่งเหล่านั้นจะทำการเอกรูปนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้โครงสร้างมีการแอ่นตัวทางข้างน้อยที่สุด สำหรับโครงสร้างที่มี outrigger 1 , 3 และ 4 ตัวนั้นสามารถหาตำแหน่งที่เหมาะสมได้จากรูปที่ 2.32.(ก) , (ข) , (ค) ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.32(ต่อ) (ก) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 1 ตัว ; (ข) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 2 ตัว ; (ค) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 3 ตัว ; (ง) ตำแหน่งที่เหมาะสมของโครงสร้าง outrigger 4 ตัว

ที่มา : TALLBUILDING STRUCTURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิเคราะห์โครงสร้าง

3.1. การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้สมการวิเคราะห์

การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารทั้ง 4 ระบบดังที่ได้นำเสนอไปนั้นสามารถวิเคราะห์ได้โดยการลองกำหนดขนาดส่วนประกอบต่างๆของโครงสร้างแล้วจึงทำการวิเคราะห์ค่าตัวประกอบพารามิเตอร์ต่างๆที่สามารถคำนวณได้ เช่น ค่าการแอ่นตัว ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่งต่างๆของโครงสร้าง เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบพารามิเตอร์ต่างๆนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ (1) ใช้กราฟช่วยในการหาค่าตัวประกอบต่างๆซึ่งวิธีนี้จะให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ไม่ค่อยละเอียดนัก เนื่องจากอาจจะประมาณค่าจกกราฟผิดพลาดได้ (2) ใช้สมการในการคำนวณค่าตัวประกอบต่างๆซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดมากกว่าวิธีแรกโดยที่วิธีนี้สามารถใช้เครื่องคำนวณช่วยคำนวณได้เนื่องจากสมการดังกล่าวไม่ซับซ้อนเท่าใดนัก เมื่อได้ค่าตัวประกอบพารามิเตอร์แล้วเราก็จะคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการได้ สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 4 ระบบโดยใช้สมการวิเคราะห์นั้นมียังต่อไปนี

3.1.1. การวิเคราะห์โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Wall Structures)

จากข้อมูลที่กำหนดคือ โครงสร้างที่ใช้เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด $15 \times 40 \text{ m}^2$ ความสูง 30 ชั้น สูงชั้นละ 3.2 m ใช้ข้อกำหนดแรงลมสูงสุด 160 kg / m^2 ดังนั้นผนังรับแรงเฉือนคู่แต่ละระนาบจะต้องต้านทานแรงลม $1,280 \text{ kg / m}$ และกำหนดค่าการแอ่นตัวสูงสุดจาก $L/500$ ดังนั้นค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างจะต้องไม่เกิน $9,600/500 = 19.2 \text{ cm}$ แผ่นพื้นที่ใช้เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบดิ่งที่หลังหนา 0.30 m

จากข้อมูลที่กำหนดดังกล่าวได้ทำการลองกำหนดขนาดของผนังรับแรงเฉือนคู่แล้วตรวจสอบค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้โดยจะต้องคำนึงถึงค่าการแอ่นตัวที่วิเคราะห์ได้จากโครงสร้าง core structure ประกอบด้วย จากการพิจารณาข้อกำหนดต่างๆแล้วจึงได้ขนาดที่เหมาะสมของผนังคือ $0.3 \times 6 \text{ m}^2$ และมีรายการคำนวณโดยใช้สัญลักษณ์ตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผนังรับแรงเฉือน

$$I_1, I_2 = 5.4 \text{ m}^4, I = 10.8 \text{ m}^4, A_1, A_2 = 1.8 \text{ m}^2, A = 3.6 \text{ m}^2$$

$$l = 6 \text{ m}, b = 3 + (0.3/2) = 3.15 \text{ m}$$

ส่วนของความเชื่อมต่อ

เนื่องจากความเชื่อมต่อดังกล่าวคือแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงหนา 0.30 m ดังนั้นต้องทำการคำนวณความประสิทธิภาพของแผ่นพื้นจากสมการ (2.52.) โดยที่ค่า $Y = 8 \text{ m}$, $a = 0.3 \text{ m}$, $b = 3 \text{ m}$ ซึ่งจากการแทนค่าจะได้ $Y_c = 2.83 \text{ m}$ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย $I_b = 0.006 \text{ m}^4$ เนื่องจากอัตราส่วนความยาวช่วงต่อความลึกถาน (span to depth) $= 3/0.3 = 10 > 5$ ดังนั้นจึงไม่ต้องปรับแก้ค่า I_b เนื่องจากผลของ shearing deformations

เมื่อได้ค่าต่างๆครบแล้วจึงนำไปแทนในสมการเพื่อหาค่า k , α และ H ซึ่งจะได้ค่า $k\alpha H = 7.56$ ($k = 1.072$, $\alpha = 0.0735$) โดยค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 1 และ 8 ดังนั้นโครงสร้างที่กำหนดจะต้านทานแรงลมกระทำในลักษณะของโครงสร้างผสม (composite structure) จากนั้นจึงนำค่า z/H และ $k\alpha H$ ไปคำนวณจากสมการเพื่อหาค่า F_z ซึ่งจะให้ค่าที่มีความละเอียดสูงกว่าค่าที่ได้จากกราฟ ค่า F_z ที่ได้เท่ากับ 0.1867 เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ (2.34.) จะได้ค่าการแอ่นตัวที่ตำแหน่งบนสุดของโครงสร้างเท่ากับ 0.0874 m ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากโครงสร้างปลอกแกน core structure

หลังจากได้ค่าการแอ่นตัวที่ต้องการแล้วจึงทำการคำนวณค่าแรงตามแนวแกน N ที่ผนังรับแรงเฉือนแต่ละระดับชั้นเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม PCA FRAME สำหรับกรณีคำนวณนั้นจะเริ่มจากการคำนวณค่า F_z จากสมการซึ่งจะได้ค่าที่มีความละเอียดมากกว่าค่าที่ได้จากกราฟ จากนั้นจึงนำค่า F_z ที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ (2.26.) เพื่อคำนวณค่า N ดังตัวอย่างต่อไปนี้

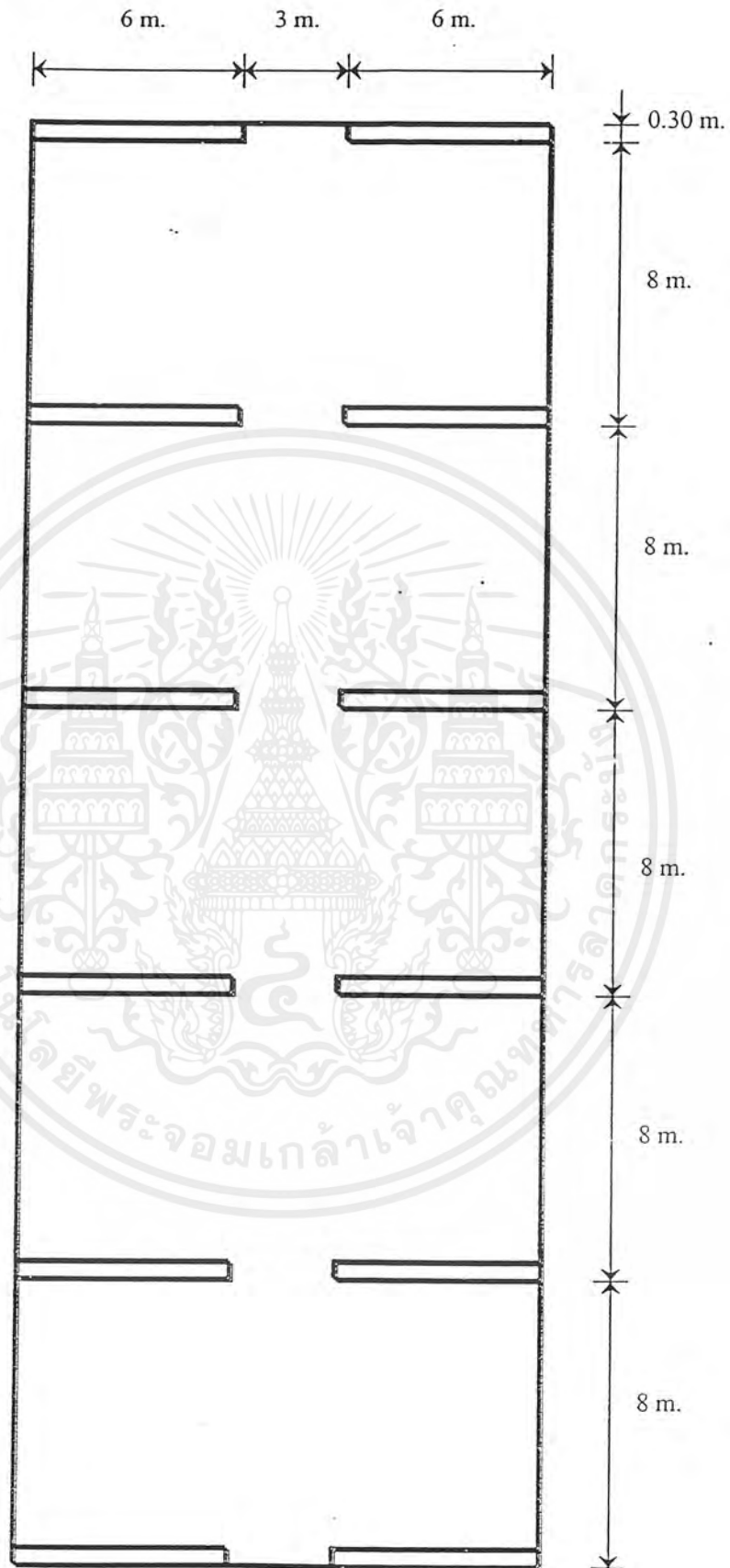
ตัวอย่างการคำนวณค่าแรงตามแนวแกน N

ที่ระดับ $z = 6.4 \text{ m}$ จะได้ $z/H = 6.4/96 = 0.067$ และค่า $k\alpha H = 7.56$ นำไปแทนค่าในสมการเพื่อคำนวณค่า F_z ได้เท่ากับ 0.3730 ดังนั้นจะได้ค่าแรงตามแนวแกน $N = 425,869.83 \text{ kg}$

นอกจากค่าแรงตามแนวแกน N แล้วยังสามารถคำนวณค่าโมเมนต์ที่ผนังรับแรงเฉือนแต่ละตัวต้องต้านทานได้โดยใช้ค่า F_z จากการคำนวณแรงตามแนวแกนไปแทนค่าในสมการที่ (2.31.) และ (2.32.) เพื่อคำนวณค่า M_1 และ M_2 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณค่าโมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือน M_1 และ M_2

ที่ระดับ $z = 6.4 \text{ m}$ จะได้ $F_z = 0.3730$ ซึ่งเมื่อนำค่าไปแทนค่าในสมการที่ (2.31.) และ (2.32.) จะได้ $M_1 = M_2 = 650,938.62 \text{ kg-m}$



รูปที่ 3.1. Plan โครงสร้าง Coupled Shear wall ที่ใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าแรงตามแนวแกนและค่าโมเมนต์ในผนังรับแรงเฉือนที่ระดับอื่นๆนั้นได้ทำการคำนวณและแสดงค่าไว้ในตารางเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรม PCA FRAME วิเคราะห์

3.1.2. โครงสร้างปล่องแกน (Core Structures)

จากข้อมูลที่กำหนดคือ โครงสร้างที่ใช้เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด $15 \times 40 \text{ m}^2$ ความสูง 30 ชั้น สูงชั้นละ 3.2 m ใช้ข้อกำหนดแรงลมสูงสุด 160 kg/m^2 และกำหนดค่าการแอ่นตัวสูงสุดจาก $L/500$ ดังนั้นค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างจะต้องไม่เกิน $9,600/500 = 19.2 \text{ cm}$ แผ่นพื้นที่ใช้เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงแบบคิงทิลล์

เริ่มต้นการออกแบบ เราจะต้องสมมุติขนาดขององค์อาคารต่าง ๆ ในโครงสร้าง การกำหนดขนาดเริ่มต้นนี้จะต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์เพื่อในค่าที่ประมาณนี้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดในการออกแบบนี้ได้ทำการทดลองสมมุติขนาดของปล่องแกนโดยให้ปล่องแกนเป็นรูปตัว C ขนาด 5×10 เมตร ความหนา $t = 0.4$ เมตร เมื่อได้ขนาดของปล่องแกนแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะต้องหาข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบ ได้แก่ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด (moment of inertia' I_{xx}), พิกัดผลของหน้าตัด (sectorial coordination, ω'), หาโมเมนต์ของพื้นที่ผั่ง ω' รอบแกนหลัก(x), จุดศูนย์แรงเฉือน (shear center), พิกัดหลักของหน้าตัด (principal sectorial coordination, ω), หาโมเมนต์ของพื้นที่ผั่ง ω รอบแกนหลัก (I_ω) และค่าความต้านทานการบิดตัว (J)

เริ่มขั้นตอนการคำนวณ ;

1. โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสมมาตร(x) การหาค่าจะใช้วิธีการเช่นเดียวกับการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดทั่วไป จากตัวอย่าง

$$I_{xx} = \frac{1}{12} (10.4^3 \times 5.4 - 4.6 \times 9.6^3 - 0.5 \times 3^3) = 166.14 \text{ m}^4$$

2. การหาโมเมนต์ของผั่ง ω' จะทำได้ 2 วิธีคือ การรวมอนุพันธ์และการใช้ตาราง ตารางจะนิยมใช้เมื่อหน้าตัดมีรูปร่างไม่ซับซ้อนมากนักหรือไม่เป็นลักษณะเฉพาะซึ่งอยู่นอกเงื่อนไขที่ตารางกำหนด สำหรับการออกแบบในตัวอย่างนี้จะใช้ตารางในการออกแบบเนื่องจากหน้าตัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ตารางกำหนดจึงง่ายและรวดเร็วกว่า เมื่อหน้าตัดมีความสามารถในการออกแบบเราจะแบ่งคัตหน้าตัดเพียงครึ่งหนึ่งของหน้าตัดในแกนที่สมมาตรกันแล้วนำผลที่ได้มาคูณ 2 เพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริง

$$I_{\omega'x} = \int_A \omega' y dA = \int^s \omega' y t ds$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางช่วยการรวมอนุพันธ์ในภาคผนวก จะได้ว่า

$$CD = \frac{1}{3}(5)(25)(5) \times 0.4 = 83.33 m^5$$

$$BC = \frac{1}{2}(25 + 50)(5)(5) \times 0.4 = 375 m^5$$

$$AB = \frac{1}{2}(5 + 1.5)(50)(3.5) \times 0.4 = 227.5 m^5$$

$$AB + BC + CD = \frac{1}{2} I_{\omega'x} = 685.86 m^5$$

ดังนั้น

$$I_{\omega'x} = 1371.7 m^5$$

เมื่อได้ $I_{\omega'x}$ แล้ว จะสามารถนำไปหาระยะจากจุดกำเนิดสมมุติถึงศูนย์กลางแรงเฉือนได้โดย

$$\alpha = \frac{I_{\omega'x}}{I_{xx}} = \frac{1371.7}{166.14} = 8.26 m$$

ระยะจากจุดศูนย์กลางของหน้าตัดไปยังจุดศูนย์กลางแรงเฉือนจะทำได้โดยการลบ α ด้วย ระยะจากจากจุดกำเนิดสมมุติไปยังจุดกำเนิดจริง

$$e = 8.26 - 2.5 = 5.76 m$$

3. การหาฝั่ง ω และโมเมนต์ของฝั่ง ω ซึ่งจะสร้างได้จาก $\omega = \omega' - \alpha y$ ดังรูปที่ 3.2 A B C และ D เป็นการแสดงการหาค่า ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในฝั่ง และเมื่อจากค่าต่าง ๆ

$$A = 50 - 8.25(1.5) = 37.625$$

$$B = 50 - 8.25(5) = 8.75$$

$$C = 25 - 8.25(5) = -16.25$$

$$D = 0 - 8.25(0) = 0$$

จากตารางช่วยการรวมอนุพันธ์ในภาคผนวก จะได้ค่าของฝั่งที่ทุก ๆ จุดบนหน้าตัด ดังรูปที่ 3.2

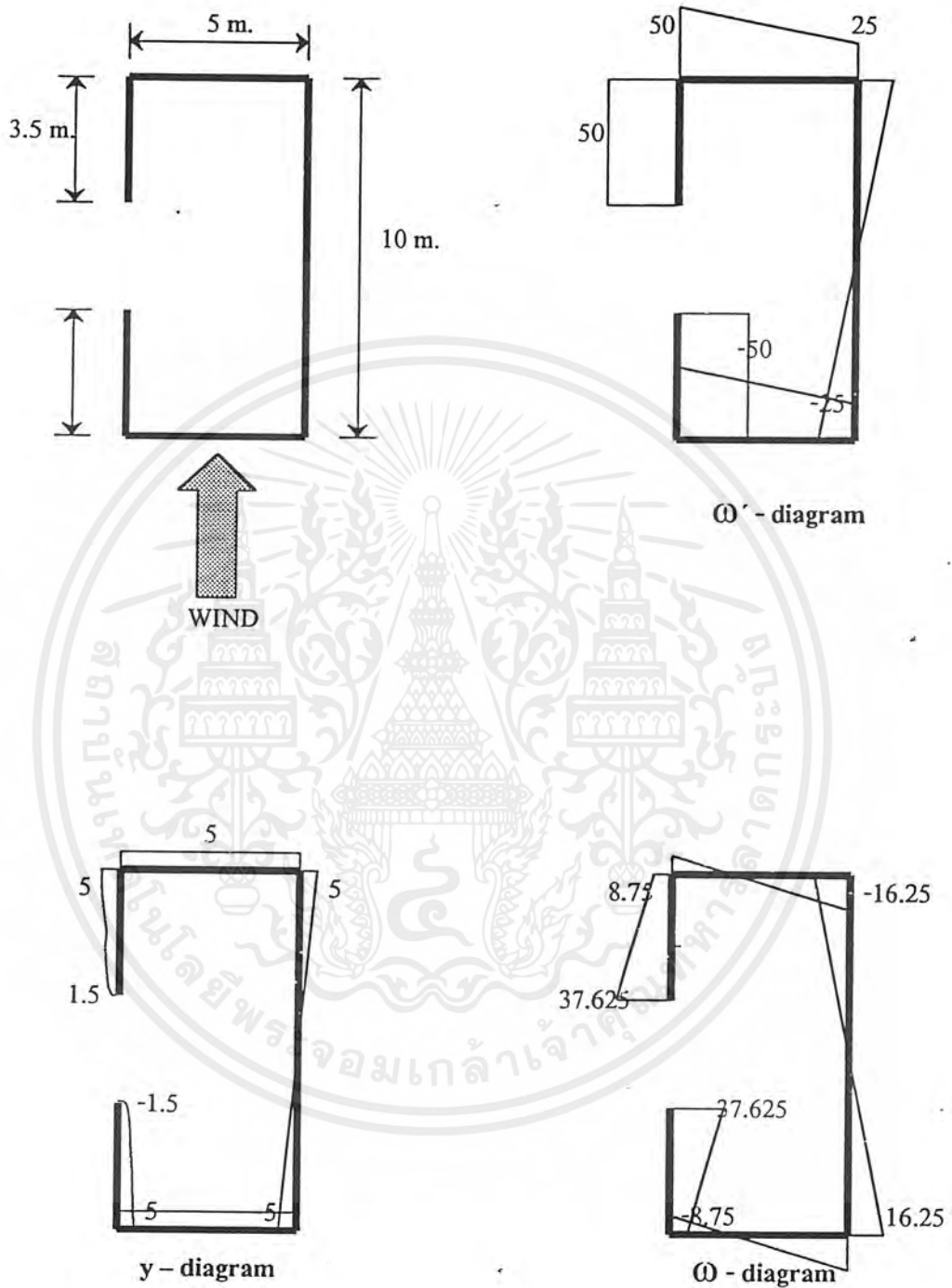
$$I_{\omega'D} = \frac{1}{3}(16.25)^2(5)(0.4) = 176 m^6$$

$$I_{\omega'BC} = \frac{1}{6}(5)(-16.25^2 + (-16.25)(8.75) + 8.75^2)(2)(0.4) = 132.3 m^6$$

$$I_{\omega'AB} = \frac{1}{6}(3.5)(37.625^2 + (37.625)(8.75) + 8.75^2)(2)(0.4) = 850.2 m^6$$

$$I_{\omega} = 2 \times (850.2 + 132.3 + 176) = 2316.8 m^6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2. รูปแสดงผัง ω และ โมเมนต์ของผัง ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

4. สำหรับค่า J จะแบ่งออกเป็นค่า J ในส่วนของช่องเปิด(open section) และส่วนของช่องปิด(partial close section) ที่ช่องเปิด ค่า J หาได้จากสมการ(80)

$$J_1 = \frac{1}{3}(3.5 + 5 + 10 + 5 + 3.5) \times 0.4^3 = 0.576$$

ที่ช่องปิด ค่า J หาได้จากสมการ(2.81.) โดยเริ่มจากหา I ของคานเชื่อมช่องปิด(connecting beam)ก่อน

$$I_h = \frac{0.4 \times 0.7^3}{12} = 0.0114 m^4$$

$$J_2 = \frac{12 \times 2.497 \times 10^7 \times 0.0114 \times (5 \times 10 \times 2)^2}{0.9 \times 10^7 \times 3.2 \times 3^3} = 43.93 m^4$$

$$J = J_1 + J_2 = 1.125 + 43.93 = 45.06 m^4$$

5. หลังจากที่เราได้ฝั่งของคุณสมบัติต่าง ๆ แล้ว เราจะนำไปหาค่า αH เพื่อนำไปแทนในสมการต่าง ๆ ต่อไป

$$\alpha H = H \sqrt{\frac{GJ}{EI_\omega}} = 96 \sqrt{\frac{0.9 \times 10^7 \times 45.06}{2.497 \times 10^7 \times 2316.8}} = 8.0$$

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ที่ต้องการจากหน้าตัดแล้วต่อไปจะเป็นการนำค่าต่าง ๆ เหล่านี้ไปคำนวณในสมการคำนวณต่อไป การเคลื่อนตัวของปล่องแกนจะเกิดจากการรวมของผลจากการดัด(bending)และการบิด(torsion) สำหรับการหาผลการเคลื่อนตัวจากการดัดจะใช้สมมุติฐานที่ว่าปล่องแกนจะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับคานปลายยื่นโดยที่

$$y_h = \frac{wH^4}{8EI_{xx}} = \frac{64.35 \times 96^4}{8 \times 2.497 \times 10^7 \times 166.14} = 0.1647 m$$

สำหรับปล่องแกน โมเมนต์ดัดมากที่สุดจะเกิดที่ฐาน มีค่าเท่ากับ

$$Mb = \frac{wH^2}{2} = \frac{64.35 \times 96^2}{2} = 296,525 kN.m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \frac{M_b c}{I} = \frac{296525 \times 5.2}{166.14} = 9281 \text{ kN/m}$$

ส่วนการหาผลของการเคลื่อนตัวจากการบิดจะสามารถหาได้โดยสมการ(91) สังเกตว่าในสมการจะประกอบด้วยตัวแปร αH ในทุก ๆ พจน์ เมื่อ $\alpha H = 8.0$ จะได้ $\sinh \alpha H = \cosh \alpha H = 1490.5$ ซึ่งมีค่ามากเมื่อเทียบกับ 1 จึงสามารถละ +1 และ -1 ในบางพจน์ออกไปได้ จึงสามารถตัดบางพจน์และลดรูปสมการได้เป็น

$$\theta(H) = \frac{mH^4}{EI_\infty} \left[\frac{0.5}{(\alpha H)^2} \right] = \frac{370 \times 96^4}{2.497 \times 10^7 \times 2316.8} \left[\frac{0.5}{8^2} \right] = 4.244 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

ทำการหาค่า y_i จากการเอามุมของการบิด $\theta(H)$ คูณด้วยความยาวของแขน(จากจุดศูนย์กลางแรงเหวี่ยงไปยังส่วนของอาคารที่อยู่ยอดสุดของตัวอาคาร จากภาพแปลนจะได้ว่า

$$y_i = r\theta = 4.244 \times 10^{-3} \times (20.5 + 5.76) = 0.1114 \text{ m}$$

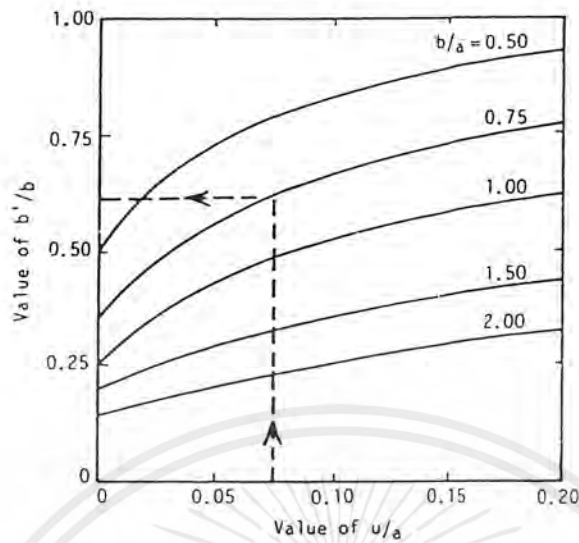
ดังนั้น

$$\Delta_y = y_i + y_b = 0.1647 + 0.1114 = 0.276 \text{ m} = 276 \text{ mm}$$

เมื่อคิดผลของการช่วยรับแรงจากโครงข้อแข็ง (core-frame interaction) เนื่องจากในทางปฏิบัติ นอกจากปล่องแกน โครงสร้างอื่น ๆ เช่น เสา คาน หรือพื้น ก็จะมีส่วนช่วยในการต้านทานแรงด้านข้างด้วยเช่นกัน การหาผลของการช่วยรับแรงจากโครงข้อแข็งจะใช้การหาค่าสัมประสิทธิ์(k_1)นำมาคูณกับระยะการเคลื่อนตัวของปล่องแกน

$$\Delta_y' = k_1(\Delta_y)$$

ข้อมูลที่เป็นต้องรู้เพิ่มเติมคือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด คาน เสา และ/หรือ พื้น ในกรณีที่เรากำลังพิจารณาอยู่เป็นโครงสร้างแบบพื้นไร้คาน ดังนั้นจะต้องทำการสมมูลพื้นที่ให้กลายเป็นคานซึ่งมีความลึกเท่ากับความหนาของพื้นและมีความกว้างของคานเท่ากับความกว้างประสิทธิผลซึ่งจะหาได้โดยการเปิดกราฟ ข้อมูลที่ต้องการหาเพื่อนำไปใช้ในการเปิดกราฟได้แก่ u = ความกว้างของเสาในแกนเดียวกับทิศทางของแรงลม = 1.0 เมตร, a = ความกว้างของช่วงเสาตามทิศทางของแรงลม = 6 เมตร, b = ความกว้างของช่วงเสาในทิศตั้งฉากกับแรงลม = 8 เมตร จากข้อมูลจะได้ $\frac{u}{a} = \frac{1}{6} = 0.167$ และ $\frac{b}{a} = \frac{8}{6} = 1.333$ นำไปดูในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3. ความกว้างประสิทธิผลของคานสมมูล
ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

จากกราฟจะได้ค่า $b' = 4.0$ เมตร และ โมเมนต์ความเฉื่อยของคานสมมูลเท่ากับ 0.0143 m^4
นำไปคิดผลของโครงข้อแข็ง(core-frame interaction) โดย

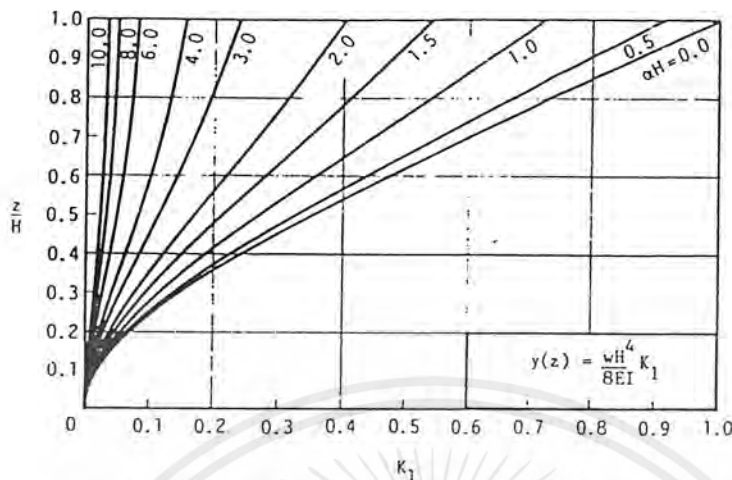
และ

$$G = \sum \left(\frac{I_g}{L} \right) = 0.05 \quad C = \sum \left(\frac{I_c}{h_i} \right) = 0.625$$

นำค่า G และ C แทนในสมการเพื่อหา GA

$$GA = \frac{12E}{h_i \left(\frac{1}{G} + \frac{1}{C} \right)} \quad \text{และ} \quad \alpha H = H \sqrt{\frac{GA}{EI_{xx}}}$$

จะได้ $GA = 4,335,069$ นำค่า GA ที่ได้ไปแทนในสมการ จะได้ $\alpha H = 2.774$ นำค่าที่ได้ไปเปิดจากรูปที่ 3.4.
จะได้ $k_1 = 0.30$ ดังนั้น $\Delta'_y = k_1(\Delta_y) = 0.3 \times 276 = 83 \text{ mm}$. จึงสรุปได้ว่า การเคลื่อนตัวมากที่สุดที่เกิดขึ้นมี
ค่าประมาณ 83 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4. แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การลดการเคลื่อนตัวโดยโครงข้อแข็ง
ที่มา : TALL BUILDING STRUCTURE

3.1.3. การวิเคราะห์โครงสร้างแบบปล้อง (Tubular Structures)

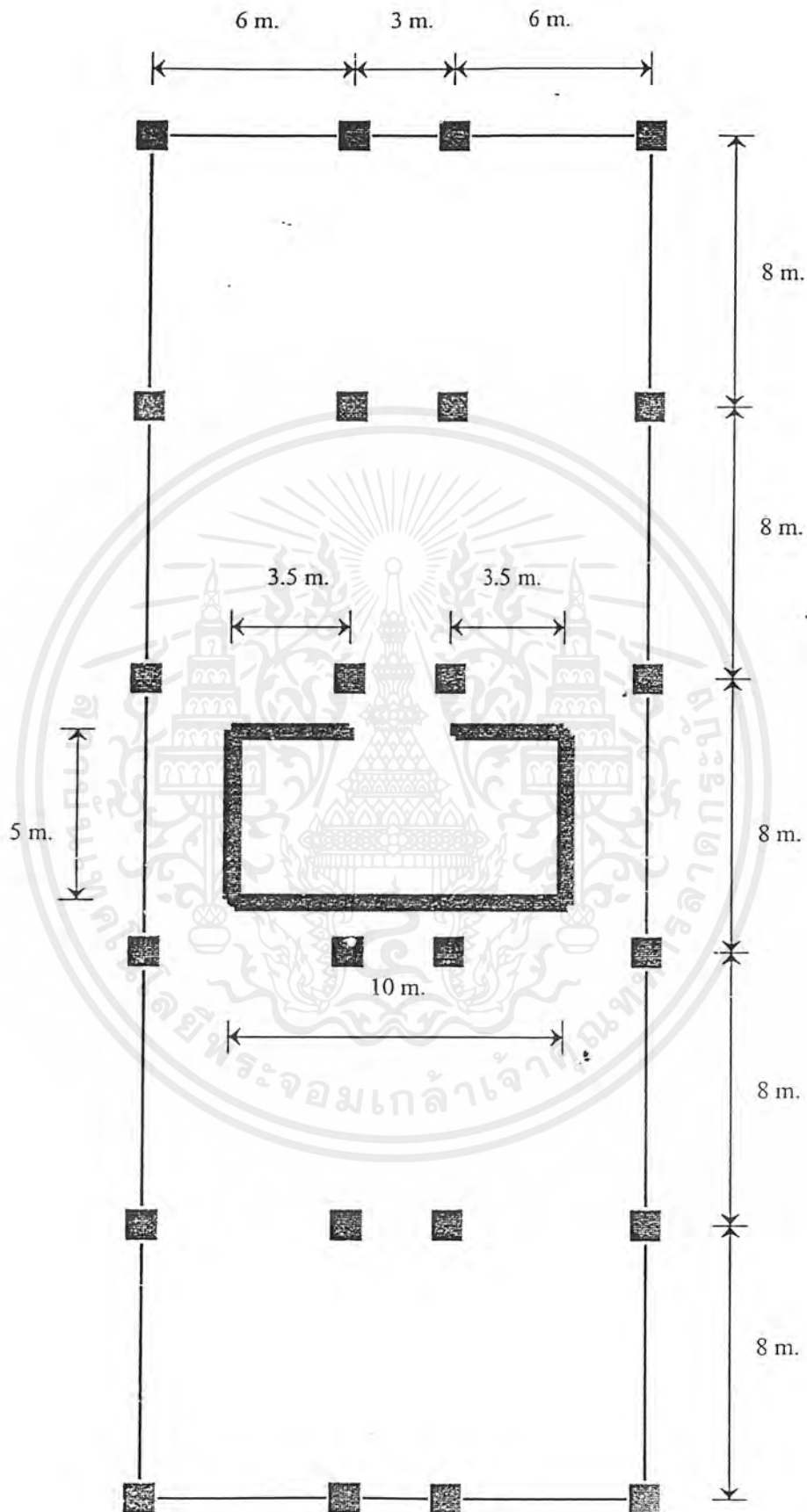
จากข้อมูลที่กำหนดคือ ใช้โครงสร้างอาคารเป็นโครงสร้างเหล็กขนาด $24 \times 32 \text{ m}^2$ ความสูง 60 ชั้น สูงชั้นละ 3.5 m ใช้ข้อกำหนดแรงลมสูงสุด 160 kg/m^2 และกำหนดค่าการแอ่นตัวสูงสุดจาก $L/500$ ดังนั้นค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างจะต้องไม่เกิน $21,000/500 = 42 \text{ cm}$ แผ่นพื้นที่ใช้เป็นแผ่นเหล็ก (metal deck) เททับด้วยคอนกรีตมวลเบา

เนื่องจากโครงสร้าง Frame tube นั้นเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโครงข้อแข็งที่ช่วงเสาของโครงสร้างนั้นจะค่อนข้างดีเพื่อให้โครงสร้างมีพฤติกรรมการคดเข้าใกล้กับพฤติกรรมของคานปลายยื่น ดังนั้นจึงสามารถประมาณขนาดหน้าตัดของเสาแล้วคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดรวมรอบแกนเซ็นทรอยด์ของหน้าตัดอาคาร โดยกำหนดเสาและคานขององค์อาคารให้ใช้เหล็ก WF 933 x 446.4 ซึ่งจะได้โมเมนต์ความเฉื่อยรวมเท่ากับ 209.8 m^4 ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าการแอ่นตัวของอาคารได้จากสมการการแอ่นตัวของคานปลายยื่น

$$\Delta = \frac{wH^4}{8EI}$$

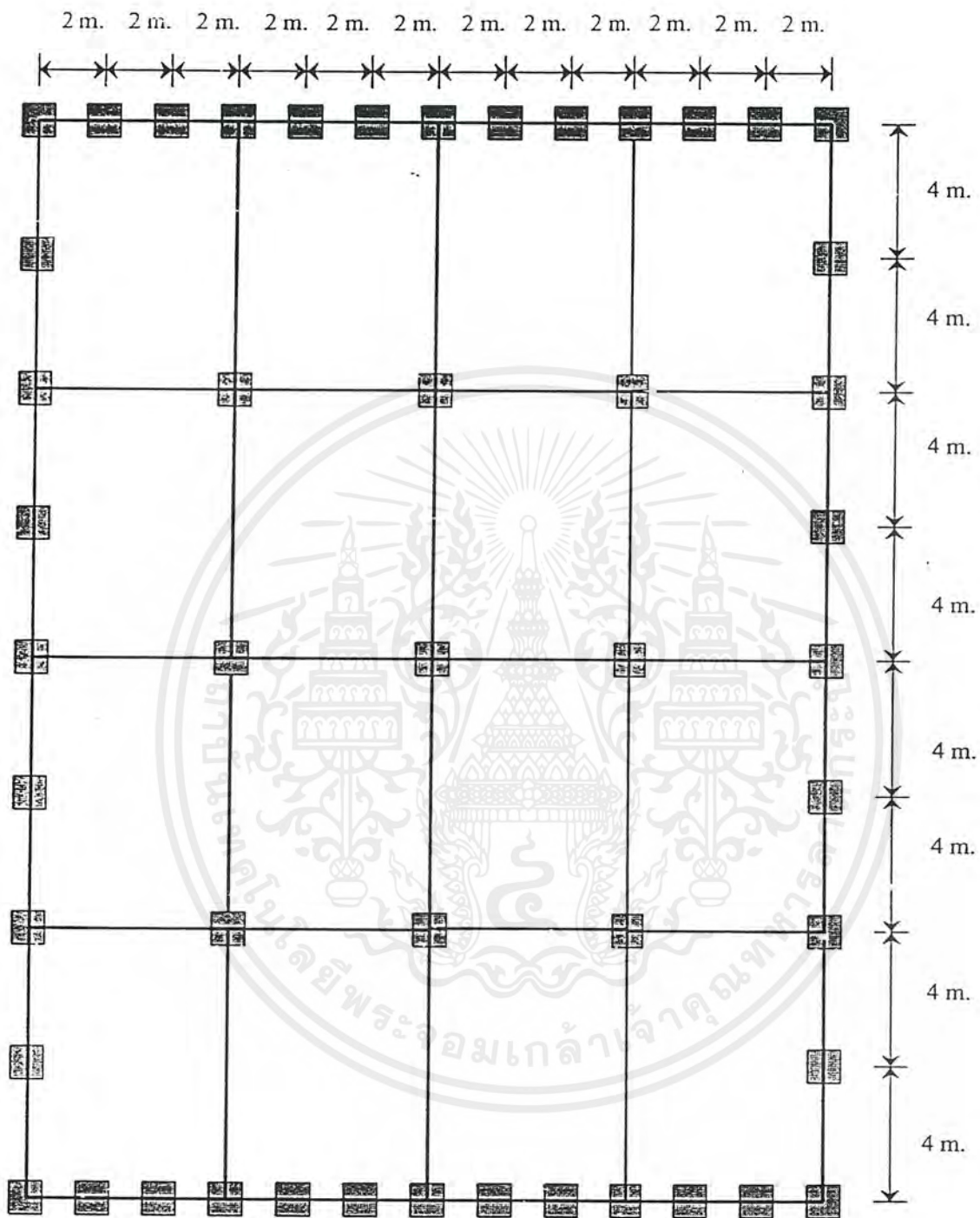
จากการแทนค่าในสมการดังกล่าวสามารถคำนวณค่าการแอ่นตัวได้เท่ากับ 0.29 m ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้จะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงเนื่องจากพิจารณาการแอ่นตัวเนื่องจากผลของการคด (Bending)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5. Plan โครงสร้าง Core ที่ใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6. Plan โครงสร้าง Frame-tubed ที่ใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงอย่างเดียวแต่ในความเป็นจริงแล้วองค์อาคารจะได้รับผลกระทบเนื่องจากแรงเฉือนด้วยซึ่งจะทำให้การแอ่นตัวที่เกิดขึ้นจริงนั้นมีความมากกว่า 0.29 m

3.1.4. การวิเคราะห์โครงสร้าง Outrigger (Outrigger-Braced Structures)

จากข้อมูลที่กำหนดคือ ใช้โครงสร้างอาคารเป็นโครงสร้างเหล็กขนาด $24 \times 32 \text{ m}^2$ ความสูง 60 ชั้น สูงชั้นละ 3.5 m ใช้ข้อกำหนดแรงลมสูงสุด 160 kg / m^2 ดังนั้นส่วนปล่องแกน (core) จะต้องต้านทานแรงลม $5,120 \text{ kg / m}$ และกำหนดค่าการแอ่นตัวสูงสุดจาก $L/500$ ดังนั้นค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างจะต้องไม่เกิน $21,000/500 = 42 \text{ cm}$ แผ่นพื้นที่ใช้เป็นแผ่นเหล็ก (metal deck) เททับด้วยคอนกรีตมวลเบา

โดยปกติแล้วส่วนปล่องแกนและแขน outrigger จะใช้เป็นโครงข้อหมุนเหล็กขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณนั้นเป็นสมการที่พิจารณาส่วนปล่องแกนและแขน outrigger มีการแอ่นตัวในลักษณะของคานปลายยื่น (cantilever mode) ดังนั้นสมการดังกล่าวจึงไม่สามารถนำมาใช้กับโครงข้อหมุนเหล็กได้ ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้ส่วนปล่องแกนและแขน outrigger เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ส่วนเสาและคานที่ล้อมรอบใช้เหล็กรูปพรรณเชื่อมยึดกันเป็นโครงข้อแข็ง สำหรับขนาดของเหล็กรูปพรรณที่เลือกใช้นั้นมีดังนี้

- (1) เสารองรับแขน outrigger ใช้เหล็ก WF 498 x 605 ทั้ง 2 ด้าน
- (2) เสาต้นอื่น ๆ ใช้เหล็ก WF 933 x 446.4
- (3) คานทั้งหมดใช้เหล็ก WF 933 x 446.4

สำหรับปล่องแกนคอนกรีตเสริมเหล็กมีลักษณะดังรูป plan ของอาคาร โดยมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อย $I = 334.41 \text{ m}^4$ และแขน outrigger มีขนาด $1 \times 3.5 \text{ m}^2$ จะได้ $I_o = 3.57 \text{ m}^4$ แต่เนื่องจากปล่องแกนมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถปรับแก้แขน outrigger ตามสมการที่ (2.51) ซึ่งจะได้ $I_o = 12.05 \text{ m}^4$ จากข้อมูลที่ได้สามารถนำไปคำนวณค่า α , β และ ω จากสมการที่ (2.21.) , (2.22.) และ (2.23.) ซึ่งจะได้ $\alpha = 1.88$, $\beta = 3.17$ และ $\omega = 0.09$ จากนั้นจึงหาความสูงที่เหมาะสมของแขน outrigger จากกราฟรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมของแขน outrigger นั้นอยู่ที่ระยะความสูงจากพื้น 79.8 m และ 151.2 m นั่นคือจะวางอยู่ที่ชั้น 23 และ 43

จากข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติหน้าตัด คือ I , I_o , E และ A จะสามารถคำนวณค่า S และ S_1 ได้จากสมการที่ (2.108.) และ (2.109.) โดยที่ $S = 3.38 \times 10^{-12}$ และ $S_1 = 3.26 \times 10^{-11}$ จากค่าที่ได้สามารถนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าโมเมนต์ที่แขน outrigger ระดับที่ 1 และ 2 คือ 9,140,291.59 kg-m และ 15,173,561.45 kg-m เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดจึงนำไปคำนวณการแอ่นตัวของปล่องแกนได้จากสมการ (113) โดยที่ $\Delta_o = 1.00$ m

เมื่อพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างแล้วพบว่าโครงข้อแข็งรอบๆปล่องแกนจะช่วยต้านทานแรงกระทำจากภายนอกด้วย ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ในลักษณะของพฤติกรรมร่วมซึ่งพิจารณาได้โดยคำนวณค่า αH จากสมการ

$$\alpha H = H \sqrt{\frac{(GA)_c}{(EI)_c}}$$

$$GA = \frac{12E}{h\left(\frac{1}{G} + \frac{1}{C}\right)}$$

$$\text{โดยที่ } G = \sum(I_g/I_g) \\ C = \sum(I_c/I_c)$$

จากข้อมูลที่ได้สามารถคำนวณค่า $G = 3.36 \times 10^3$ และค่า $C = 0.0121$ นำไปแทนค่าเพื่อหา αH ได้เท่ากับ 2.18 จากค่าดังกล่าวประกอบกับกราฟทำให้ได้ค่า $K_1 = 0.37$ ดังนั้น จะได้ $\Delta = 1.00 \times 0.37 = 0.37$ m

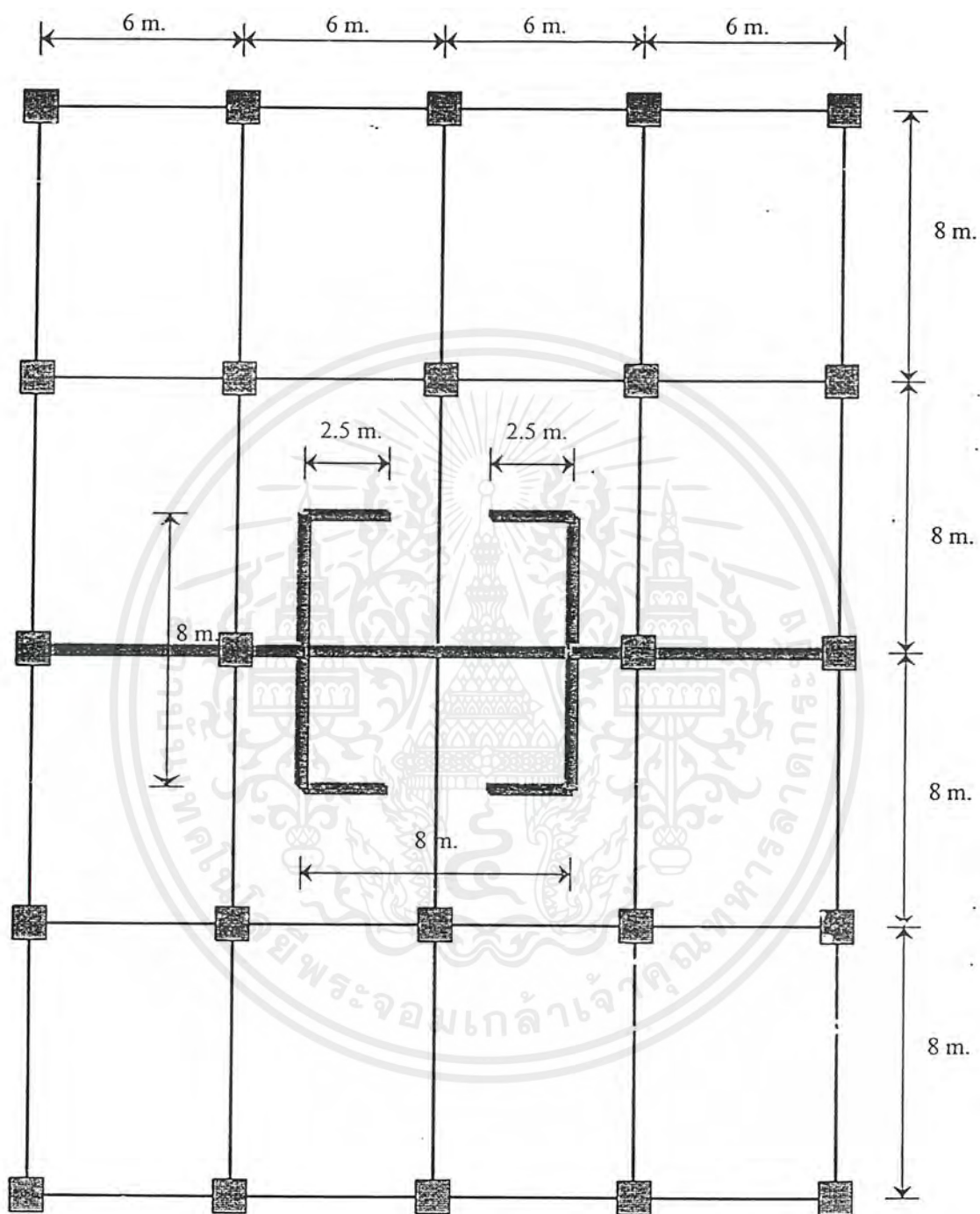
นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่าโมเมนต์ที่กระทำกับกับปล่องแกนที่ระดับความสูงต่างๆได้จากสมการที่ (2.112.) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณค่าโมเมนต์ที่กระทำกับปล่องแกน

ที่ระดับ $z = 42$ m จะได้โมเมนต์ที่กระทำกับปล่องแกนอย่างเฉียวเท่ากับ $w x^2 / 2 = 72,253,440$ kg-m และที่ระดับดังกล่าวมีอิทธิพลเนื่องจาก M_1, M_2 ด้วยดังนั้น โมเมนต์ที่ระดับดังกล่าวจะเท่ากับ

$$M = 72,253,440 - 9,140,291.59 - 15,173,561.45 = 47,939,586.96 \text{ kg-m}$$

สำหรับที่ระดับความสูงต่างๆสามารถคำนวณค่าโมเมนต์ที่กระทำกับปล่องแกนได้ซึ่งแสดงไว้ในตารางเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรม PCA FRAME



รูปที่ 3.7. Plan โครงสร้าง Outrigger ที่ใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการคำนวณวิเคราะห์ผลจะใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ PCA FRAME โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะเป็น 3 มิติ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในโครงสร้างอาคารสูงที่มีแรงลมมากระทำทางด้านข้าง ซึ่งผลที่ได้จะมีค่าละเอียดกว่าการใช้การออกแบบโดยใช้สมการในการคำนวณ โดยจะทำการวิเคราะห์ในลักษณะต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กรณี ดังนี้

- 1) $U = 1.0W_x$
- 2) $U = 1.0W_z$
- 3) $U = 1.4D + 1.7L$
- 4) $U = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W_x)$
- 5) $U = 0.9D + 1.3W_x$

การวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะใช้ค่าตัวคูณเพิ่มเท่ากับ 1.4 สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่สามารถหาได้อย่างแม่นยำ ส่วนตัวคูณเพิ่ม 1.7 จะใช้สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งส่วนมากได้มาจากการประมาณ การวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 ใช้เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกคงที่สูงสุดและน้ำหนักบรรทุกจรสูงสุดกระทำต่อองค์อาคาร โดยไม่มีแรงลมกระทำทางด้านข้าง ในกรณีที่ 4 ตัวคูณ 0.75 ถูกใช้เนื่องจากความไม่แน่นอนว่าแรงลมสูงสุดและน้ำหนักบรรทุกจรจะกระทำพร้อมกันบนองค์อาคาร ส่วนในกรณีที่ 5 ใช้ในกรณีที่ถ้าไม่มีน้ำหนักบรรทุกจรกระทำบนองค์อาคาร และทำให้เกิดการกลับทางของหน่วยแรงหรือเกิดความเป็นไปได้ที่แรงลมจะทำให้โครงสร้างเกิดการเอียงล้มได้ สำหรับข้อมูลที่ต้องใส่ในโปรแกรมนั้นจะพบว่าต้องใส่ค่าความหนาแน่น (density) ซึ่งปกติแล้วมีหน่วยเป็น kg/m^3 แต่ในโปรแกรมนั้นเราสามารถเลือกหน่วยของข้อมูลที่ต้องการได้ โดยเราจะต้องใส่ค่าของข้อมูลให้ถูกต้องตามหน่วยที่เราเลือก เช่น ถ้าเราเลือกไว้หน่วยเป็น kN/m^3 แล้ว เราต้องใส่ค่าของข้อมูลตามหน่วยดังกล่าว เป็นต้น ซึ่งจุดนี้ถือเป็นความผิดพลาดของโปรแกรมอันจะทำให้เกิดความสับสนว่าเป็นค่าความหนาแน่นหรือค่าน้ำหนักจำเพาะกันแน่

3.2.1 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ PCA FRAME

การสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการสร้างองค์อาคารต่างๆ เพื่อใช้ในการป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ PCA FRAME ซึ่งได้แก่

- (1) โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) = 2.4968×10^7 kN/m^2
- (2) โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (E_s) = 2.0012×10^8 kN/m^2

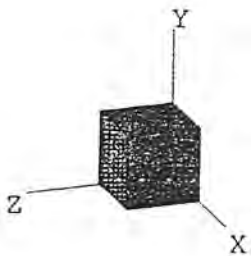
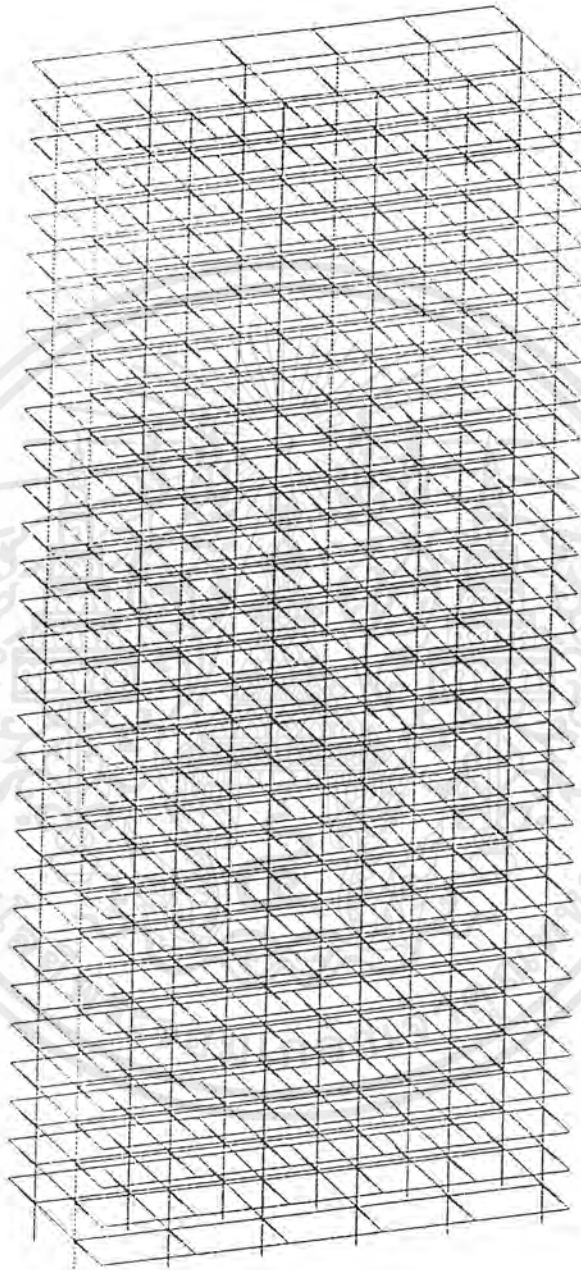
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- | | | | |
|-------------------------------|---|---------|-------------------|
| (3) ความหนาแน่นของคอนกรีต | = | 23.544 | kN/m ³ |
| (4) ความหนาแน่นของเหล็ก | = | 77.0085 | kN/m ³ |
| (5) อัตราส่วนปัวซองของคอนกรีต | = | 0.2 | |
| (6) อัตราส่วนปัวซองของเหล็ก | = | 0.288 | |

ข้อมูลที่จำเป็นอื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งได้แก่ ขนาดหน้าตัด พื้นที่หน้าตัด(A) โมเมนต์ของความเฉื่อยรอบแกน Z (I_z) โมเมนต์ของความเฉื่อยรอบแกน Y (I_y) และโพลาโมเมนต์ของความเฉื่อย (J) จะขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้าตัดที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์

3.2.1.1. โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Wall Structures)

เมื่อได้ขนาดของโครงสร้างจากการออกแบบโดยใช้สมการ ดังที่ได้แสดงแล้วจึงนำขนาดโครงสร้างดังกล่าวมาใส่ในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง PCA FRAME โดยกำหนดให้ขนาดของแบบจำลองของโครงสร้างในทิศทางแกน X กว้าง 15 เมตร และทิศทางในแนวแกน Y ยาว 40 เมตร สำหรับการกำหนด Shearwalls ในโปรแกรมนั้นจะกำหนดตำแหน่งของเสา ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 0.3x6 เมตร ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของ Shearwalls แล้วจึงสร้างคานเชื่อมต่อตรงกลางระหว่าง Shearwalls 2 ตัว ในแนวแกน X แล้วจึงกำหนด rigid-end offsets ออกไปทั้ง 2 ข้างของเสา แต่เนื่องจากข้อกำหนดของโปรแกรม เราไม่สามารถกำหนด rigid-end offsets ที่คานตัวนั้นได้เกินครึ่งหนึ่งของความยาวคาน ดังนั้นคานตัวที่เชื่อมต่อจึงไม่สามารถกำหนด rigid-end offsets จึงต้องแปลงคานเชื่อมต่อให้เป็นคานสมมูล ซึ่งมีโมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิภาพ $I_e = (9/3)^3(0.006) = 0.162 \text{ m}^4$ โดยวิเคราะห์จากการแอมตัวที่เท่ากัน สำหรับอีกด้านหนึ่งของเสานั้นต้องสร้างเป็นคานยาว 6 เมตร ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่า โดยกำหนดให้ขนาดเล็กลงมาเปรียบเสมือนว่าไม่มีอยู่ในอยู่ในแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อให้มีพฤติกรรมเหมือนโครงสร้างจริง แล้วทำการกำหนด rigid-end offsets ออกไปจากกลางเสาเป็นระยะ 3 เมตร สำหรับคานเชื่อมระหว่าง Shearwalls ในแนวแกน Z นั้น จะสามารถหาขนาดได้จากการคำนวณความกว้างประสิทธิภาพของคานจากหลักการที่ได้กล่าวถึงในภาคทฤษฎี จากนั้นจึงใส่แรงลมกระทำตามทิศทาง X เท่ากับค่าที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้นด้วยการใช้สมการส่วนแรงในแนวดิ่งเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่และน้ำหนักบรรทุกจรจะมีลักษณะเป็นแรงกระทำเป็นจุดถ่ายลงตามตำแหน่งเสา เนื่องจากพื้นของอาคารเป็นระบบ Post-tension เมื่อใส่ข้อมูลครบจึงทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PCA FRAME และตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากสมการออกแบบ



รูปที่ 3.8. โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL INFORMATION:

=====

File name: D:\PROJEC~1\COUPLE~1\COUPLES.H.FR
 Project : COUPLE SHEARWALL
 Engineer : KRIANGSAK TANGPONGPRASIT

Structure Type : 3-D FRAME No. of Joints : 732
 Units of Measure: Metric No. of Members: 1500

UNITS:

=====

Length	: m	Point Load	: kN
Section Dimensions	: m	Distributed Load	: kN/m
Area	: m^2	Moment Load	: kN-m
Moment of Inertia	: m^4	Known Displacement	: m
Linear Spring	: kN/m	Shear, Axial Load	: kN
Rotational Spring	: kN-m/rad	Moment, Torsion	: kN-m
Modulus of Elasticity	: kN/m^2	Deflection	: m
Material Density	: kN/m^3		

DEFAULTS:

=====

Density (d)	= 23.544	kN/m^3
Modulus of Elasticity (E)	= 2.4968e+007	kN/m^2
Poisson's Ratio (v)	= 0.2	
Thermal Coefficient (a)	= 0	
Section Area (A)	= 0.09	m^2
Moment of Inertia (Iz)	= 0.00675	m^4
Moment of Inertia (Iy)	= 0.00675	m^4
Polar Mom. of Inertia (J)	= 0.0135	m^4
Beta Angle	= 0	Degree

SECTION DEFINITIONS:

=====

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label		Parameter 1/ T Cr-Coef (A)	Parameter 2/ Cr-Coef (Iz)	Parameter 3/ Cr-Coef (Iy)	Parameter 4/ Cr-Coef (J)
beam1	R	0.3	0.3	-	-
		1	1	1	1
beam2	R	2.8	0.3	-	-
		1	1	1	1
shearwall	R	0.3	6	-	-
		1	1	1	1
beam	R	0.0001	0.0001	-	-
		1	1	1	1
connecting beam	U	0.849	0.172	15.299	15.471
		1	1	1	1
beam Z-axis	R	2.625	0.3	-	-
		1	1	1	1

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
0.5wind X-axis	G-X-D	6.2784	0	1
wind X-axis	G-X-D	12.5568	0	1
wind Z-axis	G-Z-D	11.772	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF	wind X-axis	Live	Dead
live half	dead half	wind Z-axis	

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
1.4D+1.7L	1.4 x SELF 1.7 x Live 1.7 x live half 1.4 x Dead 1.4 x dead half
1.05D+1.275(L+W)	1.05 x SELF 1.05 x Dead 1.05 x dead half 1.275 x wind X-axis 1.275 x Live 1.275 x live half
0.9D+1.3W	0.9 x SELF 0.9 x Dead 0.9 x dead half 1.3 x wind X-axis
1.0Wx	1 x wind X-axis
1.0Wz	1 x wind Z-axis

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

=====

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wx	2	-613 1.79e-007	-4.41e+003 1.34e-005	1.07e-007 9.08e+003
	3	-593 -1.51e-007	4.41e+003 1.34e-005	-9.89e-008 9.07e+003
	6	-613 1.8e-007	-4.41e+003 1.34e-005	1.09e-007 9.08e+003
	7	-593 -1.5e-007	4.41e+003 1.34e-005	-9.77e-008 9.07e+003
	10	-613 1.8e-007	-4.41e+003 1.34e-005	1.09e-007 9.08e+003
	11	-593 -1.5e-007	4.41e+003 1.34e-005	-9.77e-008 9.07e+003
	14	-613 1.8e-007	-4.41e+003 1.34e-005	1.09e-007 9.08e+003
	15	-593 -1.5e-007	4.41e+003 1.34e-005	-9.77e-008 9.07e+003
	18	-613 1.8e-007	-4.41e+003 1.34e-005	1.09e-007 9.08e+003
	19	-593 -1.5e-007	4.41e+003 1.34e-005	-9.77e-008 9.07e+003
	22	-613 1.79e-007	-4.41e+003 1.34e-005	1.07e-007 9.08e+003
	23	-593 -1.51e-007	4.41e+003 1.34e-005	-9.89e-008 9.07e+003
External		7.23e+003 0	0 1.45e+005	0 -3.47e+005
Internal		-7.23e+003 -0.00391	0 -1.45e+005	6.1e-008 3.47e+005

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

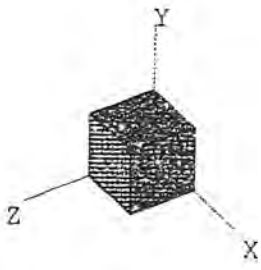
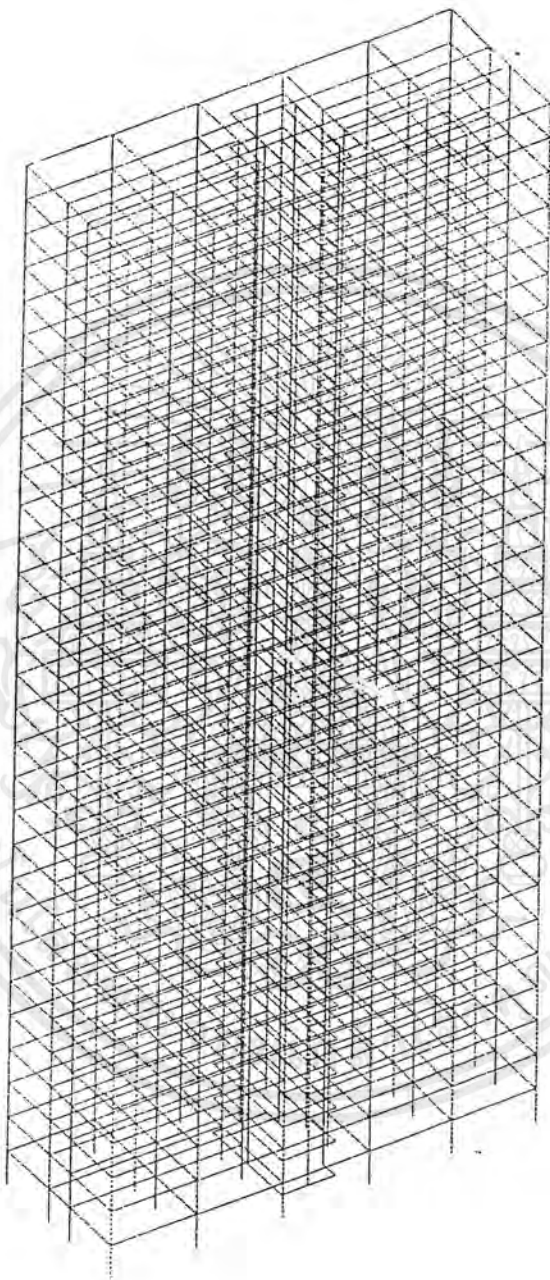
Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wx	721	0.085	0.00959	-5.72e-011
	722	0.085	0.00395	-2.85e-011
	723	0.085	-0.00395	1.46e-011
	724	0.085	-0.00959	4.33e-011
	725	0.085	0.00959	-5.72e-011
	726	0.085	0.00395	-2.85e-011
	727	0.085	-0.00395	1.46e-011
	728	0.085	-0.00959	4.33e-011
	729	0.085	0.00959	-5.72e-011
	730	0.085	0.00395	-2.85e-011
	731	0.085	-0.00395	1.46e-011
	732	0.085	-0.00959	4.33e-011
	733	0.085	0.00959	-5.72e-011
	734	0.085	0.00395	-2.85e-011
	735	0.085	-0.00395	1.46e-011
	736	0.085	-0.00959	4.33e-011
	737	0.085	0.00959	-5.72e-011
	738	0.085	0.00395	-2.85e-011
	739	0.085	-0.00395	1.46e-011
	740	0.085	-0.00959	4.33e-011
	741	0.085	0.00959	-5.72e-011
	742	0.085	0.00395	-2.85e-011
	743	0.085	-0.00395	1.46e-011
	744	0.085	-0.00959	4.33e-011

3.2.1.2 โครงสร้างปล้องแกน (Core Structures)

เมื่อได้ขนาดของโครงสร้างจากการออกแบบโดยใช้สมการออกแบบ แล้วจึงนำขนาดโครงสร้างที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม PCA FRAME โดยกำหนดให้ขนาดของแบบจำลองของอาคารในทิศทางแกน X กว้าง 15 เมตร และทิศทางแกน Y ยาว 24 เมตร จากนั้นจึงสร้าง Core ของโครงสร้างโดยกำหนดเป็นเสาที่ตำแหน่งกึ่งกลางของผนังแต่ละด้านซึ่งประกอบกันเป็น core สำหรับคานที่เชื่อมระหว่างเสาของ core นั้นจะกำหนดให้มีขนาดเล็กมาก เพื่อจะได้ไม่ต้องใช้ในการรับแรงที่กระทำจากนั้นจึงสร้างเสาและคานที่อยู่บริเวณรอบๆ core การถ่ายแรงจากน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่และน้ำหนักบรรทุกจอร์นนั้นจะมีลักษณะเป็นแรงที่ถ่ายลงเป็นจุดที่ตำแหน่งของเสาบริเวณต่างๆ ของอาคาร เนื่องจากพื้นเป็นระบบ Post-tension สำหรับการใส่แรงกระทำอันเนื่องมาจากแรงลมนั้นจะแบ่งเป็นใส่แรงกระทำแบบกระจาย (distributed load) ที่ core และแรงกระทำเป็นจุด (point load) ที่โครงข้อแข็ง ซึ่งแรงที่กระทำที่ core นั้นจะสามารถคำนวณได้โดยการเทียบแรงกระทำและการแอ่นตัวแบบเชิงเส้นจากค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ ซึ่งจะได้แรงกระทำกระจาย เท่ากับ 18.97 kN/m สำหรับแรงกระทำที่เหลือ 31.26 kN/m จะแบ่งเป็นแรงกระทำเป็นจุดกระทำ เท่ากับ 28.04 kN จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม PCA FRAME เพื่อตรวจสอบค่าการแอ่นตัวที่ได้ ซึ่งปรากฏค่าการแอ่นตัวของ core และโครงข้อแข็งไม่เท่ากัน แต่พฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงของโครงสร้างนั้น ทั้งสองส่วนจะต้องมีการแอ่นตัวเท่ากัน ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้ค่าแรงกระจายและแรงกระทำเป็นจุดเพื่อให้ได้การแอ่นตัวที่เท่ากัน โดยแรงรวมที่กระทำต่อโครงสร้างยังคงเท่าเดิม

3.2.1.3. โครงสร้างปล้อง (Tubular Structure)

เมื่อได้ขนาดของโครงสร้างจากการคำนวณโดยใช้สมการการแอ่นตัวของคานปลายยื่นแล้ว จึงนำมาสร้างแบบจำลองของโครงสร้างในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง PCA FRAME โดยกำหนดให้ขนาดของแบบจำลองทิศทางแกน X กว้าง 24 เมตร และทิศทางแกน Y ยาว 32 เมตร ซึ่งลักษณะโครงสร้างนั้นมีลักษณะเหมือนโครงสร้างโครงข้อแข็งทั่วๆ ไป จึงไม่พบปัญหาในการสร้างโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในโปรแกรมนี้ หลังจากกำหนดขนาดต่างๆ เรียบร้อยแล้วจึงใส่แรงในแนวดิ่ง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่และน้ำหนักบรรทุกจอร์นโดยการถ่ายแรงจะมีลักษณะเป็นแรงกระจายลงองค์ประกอบที่เป็นคานส่วนแรงลมจะเป็นแรงกระทำแบบจุดที่ตำแหน่งจุดต่อของโครงสร้างในด้านที่รับแรงลม ซึ่งแรงที่กระทำมีทิศทางในแนวแกน X จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม PCA FRAME เพื่อตรวจสอบค่าการแอ่นตัวที่ได้กับค่าการแอ่นตัวจากสมการการแอ่นตัวของคานปลายยื่น



รูปที่ 3.9. โครงสร้างกล่องแกน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL INFORMATION:

=====

File name: D:\PROJEC~1\COREST~1\CORE1.FRM
 Project : core
 Engineer : Kriangsak Tangpongprasit

Structure Type : 3-D FRAME No. of Joints : 1023
 Units of Measure: Metric No. of Members: 1988

UNITS:

=====

Length	: m	Point Load	: kN
Section Dimensions	: m	Distributed Load	: kN/m
Area	: m ²	Moment Load	: kN-m
Moment of Inertia	: m ⁴	Known Displacement	: m
Linear Spring	: kN/m	Shear, Axial Load	: kN
Rotational Spring	: kN-m/rad	Moment, Torsion	: kN-m
Modulus of Elasticity	: kN/m ²	Deflection	: m
Material Density	: kN/m ³		

DEFAULTS:

=====

Density (d)	= 23.544	kN/m ³
Modulus of Elasticity (E)	= 2.4968e+007	kN/m ²
Poisson's Ratio (v)	= 0.2	
Thermal Coefficient (a)	= 0	
Section Area (A)	= 1	m ²
Moment of Inertia (Iz)	= 0.08333	m ⁴
Moment of Inertia (Iy)	= 0.08333	m ⁴
Polar Mom. of Inertia (J)	= 0.16667	m ⁴
Beta Angle	= 0	Degree

SECTION DEFINITIONS:

=====

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label	Parameter 1/ T Cr-Coeff(A)	Parameter 2/ Cr-Coeff(Iz)	Parameter 3/ Cr-Coeff(Iy)	Parameter 4/ Cr-Coeff(J)
small-beam	R 0.0001	0.0001	-	-
wall1	R 1	1	1	1
wall2	R 0.4	3.5	-	-
wall3	R 1	1	1	1
beam-core	R 0.4	0.7	-	-
beam	R 4	0.35	-	-

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
-----	-----	-----	-----	-----
lateral	G-X-D	18.9717	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF lateral

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
-----	-----
1.0W	1 x lateral



JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0W	721	0.0903	0.00343	2.08e-011
	722	0.0903	0.000905	7.14e-012
	723	0.0903	-0.000905	3.04e-013
	724	0.0903	-0.00343	-1.34e-011
	725	0.0903	0.00343	2.08e-011
	726	0.0903	0.000905	7.14e-012
	727	0.0903	-0.000905	3.04e-013
	728	-0.0903	-0.00343	-1.34e-011
	729	0.0903	0.00343	2.08e-011
	730	0.0903	0.000905	7.14e-012
	731	0.0903	-0.000905	3.04e-013
	732	0.0903	-0.00343	-1.34e-011
	733	0.0903	0.00343	2.08e-011
	734	0.0903	0.000905	7.14e-012
	735	0.0903	-0.000905	3.04e-013
	736	0.0903	-0.00343	-1.34e-011
	737	0.0903	0.00343	2.08e-011
	738	0.0903	0.000905	7.14e-012
	739	0.0903	-0.000905	3.04e-013
	740	0.0903	-0.00343	-1.34e-011
	741	0.0903	0.00343	2.08e-011
	742	0.0903	0.000905	7.14e-012
	743	0.0903	-0.000905	3.04e-013
	744	0.0903	-0.00343	-1.34e-011
	1015	0.0734	0.00225	0.000147
	1016	0.0734	0.00337	0.000882
	1017	0.0747	0.00297	0.000884
	1018	0.0752	0.00308	0.000886
	1019	0.0752	2.31e-006	0.000683
	1020	0.0752	-0.0031	-0.000802
	1021	0.0739	-0.00298	-0.000801
	1022	0.0734	-0.0034	-0.0008
	1023	0.0734	-0.00225	-0.000626

GENERAL INFORMATION:

=====

File name: D:\PROJEC~1\COREST~1\CORE3.FRM
 Project : core
 Engineer : Kriangsak Tangpongprasit

Structure Type : 3-D FRAME No. of Joints : 1023
 Units of Measure: Metric No. of Members: 2228

UNITS:

=====

Length	: m	Point Load	: kN
Section Dimensions	: m	Distributed Load	: kN/m
Area	: m^2	Moment Load	: kN-m
Moment of Inertia	: m^4	Known Displacement	: m
Linear Spring	: kN/m	Shear, Axial Load	: kN
Rotational Spring	: kN-m/rad	Moment, Torsion	: kN-m
Modulus of Elasticity	: kN/m^2	Deflection	: m
Material Density	: kN/m^3		

DEFAULTS:

=====

Density (d)	= 23.544	kN/m^3
Modulus of Elasticity(E)	= 2.4968e+007	kN/m^2
Poisson's Ratio (v)	= 0.2	
Thermal Coefficient (a)	= 0	
Section Area (A)	= 1	m^2
Moment of Inertia (Iz)	= 0.08333	m^4
Moment of Inertia (Iy)	= 0.08333	m^4
Polar Mom. of Inertia (J)	= 0.16667	m^4
Beta Angle	= 0	Degree

SECTION DEFINITIONS:

=====

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label		Parameter 1/ T Cr-Coeff(A)	Parameter 2/ Cr-Coeff(Iz)	Parameter 3/ Cr-Coeff(Iy)	Parameter 4/ Cr-Coeff(J)
small-beam	R	0.0001	0.0001	-	-
		1	1	1	1
wall1	R	0.4	3.5	-	-
		1	1	1	1
wall2	R	5	0.4	-	-
		1	1	1	1
wall3	R	0.4	10	-	-
		1	1	1	1
beam-core	R	0.4	0.7	-	-
		1	1	1	1
X-beam	R	4	0.35	-	-
		1	1	1	1
Z-beam1	R	3.735	0.35	-	-
		1	1	1	1
Z-beam2	R	2.85	0.35	-	-
		1	1	1	1

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
-----	-----	-----	-----	-----
X-wind	G-X-D	21.4495	0	1
Z-wind	G-Z-D	2.785	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF	X-wind	Z1-wind	Z2-wind
DL1	DL2	DL3	DL4
LL1	LL2	LL3	LL4

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
-----	-----
1.0Wz	1 x Z1-wind 1 x Z2-wind
1.0Wx	1 x X-wind
1.4D+1.7L	1.4 x DL1 1.4 x DL2 1.4 x DL3 1.4 x DL4 1.7 x LL1 1.7 x LL2 1.7 x LL3 1.7 x LL4 1.4 x SELF
1.05D+1.275(L+W)	1.05 x SELF 1.05 x DL1 1.05 x DL2 1.05 x DL3 1.05 x DL4 1.275 x LL1 1.275 x LL2 1.275 x LL3 1.275 x LL4 1.275 x X-wind
0.9D+1.3W	0.9 x SELF 0.9 x DL1 0.9 x DL2 0.9 x DL3 0.9 x DL4 1.3 x X-wind

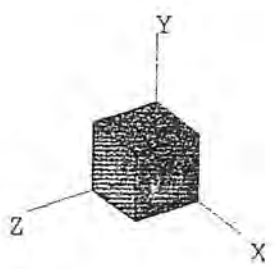
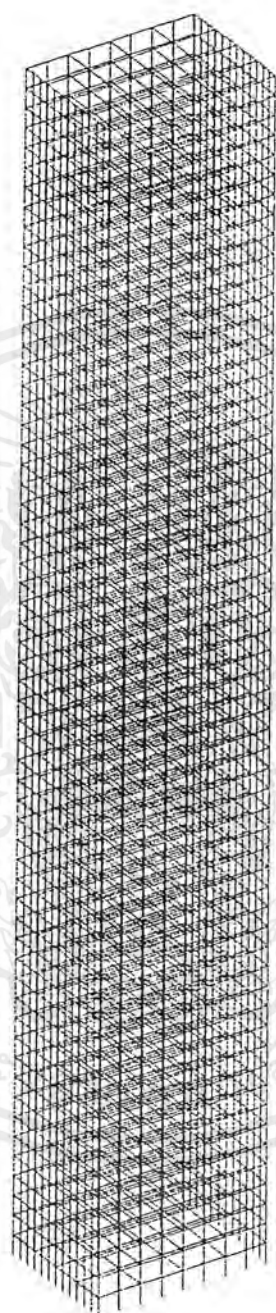
SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wx	1	-195 -1.26e-006	-2.14e+003 -7.58e-008	-7.96e-007 687
	2	-229 -2.42e-007	-1.47e+003 -7.58e-008	-1.57e-007 752
	3	-229 2.69e-007	1.47e+003 -7.58e-008	1.62e-007 752
	4	-168 1.29e-006	2.14e+003 -7.58e-008	8.01e-007 687
	5	-168 -1.26e-006	-2.14e+003 -7.57e-008	-7.96e-007 687
	6	-229 -2.41e-007	-1.47e+003 -7.58e-008	-1.57e-007 752
	7	-229 2.7e-007	1.47e+003 -7.58e-008	1.63e-007 752
	8	-168 1.29e-006	2.14e+003 -7.57e-008	8.02e-007 687
	9	-168 -1.26e-006	-2.14e+003 -7.57e-008	-7.96e-007 687
	10	-229 -2.42e-007	-1.47e+003 -7.58e-008	-1.57e-007 752
	11	-229 2.7e-007	1.47e+003 -7.58e-008	1.63e-007 752
	12	-168 1.29e-006	2.14e+003 -7.57e-008	8.02e-007 687
	13	-168 -1.26e-006	-2.14e+003 -7.57e-008	-7.96e-007 687
	14	-229 -2.42e-007	-1.47e+003 -7.58e-008	-1.57e-007 752
	15	-229 2.7e-007	1.47e+003 -7.58e-008	1.63e-007 752
	16	-168 1.29e-006	2.14e+003 -7.57e-008	8.02e-007 687
	17	-168 -1.26e-006	-2.14e+003 -7.57e-008	-7.96e-007 687
	18	-229 -2.41e-007	-1.47e+003 -7.58e-008	-1.57e-007 752
	19	-229 2.7e-007	1.47e+003 -7.58e-008	1.63e-007 752
	20	-168 1.29e-006	2.14e+003 -7.57e-008	8.02e-007 687
	21	-168 -1.26e-006	-2.14e+003 -7.58e-008	-7.96e-007 687
	22	-229 -2.42e-007	-1.47e+003 -7.58e-008	-1.57e-007 752
	23	-229 2.69e-007	1.47e+003 -7.58e-008	1.62e-007 752
	24	-168 1.29e-006	2.14e+003 -7.58e-008	8.01e-007 687
External		6.85e+003 0	0 1.36e+005	0 -3.35e+005
Internal		-6.85e+003 -0.0122	0 -1.36e+005	-2.38e-006 3.35e+005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wx	721	0.0852	0.00324	2.47e-011
	722	0.0852	0.000853	2.54e-012
	723	0.0852	-0.000853	-8.52e-012
	724	0.0852	-0.00324	-3.06e-011
	725	0.0852	0.00324	2.47e-011
	726	0.0852	0.000853	2.54e-012
	727	0.0852	-0.000853	-8.52e-012
	728	0.0852	-0.00324	-3.06e-011
	729	0.0852	0.00324	2.47e-011
	730	0.0852	0.000853	2.54e-012
	731	0.0852	-0.000853	-8.52e-012
	732	0.0852	-0.00324	-3.06e-011
	733	0.0852	0.00324	2.47e-011
	734	0.0852	0.000853	2.54e-012
	735	0.0852	-0.000853	-8.52e-012
	736	0.0852	-0.00324	-3.06e-011
	737	0.0852	0.00324	2.47e-011
	738	0.0852	0.000853	2.54e-012
	739	0.0852	-0.000853	-8.52e-012
	740	0.0852	-0.00324	-3.06e-011
	741	0.0852	0.00324	2.47e-011
	742	0.0852	0.000853	2.54e-012
	743	0.0852	-0.000853	-8.52e-012
	744	0.0852	-0.00324	-3.06e-011
	1015	0.083	0.00255	0.000167
	1016	0.083	0.00381	0.000997
	1017	0.0844	0.00336	0.001
	1018	0.085	0.00348	0.001
	1019	0.085	2.61e-006	0.000772
	1020	0.085	-0.00351	-0.000907
	1021	0.0835	-0.00337	-0.000906
	1022	0.083	-0.00384	-0.000904
	1023	0.083	-0.00254	-0.000707



รูปที่ 3.10. โครงสร้างกล่องโครงข้อแข็ง 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL INFORMATION:

=====

File name: D:\PROJEC~1\FRAMED~1\TUBE1.FRM
 Project : Framed-tube Structure
 Engineer : tle

Structure Type : 3-D FRAME
 Units of Measure: Metric

No. of Joints : 2989
 No. of Members: 6780

UNITS:

=====

Length	: m	Point Load	: kN
Section Dimensions	: m	Distributed Load	: kN/m
Area	: m ²	Moment Load	: kN-m
Moment of Inertia	: m ⁴	Known Displacement:	m
Linear Spring	: kN/m	Shear, Axial Load	: kN
Rotational Spring	: kN-m/rad	Moment, Torsion	: kN-m
Modulus of Elasticity:	kN/m ²	Deflection	: m
Material Density	: kN/m ³		

DEFAULTS:

=====

Density (d)	= 77.0085	kN/m ³
Modulus of Elasticity(E)	= 2.00124e+008	kN/m ²
Poisson's Ratio (v)	= 0.288	
Thermal Coefficient (a)	= 0	
Section Area (A)	= 0.05688	m ²
Moment of Inertia (Iz)	= 0.008446	m ⁴
Moment of Inertia (Iy)	= 0.0004673	m ⁴
Polar Mom. of Inertia (J)	= 0.0089133	m ⁴
Beta Angle	= 0	Degree

SECTION DEFINITIONS:

=====

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label	Parameter 1/ T Cr-Coeff(A)	Parameter 2/ Cr-Coeff(Iz)	Parameter 3/ Cr-Coeff(Iy)	Parameter 4/ Cr-Coeff(J)
WF36x16-1/2	U 0.05688 1	0.008446 1	0.0004673 1	0.0089133 1

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
-----	-----	-----	-----	-----
DLexter2m	G-Y-D	-5.886	0	1
LLexter2m	G-Y-D	-4.4145	0	1
DLexter4m	G-Y-D	-7.3575	0	1
LLexter4m	G-Y-D	-5.5181	0	1
DLinter6m	G-Y-D	-11.772	0	1
LLinter6m	G-Y-D	-8.829	0	1
DLinter8m	G-Y-D	-14.715	0	1
LLinter8m	G-Y-D	-11.0363	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF	wind X-axis	wind Z-axis	DL2m
LL2m	DL4m	LL4m	DL6m
LL6m	DL8m	LL8m	

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
-----	-----
1.0Wz	1 x wind Z-axis
1.0Wx	1 x wind X-axis
1.4D+1.7L	1.4 x SELF
	1.4 x DL2m
	1.4 x DL4m
	1.4 x DL6m
	1.4 x DL8m
	1.7 x LL2m
	1.7 x LL4m
	1.7 x LL6m
	1.7 x LL8m
1.05D+1.275(L+W)	1.05 x SELF
	1.05 x DL2m
	1.05 x DL4m
	1.05 x DL6m
	1.05 x DL8m
	1.275 x LL2m
	1.275 x LL4m
	1.275 x LL6m
	1.275 x LL8m
	1.275 x wind X-axis
0.9D+1.3W	0.9 x SELF
	0.9 x DL2m
	0.9 x DL4m
	0.9 x DL6m
	0.9 x DL8m
	1.3 x wind X-axis

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wx	1	-161 0.0199	-5.12e+003 0.00607	0.0156 475
	2	-284 0.0156	-3.68e+003 0.0028	0.0125 618
	3	-304 0.0123	-2.83e+003 0.00181	0.00996 642
	4	-271 0.00898	-2.01e+003 0.0031	0.00738 603
	5	-318 0.0057	-1.27e+003 0.000183	0.00476 657
	6	-320 0.00315	-699 -2.46e-005	0.00255 660
	7	-273 6.45e-005	0.000741 0.00248	3.84e-005 605
	8	-320 -0.00302	699 -3.68e-005	-0.00247 660
	9	-318 -0.00557	1.27e+003 0.00019	-0.00468 657
	10	-271 -0.00886	2.01e+003 0.00316	-0.00731 603
	11	-304 -0.0122	2.83e+003 0.0019	-0.0099 642
	12	-284 -0.0156	3.68e+003 0.00305	-0.0125 618
	13	-161 -0.0201	5.12e+003 0.00661	-0.0157 475
	14	-161 3.98	-4.03e+003 0.00865	3.41 474
	15	-161 -3.98	4.03e+003 0.00891	-3.41 474
	16	-161 0.008	-3.71e+003 0.00432	0.00587 474
	17	-271 0.00366	-1.58e+003 0.00311	0.0029 603
	18	-272 3.58e-005	0.000491 0.0028	2e-005 604
	19	-271 -0.00361	1.58e+003 0.00319	-0.00288 603
	20	-161 -0.00808	3.71e+003 0.00442	-0.00592 474
	21	-161 0.307	-3.49e+003 0.0034	0.263 474
	22	-160 -0.307	3.49e+003 0.00342	-0.263 474
	23	-161 -8.53e-007	-3.6e+003 -3.02e-007	-4.87e-007 474
	24	-271 -4.34e-007	-1.51e+003 -3.02e-007	-2.48e-007 602
	25	-272 -1.49e-008	0.000464 -3.02e-007	-8.37e-009 604
	26	-271 4.04e-007	1.51e+003 -3.02e-007	2.31e-007 602
	27	-161 8.23e-007	3.6e+003 -3.02e-007	4.7e-007 474
	28	-161 -0.307	-3.49e+003 -0.0034	-0.263 474

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	-160	3.49e+003	0.263
	0.307	-0.00342	474
30	-161	-3.71e+003	-0.00587
	-0.008	-0.00432	474
31	-271	-1.58e+003	-0.0029
	-0.00366	-0.00311	603
32	-272	0.000491	-2e-005
	-3.58e-005	-0.0028	604
33	-271	1.58e+003	0.00288
	0.00362	-0.00319	603
34	-161	3.71e+003	0.00592
	0.00808	-0.00442	474
35	-161	-4.03e+003	-3.41
	-3.98	-0.00865	474
36	-161	4.03e+003	3.41
	3.98	-0.00891	474
37	-161	-5.12e+003	-0.0156
	-0.0199	-0.00608	475
38	-284	-3.68e+003	-0.0125
	-0.0156	-0.0028	618
39	-304	-2.83e+003	-0.00996
	-0.0123	-0.00181	642
40	-271	-2.01e+003	-0.00738
	-0.00898	-0.0031	603
41	-318	-1.27e+003	-0.00476
	-0.00571	-0.000184	657
42	-320	-699	-0.00255
	-0.00315	2.4e-005	660
43	-273	0.000741	-3.84e-005
	-6.45e-005	-0.00248	605
44	-320	699	0.00247
	0.00302	3.62e-005	660
45	-318	1.27e+003	0.00468
	0.00557	-0.00019	657
46	-271	2.01e+003	0.00731
	0.00886	-0.00316	603
47	-304	2.83e+003	0.0099
	0.0122	-0.0019	642
48	-284	3.68e+003	0.0125
	0.0156	-0.00305	618
49	-161	5.12e+003	0.0157
	0.0201	-0.00661	475
External	1.19e+004	0	0
	0	1.9e+005	-1.27e+006
Internal	-1.19e+004	0.000488	-7.3e-007
	-0.0156	-1.9e+005	1.27e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wx	2941	0.379	0.0257	7.32e-009
	2942	0.379	0.0214	3.46e-009
	2943	0.379	0.0171	1.29e-009
	2944	0.379	0.0128	1.51e-010
	2945	0.379	0.00855	-5.1e-010
	2946	0.379	0.00427	-9.17e-010
	2947	0.379	6.24e-013	-1.26e-009
	2948	0.379	-0.00427	-1.68e-009
	2949	0.379	-0.00855	-2.15e-009
	2950	0.379	-0.0128	-2.51e-009
	2951	0.379	-0.0171	-3.02e-009
	2952	0.379	-0.0214	-3.57e-009
	2953	0.379	-0.0257	-3.56e-009
	2954	0.379	0.0255	6.82e-009
	2955	0.379	-0.0255	-4e-009
	2956	0.379	0.0254	4.85e-009
	2957	0.379	0.0127	8.55e-010
	2958	0.379	6.97e-013	-7.89e-010
	2959	0.379	-0.0127	-1.79e-009
	2960	0.379	-0.0254	-2.97e-009
	2961	0.379	0.0253	3.28e-009
	2962	0.379	-0.0253	-2.31e-009
	2963	0.379	0.0253	1.11e-009
	2964	0.379	0.0126	5.7e-010
	2965	0.379	6.81e-013	3.01e-011
	2966	0.379	-0.0126	-5.1e-010
	2967	0.379	-0.0253	-1.05e-009
	2968	0.379	0.0253	-1.06e-009
	2969	0.379	-0.0253	2.1e-010
	2970	0.379	0.0254	-2.63e-009
	2971	0.379	0.0127	2.85e-010
	2972	0.379	-1.14e-013	8.49e-010
	2973	0.379	-0.0127	7.7e-010
	2974	0.379	-0.0254	8.73e-010
	2975	0.379	0.0255	-4.6e-009
	2976	0.379	-0.0255	1.9e-009
	2977	0.379	0.0257	-5.1e-009
	2978	0.379	0.0214	-1.6e-009
	2979	0.379	0.0171	2.07e-010
	2980	0.379	0.0128	9.89e-010
	2981	0.379	0.00855	1.29e-009
	2982	0.379	0.00427	1.34e-009
	2983	0.379	-1.36e-012	1.32e-009
	2984	0.379	-0.00427	1.38e-009
	2985	0.379	-0.00855	1.49e-009
	2986	0.379	-0.0128	1.49e-009
	2987	0.379	-0.0171	1.64e-009
	2988	0.379	-0.0214	1.83e-009
	2989	0.379	-0.0257	1.46e-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4. โครงสร้าง Outrigger (Outrigger-Braced Structures)

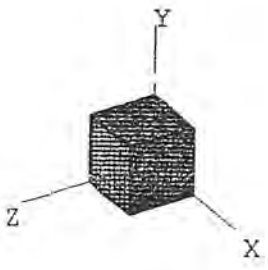
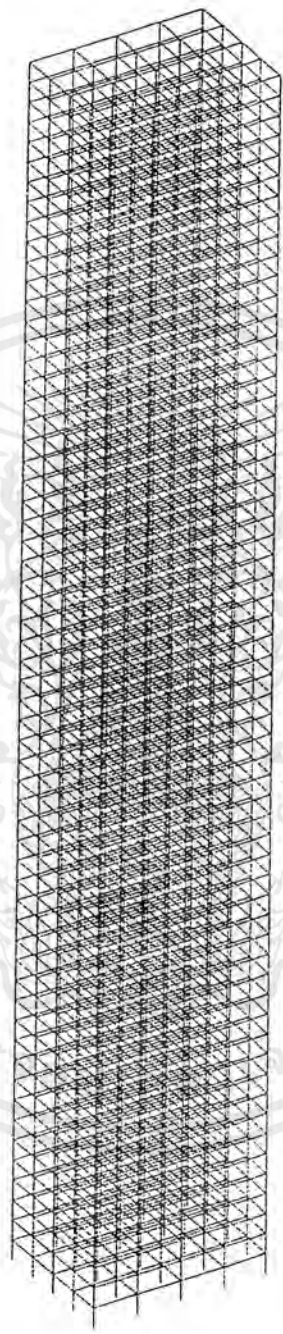
เมื่อได้ขนาดของโครงสร้างจากการคำนวณโดยใช้สมการออกแบบ แล้วจึงนำมาสร้างแบบจำลองในโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง PCA FRAME โดยกำหนดให้แบบจำลองให้มีขนาดทิศทางแกน X กว้าง 24 เมตร และทิศทางแกน Y ยาว 32 เมตร ซึ่งลักษณะของโครงสร้างที่กำหนดนั้นจะคล้ายกับโครงข้อแข็งทั่วๆ ไป เนื่องจากกำหนดขนาดของ core เป็นเสาคันเดียว ซึ่งมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับค่าที่คำนวณได้ในการออกแบบโดยใช้สมการออกแบบ แต่เมื่อต้องการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากสมการออกแบบกับโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ PCA FRAME ทำให้ต้องกำหนดให้แกนที่เชื่อมต่อกับ core ทุกตัว ยกเว้นแกนที่เป็นแกนของ outrigger ให้เป็นแกนที่มีขนาดเล็กมาก เพื่อไม่ให้เกิดการถ่ายแรงจาก core ไปยังโครงข้อแข็งเปรียบเสมือนว่าแรงที่กระทำมี core รับเพียงอย่างเดียว จากนั้นทำการใส่แรงในแนวตั้งที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจร โดยการถ่ายแรงมีลักษณะเป็นแรงกระจายลงแกน หลังจากนั้นจึงใส่แรงลมโดยให้เป็นแรงกระทำกระจายกระทำกับ core ตามทิศทางแกน X จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ PCA FRAME เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์ที่ได้จากสมการออกแบบ

จากแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ ดังที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น เป็นการจำลองโครงสร้างตามโครงสร้างที่ได้จากการใช้สมการในการออกแบบเบื้องต้น โดยควบคุมการแอ่นตัวให้เท่ากันระหว่างรูปแบบของโครงสร้าง ซึ่งแรงลมที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้นจะใช้แรงลมขนาด 160 kg/m^2 ตลอดความสูงของอาคาร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 3 มิติ PCA FRAME จะนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบโดยใช้สมการ หลังจากนั้นจึงได้ทำการปรับแก้แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นให้มีความเหมาะสมโดยการปรับขนาดพื้นที่ Posi-tension ให้มีความหนาแน่นของและแก้ไขขนาดของแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยใช้ข้อกำหนดดังนี้

ข้อกำหนดในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีแรงลมกระทำ (ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมการก่อสร้างอาคาร พ.ศ. 2522)

1) ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50	kg/m^2
2) ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80	kg/m^2
3) ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120	kg/m^2
4) ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 เมตร	160	kg/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11. โครงสร้าง Outrigger 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL INFORMATION:

File name: D:\PROJEC~1\OUTRIG~1\OUT3.FRM
 Project : out
 Engineer : Kriangsak Tangpongprasit

Structure Type : 3-D FRAME No. of Joints : 1525
 Units of Measure: Metric No. of Members: 3900

UNITS:

Length : m Point Load : kN
 Section Dimensions : m Distributed Load : kN/m
 Area : m² Moment Load : kN-m
 Moment of Inertia : m⁴ Known Displacement: m
 Linear Spring : kN/m Shear, Axial Load : kN
 Rotational Spring : kN-m/rad Moment, Torsion : kN-m
 Modulus of Elasticity: kN/m² Deflection : m
 Material Density : kN/m³

DEFAULTS:

Density (d) = 77.0085 kN/m³
 Modulus of Elasticity(E) = 2.00124e+008 kN/m²
 Poisson's Ratio (v) = 0.288
 Thermal Coefficient (a) = 0
 Section Area (A) = 0.05688 m²
 Moment of Inertia (Iz) = 0.008446 m⁴
 Moment of Inertia (Iy) = 0.0004673 m⁴
 Polar Mom. of Inertia (J) = 0.0089133 m⁴
 Beta Angle = 0 Degree

MATERIAL DEFINITIONS:

Material Label	Density kN/m ³	Young's Mod. kN/m ²	Poisson's Ratio	Thermal Coefficient
concrete	23.544	2.4968e+007	0.2	0

SECTION DEFINITIONS:

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label	Parameter 1/ T Cr-Coeff(A)	Parameter 2/ Cr-Coeff(Iz)	Parameter 3/ Cr-Coeff(Iy)	Parameter 4/ Cr-Coeff(J)
core	U 33	399.33	250.75	650.08
36"WF36x16-1/2	U 0.05688	0.008446	0.0004673	0.0089133
WF400x400	U 0.07001	0.00298	0.000944	0.003924
outri beam	U 3.5	12.05	0.98	13.13

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
X-wind	G-X-D	50.22	0	1
DLout6m	G-Y-D	-5.886	0	1
LLout6m	G-Y-D	-4.4145	0	1
DLin6m	G-Y-D	-11.772	0	1
LLin6m	G-Y-D	-8.829	0	1
DLout8m	G-Y-D	-7.3575	0	1
LLout8m	G-Y-D	-5.5181	0	1
DLin8m	G-Y-D	-14.715	0	1
LLin8m	G-Y-D	-11.0363	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF	X-wind Dis	X-wind Poi	Z-wind Poi
DL out6m	LL out6m	DL in6m	LL in6m
DL out8m	LL out8m	DL in8m	LL in8m

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
1.0Wx dis	1 x X-wind Dis
1.0Wz	1 x Z-wind Poi
1.4D+1.7L	1.4 x SELF 1.4 x DL out6m 1.4 x DL in6m 1.4 x DL out8m 1.4 x DL in8m 1.7 x LL out6m 1.7 x LL in6m 1.7 x LL out8m 1.7 x LL in8m
1.05D+1.275 (L+W	1.05 x DL out6m 1.05 x DL in6m 1.05 x DL out8m 1.05 x DL in8m 1.275 x LL out6m 1.275 x LL in6m 1.275 x LL out8m 1.275 x LL in8m 1.275 x X-wind Dis 1.05 x SELF
0.9D+1.3W	0.9 x SELF 0.9 x DL out6m 0.9 x DL in6m 0.9 x DL out8m 0.9 x DL in8m 1.3 x X-wind Dis

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wx dis	1	-13.9 0.00153	-3.94e+003 0.00169	0.000874 97.8
	2	-26.6 0.00044	-1.9e+003 0.00102	0.000251 113
	3	-1.97 3.01e-010	5.71e-007 0.00151	6.19e-012 83.8
	4	-26.6 -0.00044	1.9e+003 0.00102	-0.000251 113
	5	-13.9 -0.00153	3.94e+003 0.00169	-0.000874 97.8
	6	-13.9 0.00122	-3.94e+003 0.00164	0.000754 97.7
	7	-26.6 0.000219	-1.9e+003 0.00127	0.00016 112
	8	-1.71 2.95e-010	2.88e-007 -2.32e-006	8.13e-013 83.5
	9	-26.6 -0.000219	1.9e+003 0.00127	-0.00016 112
	10	-13.9 -0.00122	3.94e+003 0.00164	-0.000754 97.7
	11	-4.89 -2.5e-005	-4.8e+003 -1.96e-006	-1.43e-005 34.5
	12	-9.38 -1.25e-005	-2.32e+003 -1.96e-006	-7.13e-006 39.7
	13	-1.02e+004 1.96e-005	4.15e-008 -0.0434	-1.13e-007 4.92e+005
	14	-9.38 1.25e-005	2.32e+003 -1.96e-006	7.13e-006 39.7
	15	-4.89 2.5e-005	4.8e+003 -1.96e-006	1.43e-005 34.5
	16	-13.9 -0.00124	-3.94e+003 -0.00165	-0.000769 97.7
	17	-26.6 -0.000231	-1.9e+003 -0.00128	-0.000167 112
	18	-1.71 2.9e-010	-2.9e-007 -6.58e-006	-3.39e-012 83.5
	19	-26.6 0.000231	1.9e+003 -0.00128	0.000167 112
	20	-13.9 0.00124	3.94e+003 -0.00165	0.000769 97.7
	21	-13.9 -0.00156	-3.94e+003 -0.0017	-0.000888 97.8
	22	-26.6 -0.000453	-1.9e+003 -0.00103	-0.000258 113
	23	-1.97 2.98e-010	-5.75e-007 -0.00152	3.56e-012 83.8
	24	-26.6 0.000453	1.9e+003 -0.00103	0.000258 113
	25	-13.9 0.00156	3.94e+003 -0.0017	0.000888 97.8
External		1.05e+004 0	0 1.69e+005	0 -1.11e+006
Internal		-1.05e+004 1.96e-005	-0.000488 -1.69e+005	-1.13e-007 1.11e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wx dis	1501	0.415	0.0294	4.35e-008
	1502	0.415	0.0147	1.49e-008
	1503	0.415	-8.9e-012	-9.87e-011
	1504	0.415	-0.0147	-1.51e-008
	1505	0.415	-0.0294	-4.37e-008
	1506	0.415	0.0294	3.24e-008
	1507	0.415	0.0147	7.58e-009
	1508	0.415	-5.31e-012	-9.87e-011
	1509	0.415	-0.0147	-7.77e-009
	1510	0.415	-0.0294	-3.26e-008
	1511	0.415	0.0294	1.08e-008
	1512	0.415	0.0147	5.37e-009
	1513	0.415	-1.33e-014	-9.87e-011
	1514	0.415	-0.0147	-5.56e-009
	1515	0.415	-0.0294	-1.1e-008
	1516	0.415	0.0294	-1.08e-008
	1517	0.415	0.0147	3.16e-009
	1518	0.415	5.36e-012	-9.87e-011
	1519	0.415	-0.0147	-3.35e-009
	1520	0.415	-0.0294	1.06e-008
	1521	0.415	0.0294	-2.18e-008
	1522	0.415	0.0147	-4.13e-009
	1523	0.415	8.95e-012	-9.87e-011
	1524	0.415	-0.0147	3.94e-009
	1525	0.415	-0.0294	2.17e-008

ในการปรับแก้ขนาดจะพยายามควบคุมให้มีการแอ่นตัวระหว่างระบบมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการเปรียบเทียบจะแยกออกเป็นโครงสร้างอาคารสูงปานกลาง ได้แก่ Couple Shear wall กับ Core Structure และโครงสร้างอาคารสูง ได้แก่ Framed-tube Structures กับ Outrigger Structure เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง น้ำหนักของโครงสร้างส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน รวมไปถึงข้อดี-ข้อเสียของโครงสร้างแต่ละระบบ การนำมาใช้ให้เหมาะสม เป็นต้น

สำหรับผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม PCA FRAME ของโครงสร้างระบบต่าง ๆ นั้นได้ทำการแสดงผลไว้ดังต่อไปนี้

ผลการเปรียบเทียบการแอ่นตัวของโครงสร้าง

1.) โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Wall Structure)

ค่าการแอ่นตัวจากสมการวิเคราะห์	8.7	cm
ค่าการแอ่นตัวจากโปรแกรม PCA FRAME	8.5	cm

2.) โครงสร้างปล่องแกน (Core Structures)

ค่าการแอ่นตัวจากสมการวิเคราะห์	8.3	cm
ค่าการแอ่นตัวจากโปรแกรม PCA FRAME	8.5	cm

3.) โครงสร้างปล่อง (Tubular Structures)

ค่าการแอ่นตัวจากสมการวิเคราะห์	29.0	cm
ค่าการแอ่นตัวจากโปรแกรม PCA FRAME	37.9	cm

4.) โครงสร้าง Outrigger (Outrigger-Braced Structures)

ค่าการแอ่นตัวจากสมการวิเคราะห์	37.0	cm
ค่าการแอ่นตัวจากโปรแกรม PCA FRAME	41.5	cm

สำหรับผลลัพธ์อื่นๆ เช่น โมเมนต์ แรงตามแนวแกน เป็นต้น ได้ทำการคำนวณและเปรียบเทียบไว้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1. แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Walls)

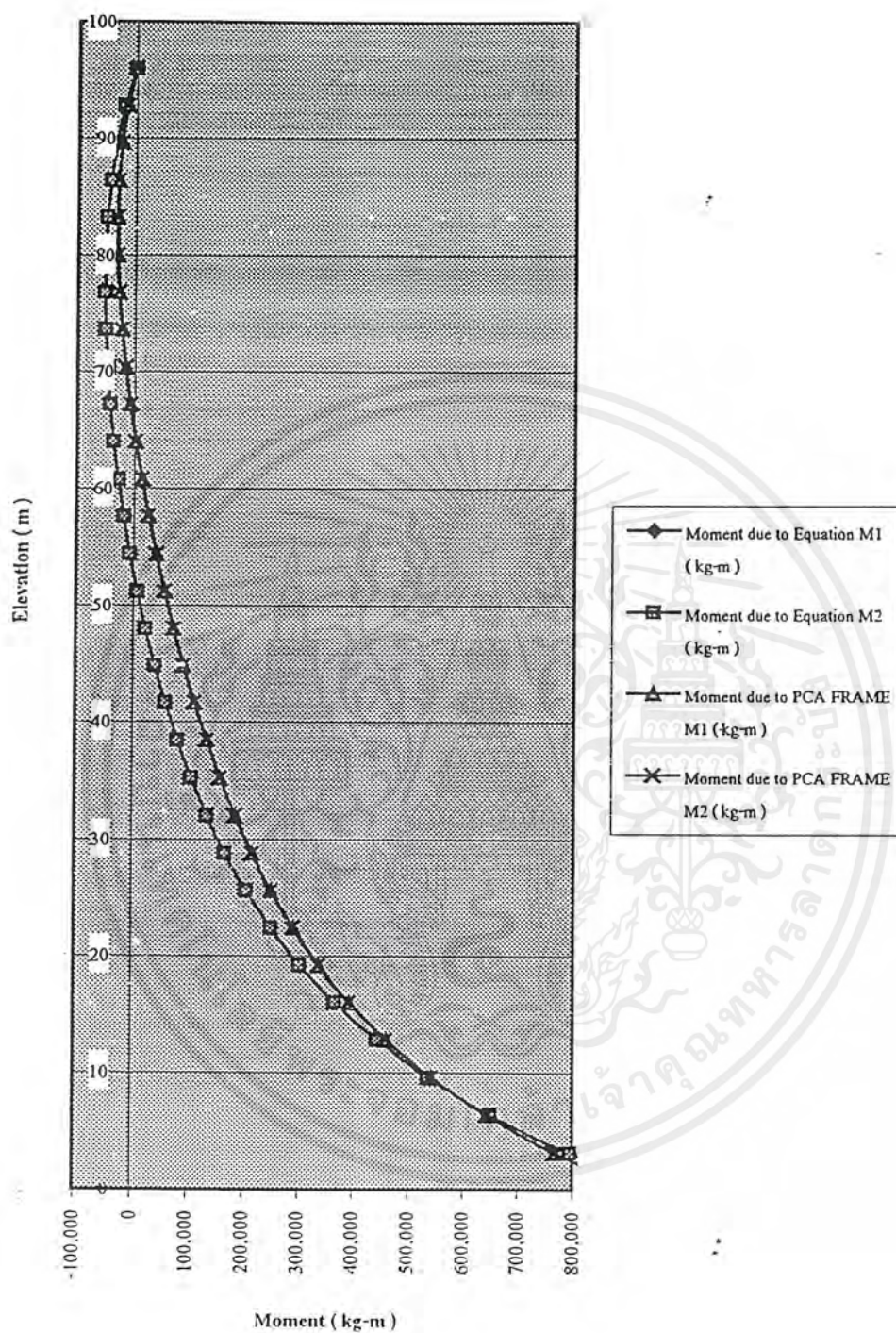
Elevation	Moment due to Equation		Moment due to PCA FRAME		Percent Different	
Z	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
(m)	(kg-m)	(kg-m)	(kg-m)	(kg-m)	%	%
0	970,188.63	970,188.63	926,014.27	924,913.35	4.77	4.90
3.2	795,215.46	795,215.46	768,583.08	767,492.35	3.47	3.61
6.4	650,938.62	650,938.62	643,516.82	642,426.10	1.15	1.33
9.6	537,280.12	537,280.12	543,139.65	542,048.93	1.09	0.89
12.8	444,429.43	444,429.43	461,661.57	460,560.65	3.88	3.63
16.0	366,442.91	366,442.91	394,689.09	393,598.37	7.71	7.41
19.2	303,586.54	303,586.54	338,919.47	337,828.75	11.64	11.28
22.4	250,749.52	250,749.52	291,834.86	290,744.14	16.39	15.95
25.6	205,146.69	205,146.69	251,529.05	250,438.33	22.61	22.08
28.8	167,405.62	167,405.62	216,574.92	215,484.20	29.37	28.72
32.0	134,546.52	134,546.52	185,871.56	184,780.84	38.15	37.34
35.2	105,915.29	105,915.29	158,613.66	157,522.94	49.76	48.73
38.4	80,959.83	80,959.83	134,169.22	133,078.49	65.72	64.38
41.6	59,345.14	59,345.14	112,089.70	110,998.98	88.88	87.04
44.8	39,465.71	39,465.71	92,016.31	90,924.57	133.16	130.39
48.0	22,672.24	22,672.24	73,702.34	72,609.58	225.08	220.26
51.2	7,678.33	7,678.33	56,960.24	55,868.50	641.83	627.61
54.4	-6,017.97	-6,017.97	41,665.65	40,572.88	114.44	114.83
57.6	-17,218.14	-17,218.14	27,737.00	26,645.26	162.08	164.62
60.8	-27,132.49	-27,132.49	15,135.58	14,043.83	279.26	293.20
64.0	-36,186.88	-36,186.88	3,860.14	2,767.89	1037.45	1407.38
67.2	-42,821.22	-42,821.22	-6,054.64	-7,146.89	85.86	83.31
70.4	-48,169.75	-48,169.75	-14,532.11	-15,624.87	69.83	67.56
73.6	-51,554.75	-51,554.75	-21,451.58	-22,543.32	58.39	56.27
76.8	-53,109.52	-53,109.52	-26,634.05	-27,724.77	49.85	47.80
80.0	-52,864.75	-52,864.75	-29,832.82	-30,921.51	43.57	41.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elevation	Moment due to Equation		Moment due to PCA FRAME		Percent Different	
Z	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
(m)	(kg-m)	(kg-m)	(kg-m)	(kg-m)	%	%
83.2	-49,552.88	-49,552.88	-30,714.58	-31,797.15	38.02	35.83
86.4	-43,459.41	-43,459.41	-28,833.84	-29,892.97	33.65	31.22
89.6	-33,511.44	-33,511.44	-23,606.52	-24,591.23	29.56	26.62
92.8	-19,392.82	-19,392.82	-14,288.48	-15,037.72	26.32	22.46
96.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Average					108.80	119.62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12. กราฟเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ M_1 และ M_2
จากสมการวิเคราะห์และโปรแกรม PCA FRAME

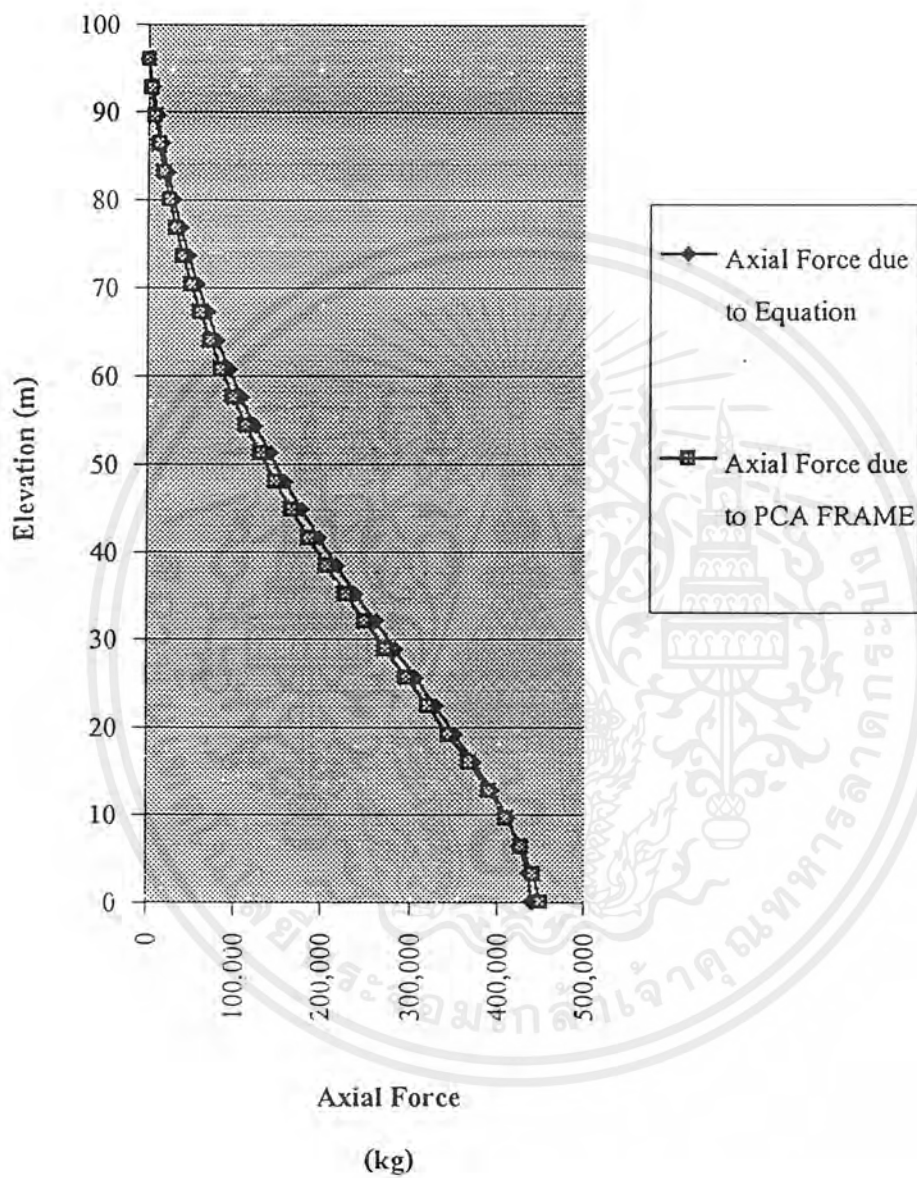
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2. เปรียบเทียบแรงตามแนวแกนในผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Walls)

Elevation	Axial Force due to Equation	Axial Force due to PCA FRAME	Percent Different
Z	N	N	N
(m)	(kg)	(kg)	%
0	439,799.08	449,704.38	2.25
3.2	436,145.51	441,722.73	1.28
6.4	425,869.83	428,012.23	0.50
9.6	411,483.87	410,265.04	0.30
12.8	393,901.05	389,775.74	1.06
16.0	373,349.69	367,522.94	1.59
19.2	351,999.11	344,230.38	2.26
22.4	329,849.31	320,479.10	2.92
25.6	306,557.77	296,666.67	3.33
28.8	283,951.28	273,119.27	3.97
32.0	261,687.30	250,091.74	4.64
35.2	239,080.81	227,747.20	4.98
38.4	217,958.58	206,238.53	5.68
41.6	197,521.39	185,657.49	6.39
44.8	177,426.73	166,085.63	6.83
48.0	158,816.33	147,584.10	7.61
51.2	141,233.51	130,183.49	8.49
54.4	124,221.55	113,924.57	9.04
57.6	108,693.85	98,815.49	10.00
60.8	94,307.90	84,867.48	11.12
64.0	80,721.17	72,081.55	11.99
67.2	68,504.53	60,449.54	13.33
70.4	57,429.63	49,954.13	14.96
73.6	47,039.78	40,568.81	15.95
76.8	38,020.01	32,253.82	17.88
80.0	30,027.82	24,955.15	20.33

Elevation	Axial Force due to Equation	Axial Force due to PCA FRAME	Percent Different
Z	N	N	N
(m)	(kg)	(kg)	%
83.2	22,606.49	18,596.33	21.56
86.4	16,212.74	13,078.49	23.96
89.6	10,389.85	8,267.89	25.67
92.8	5,023.67	3,986.65	26.01
96.0	0.00	0.00	0.00
Average			9.22



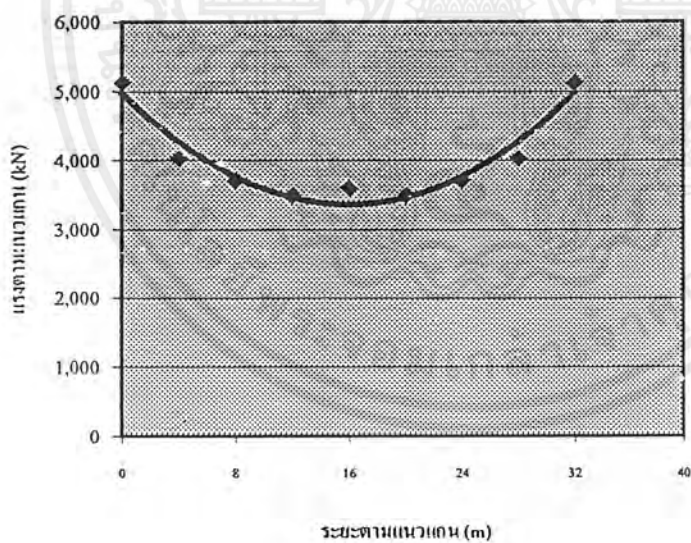


รูปที่ 3.13. กราฟเปรียบเทียบแรงตามแนวแกน
จากสมการวิเคราะห์และโปรแกรม PCA FRAME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3. แสดงค่าแรงตามแนวแกนส่วนปีกของ Tube

ระยะจากแกน X	ค่าแรงตามแนวแกน
(m)	(kN)
0	5,118.50
4	4,026.30
8	3,708.10
12	3,486.80
16	3,599.00
20	3,486.80
24	3,708.10
28	4,026.30
32	5,118.50



รูปที่ 3.14. กราฟแสดงลักษณะของ shear lag

ตารางที่ 3.4. แสดงการเปรียบเทียบโมเมนต์ที่ปล้องแกนของโครงสร้าง Outrigger

Elevation	Moment due to Equation	Moment due to PCA FRAME	Percent Different
Z	M	M	M
(m)	(kg-m)	(kg-m)	%
0	88,582,146.96	90,012,232.42	1.61
3.5	84,850,306.96	86,281,345.57	1.69
7.0	81,181,186.96	82,612,640.16	1.76
10.5	77,574,786.96	79,007,135.58	1.85
14.0	74,031,106.96	75,464,831.80	1.94
17.5	70,550,146.96	71,984,709.48	2.03
21.0	67,131,906.96	68,566,768.60	2.14
24.5	63,776,386.96	65,213,047.91	2.25
28.0	60,483,586.96	61,920,489.30	2.38
31.5	57,253,506.96	58,691,131.50	2.51
35.0	54,086,146.96	55,524,974.52	2.66
38.5	50,981,506.96	52,420,998.98	2.82
42.0	47,939,586.96	49,380,224.26	3.01
45.5	44,960,386.96	46,402,650.36	3.21
49.0	42,043,906.96	43,487,257.90	3.43
52.5	39,190,146.96	40,634,046.89	3.68
56.0	36,399,106.96	37,844,036.70	3.97
59.5	33,670,786.96	35,116,207.95	4.29
63.0	31,005,186.96	32,451,580.02	4.67
66.5	28,402,306.96	29,850,152.91	5.10
70.0	25,862,146.96	27,310,907.24	5.60
73.5	23,384,706.96	24,833,843.02	6.20
77.0	20,969,986.96	22,420,998.98	6.92
80.5	33,791,548.41	33,507,645.26	0.85
84.0	31,502,268.41	31,219,164.12	0.91
87.5	29,275,708.41	28,994,903.16	0.97

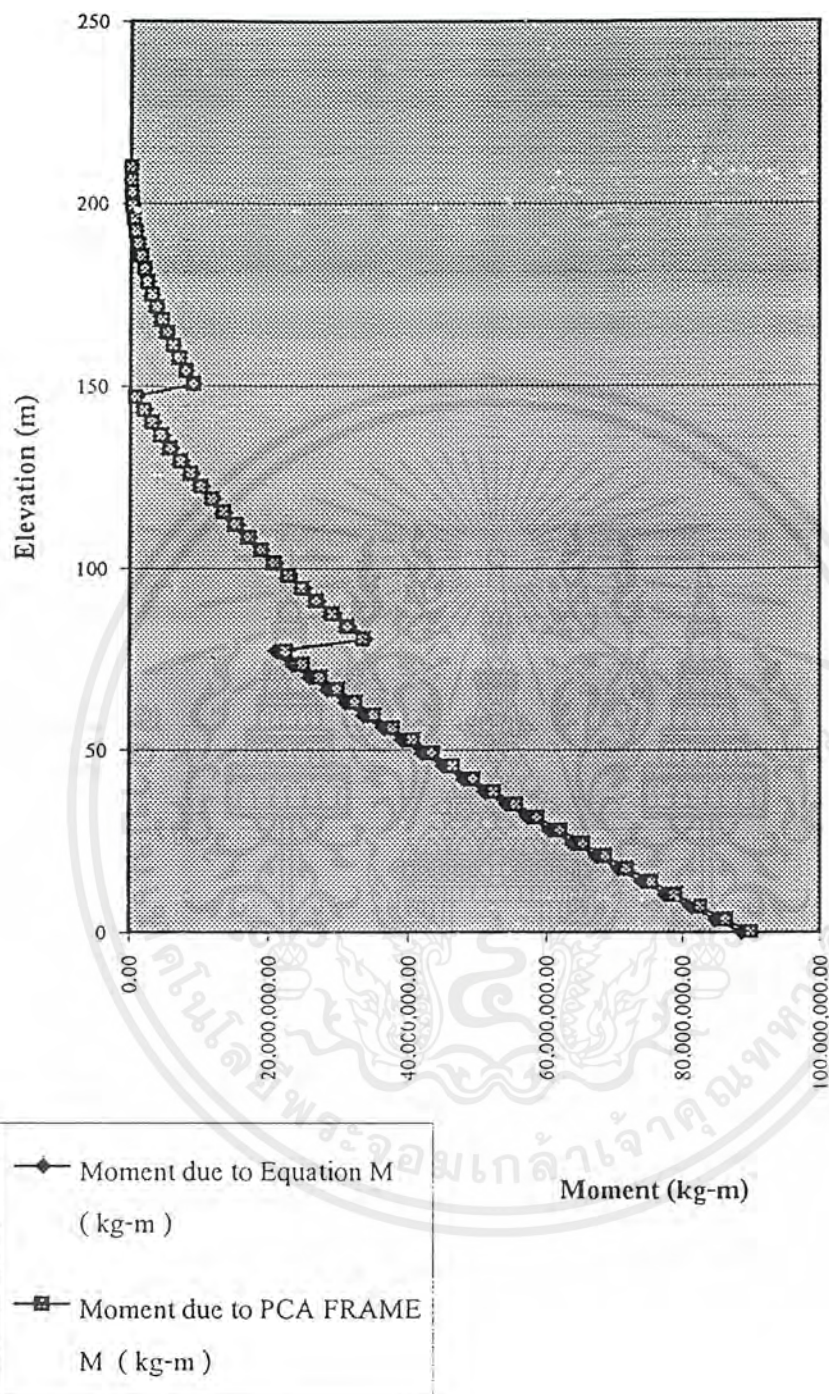
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elevation	Moment due to Equation	Moment due to PCA FRAME	Percent Different
Z	M	M	M
(m)	(kg-m)	(kg-m)	%
91.0	27,111,868.41	26,831,804.28	1.04
94.5	25,010,748.41	24,731,906.22	1.13
98.0	22,972,348.41	22,695,208.97	1.22
101.5	20,996,668.41	20,720,693.17	1.33
105.0	19,083,708.41	18,809,378.19	1.46
108.5	17,233,468.41	16,960,244.65	1.61
112.0	15,445,948.41	15,174,311.93	1.79
115.5	13,721,148.41	13,451,580.02	2.00
119.0	12,059,068.41	11,790,010.19	2.28
122.5	10,459,708.41	10,192,558.61	2.62
126.0	8,923,068.41	8,657,288.48	3.07
129.5	7,449,148.41	7,184,811.42	3.68
133.0	6,037,948.41	5,775,025.48	4.55
136.5	4,689,468.41	4,427,930.68	5.91
140.0	3,403,708.41	3,143,527.01	8.28
143.5	2,180,668.41	1,921,916.41	13.46
147.0	1,020,348.41	763,017.33	33.73
150.5	9,063,040	9,062,996.94	0.00
154.0	8,028,160	8,028,134.56	0.00
157.5	7,056,000	7,055,963.30	0.00
161.0	6,146,560	6,146,585.12	0.00
164.5	5,299,840	5,299,796.13	0.00
168.0	4,515,840	4,515,800.20	0.00
171.5	3,794,560	3,794,597.35	0.00
175.0	3,136,000	3,135,983.69	0.00
178.5	2,540,160	2,540,163.10	0.00
182.0	2,007,040	2,007,033.64	0.00
185.5	1,536,640	1,536,595.31	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elevation	Moment due to Equation	Moment due to PCA FRAME	Percent Different
Z	M	M	M
(m)	(kg-m)	(kg-m)	%
189.0	1,128,960	1,128,950.05	0.00
192.5	784,000	783,995.92	0.00
196.0	501,760	501,763.51	0.00
199.5	282,240	282,242.61	0.00
203.0	125,440	125,443.43	0.00
206.5	31,360	31,359.84	0.00
210.0	0.00	0.00	0.00
Average			2.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15. กราฟเปรียบเทียบโมเมนต์ในปล่องแกน
จากสมการวิเคราะห์และโปรแกรม PCA FRAME

บทที่ 4

การออกแบบและประมาณวัสดุของอาคาร

หลังจากบทที่ 3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการใช้สมการการออกแบบซึ่งเป็นการคำนวณในลักษณะการพยากรณ์และการออกแบบโดยการใช้โปรแกรมสำหรับออกแบบโครงสร้างในสามมิติโดยมุ่งเน้นเฉพาะผลซึ่งเกิดจากแรงลมเพียงอย่างเดียว แต่สำหรับในบทที่ 4 นี้จะเป็นการออกแบบซึ่งจะแสดงถึงรายละเอียด ตั้งแต่ข้อกำหนดของการใส่แรงในโครงสร้าง ขนาดและคุณสมบัติขององค์อาคารต่าง ๆ รวมถึงการประมาณปริมาณของวัสดุต่างที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารแต่ละหลัง ผลที่นำมาใช้ในการออกแบบจะได้มาจากผลการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งได้แสดงข้อมูลไว้แล้ว เพื่อให้ทราบถึงผลเมื่อโครงสร้างได้รับแรงในกรณีต่างๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานจริง

สำหรับ โครงสร้างแบบปล่องแกน โครงสร้างแบบผนังรับแรงเฉือนคู่ และส่วนแกนกลางของโครงสร้างแบบ Outrigger เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก การออกแบบองค์อาคารจะใช้ทฤษฎีการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยกำลังประลัย และจะออกแบบเฉพาะในองค์อาคารหลัก ๆ ของโครงสร้างนั้น ๆ เช่น เสา และผนังรับแรงเฉือน เป็นต้น สำหรับโครงสร้างแบบปล่องเป็นโครงสร้างหลัก การออกแบบจะใช้วิธีการตรวจสอบความเค้นในหน้าตัดขององค์อาคารต่าง ๆ เพียงอย่างเดียว

ข้อกำหนดของการใส่แรงในโครงสร้าง จะอ้างอิงมาจากข้อกำหนดของการใส่แรงในทฤษฎีการออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยกำลังประลัย จากนั้นจะทำการเลือกหน่วยแรงและโมเมนต์ที่มีค่ามากที่สุดจากกรณีต่าง ๆ ของการใส่แรง(load case)ในองค์อาคารนั้น ๆ แล้วนำไปออกแบบต่อไป

ผลที่ได้จากการออกแบบจะถูกนำไปถอดและประมาณปริมาณวัสดุก่อสร้างเพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบผลทางกายภาพและทางเศรษฐศาสตร์ของโครงสร้างแต่ละชนิดต่อไป

4.1. รายการการออกแบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่(Couple Shear Wall)

การออกแบบผนังรับแรงเฉือนคู่คอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

- 1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก./ซม.^2 , กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน $4,000 \text{ กก./ซม.}^2$
- 2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(h) = 0.3 เมตร , ยาว(l_w) = 6 เมตร , สูง(h_w) = 3.2 เมตร
- 3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(V_u) = $5.5 \times 10^2 \text{ kN}$ = 56.07 ton

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แรงตามแกนในแนวลึง}(P_u) = 2.66 \times 10^4 \text{ kN} = 2711.52 \text{ ton}$$

$$\text{โมเมนต์ค้ครอบแกนหลัก}(M_u) = 8.98 \times 10^3 \text{ kN-m} = 915.39 \text{ ton-m}$$

4) หาความลึกประสิทธิผล ; $d = 0.8l_w = 4.80$ เมตร :

5) หาระยะจากฐานถึงหน้าค้ค้ค้ค้ ; $0.5l_w$ หรือ $0.5h_w = 1.60$ เมตร

6) หาก้ล้รับรับรับรับรับรับ ; $\phi v_n = \phi 2.7 \sqrt{f'_c} h d = 553 \text{ ton}$ มากกว่า V_u ดังนั้นหน้าค้ค้ค้ค้ได้
ก้ล้รับรับรับรับรับรับรับรับรับรับ ;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f'_c} h d = 1277.1 \text{ ton}$$

เนื่องจาก $\phi v_c \geq v_u$ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กรับรับรับรับรับรับ

จากข้อก้ก้ก้ ; การเสริมเหล็กรับรับรับรับรับรับ กรณี้

- จะต้องเสริมเหล็กก้ก้ก้ก้ก้ก้ 0.0025 ของพื้นที่
- ระยะวางเหล็ก $0.5l_w$ หรือ $3h$ หรือ 45 ซม.

เลือกเหล็ก DB12 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 30 = 7.5 \text{ ซม.}^2/\text{ม}$

ใช้ DB12@0.15 ม. จึงได้มีก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ 2 แถว ; 2-DB12@0.30 ม.

7) หาปริมาณเหล็กเสริมรับรับรับรับ

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d} = 15.58 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_s} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right) = 0.00403$$

$$A_s = \rho b d = 0.00403 \times 30 \times 480 = 58.05 \text{ ซม.}^2 \text{ เลือกใช้ 8-BD32 (} A_s = 64.32 \text{ ซม.}^2 \text{)}$$

8) การเสริมเหล็กในแนวนานก้ก้ก้ก้

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_n - 0.0025) = 0.002513$$

เลือกใช้ DB12 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 30 = 7.5 \text{ ซม.}^2/\text{ม}$

ใช้ DB12@0.15 ม. จึงได้มีก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ก้ 2 แถว ; 2-DB12@0.30

GENERAL INFORMATION:
=====

File name: D:\PROJEC~1\COUPLE~1\COUPLE1.FRM
Project : COUPLE SHEARWALL
Engineer : KRIANGSAK TANGPONGPRASIT

Structure Type : 3-D FRAME
Units of Measure: Metric

No. of Joints : 732
No. of Members: 1500

UNITS:
=====

Length	: m	Point Load	: kN
Section Dimensions	: m	Distributed Load	: kN/m
Area	: m^2	Moment Load	: kN-m
Moment of Inertia	: m^4	Known Displacement	: m
Linear Spring	: kN/m	Shear, Axial Load	: kN
Rotational Spring	: kN-m/rad	Moment, Torsion	: kN-m
Modulus of Elasticity	: kN/m^2	Deflection	: m
Material Density	: kN/m^3		

DEFAULTS:
=====

Density (d)	= 23.544	kN/m^3
Modulus of Elasticity(E)	= 2.4968e+007	kN/m^2
Poisson's Ratio (v)	= 0.2	
Thermal Coefficient (α)	= 0	
Section Area (A)	= 0.09	m^2
Moment of Inertia (Iz)	= 0.00675	m^4
Moment of Inertia (Iy)	= 0.00675	m^4
Polar Mom. of Inertia (J)	= 0.0135	m^4
Beta Angle	= 0	Degree

SECTION DEFINITIONS:
=====

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label	T	Parameter 1/ Parameter 2/ Parameter 3/ Parameter 4/ Cr-Ccoef(A) Cr-Ccoef(Iz) Cr-Ccoef(Iy) Cr-Ccoef(J)			
beam1	R	0.2 1	0.2 1	-	- 1
beam2	R	2.8 1	0.2 1	- 1	- 1
shearwall	R	0.3 1	6 1	- 1	- 1
beam	R	0.0001 1	0.0001 1	- 1	- 1
connecting beam	U	0.849 1	0.172 1	15.299 1	15.471 1
beam Z-axis	R	2.625 1	0.2 1	- 1	- 1

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
0.5Wx=160	G-X-D	6.2784	0	1
Wx=160	G-X-D	12.5568	0	1
wind Z-axis	G-Z-D	11.772	0	1
Wx=50	G-X-D	3.924	0	1
0.5Wx=50	G-X-D	1.962	0	1
Wx=80	G-X-D	6.924	0	1
0.5Wx=80	G-X-D	3.1396	0	1
Wx=120	G-X-D	9.4176	0	1
0.5Wx=120	G-X-D	4.7088	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF wind X-axis Live Dead
 live half dead half wind Z-axis

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
1.4D+1.7L	1.4 x SELF 1.7 x Live 1.7 x live half 1.4 x Dead 1.4 x dead half
1.05D+1.275(L+W)	1.05 x SELF 1.05 x Dead 1.05 x dead half 1.275 x wind X-axis 1.275 x Live 1.275 x live half
0.9D+1.3W	0.9 x SELF 0.9 x Dead 0.9 x dead half 1.3 x wind X-axis
1.0Wx	1 x wind X-axis
1.0Wz	1 x wind Z-axis

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.4D+1.7L	2	6.57e-013 0.471	1.64e+004 -2.35e-012	0.447 2.89e-011
	3	-5.12e-013 0.471	1.64e+004 1.12e-012	0.447 3.06e-011
	6	-3.53e-013 0.472	2.63e+004 -1.9e-012	0.449 3.05e-011
	7	-1.24e-013 0.472	2.63e+004 6.71e-013	0.449 3e-011
	10	-9.79e-013 0.00603	2.66e+004 -7.75e-013	0.00571 3.15e-011
	11	-1.2e-013 0.00603	2.66e+004 -4.59e-013	0.00571 3e-011
	14	-1.29e-012 -0.00603	2.66e+004 -4.59e-013	-0.00571 3.2e-011
	15	-4.31e-013 -0.00603	2.66e+004 -7.75e-013	-0.00571 3.05e-011
	18	-1.29e-012 -0.472	2.63e+004 6.71e-013	-0.449 3.2e-011
	19	-1.06e-012 -0.472	2.63e+004 -1.9e-012	-0.449 3.15e-011
	22	-8.98e-013 -0.471	1.64e+004 1.12e-012	-0.447 3.14e-011
	23	-2.07e-012 -0.471	1.64e+004 -2.35e-012	-0.447 3.31e-011
	External	0	-2.77e+005	0
	Internal	5.54e+006	0	-2.91e+006
		0	2.77e+005	5.96e-008
1.05D+1.27...	2	-5.54e+006 -536	-6.26e-007 7.74e+003	2.91e+006 0.335
	3	0.353 -532	-0.00697 1.68e+004	8.8e+003 0.335
	6	0.353 -540	-0.00572 1.52e+004	8.8e+003 0.336
	7	0.354 -532	-0.0057 2.43e+004	8.8e+003 0.336
	10	0.354 -540	-0.00446 1.54e+004	8.8e+003 0.00427
	11	0.0045 -532	-0.00211 2.45e+004	8.8e+003 0.0043
	14	0.00454 -540	-0.00169 1.54e+004	8.8e+003 -0.00427
	15	-0.0045 -532	0.00213 2.45e+004	8.8e+003 -0.0043
	18	-0.00454 -540	0.00171 1.52e+004	8.8e+003 -0.336
	19	-0.354 -532	0.00572 2.43e+004	8.8e+003 -0.336
	22	-0.354 -536	0.00448 7.74e+003	8.8e+003 -0.335
	23	-0.353 -532	0.00699 1.68e+004	8.8e+003 -0.335
	External	-0.353	0.00575	8.8e+003
		6.42e+003 4.16e+006	-2.08e+005 1.28e+005	0 -2.53e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.9D+1.3W	Internal	-6.42e+003	2.08e+005	4.17e-007
		-4.16e+006	-1.28e+005	2.53e+006
	2	-546	2.94e+003	0.163
		0.172	-0.0071	8.97e+003
	3	-542	1.22e+004	0.163
		0.172	-0.00584	8.97e+003
	6	-550	6.59e+003	0.164
		0.173	-0.00581	8.98e+003
	7	-542	1.58e+004	0.164
		0.173	-0.00455	8.97e+003
	10	-550	6.67e+003	0.00207
		0.00218	-0.00215	8.98e+003
	11	-542	1.59e+004	0.0021
		0.00223	-0.00172	8.97e+003
	14	-550	6.67e+003	-0.00207
		-0.00218	0.00217	8.98e+003
	15	-542	1.59e+004	-0.0021
		-0.00223	0.00174	8.97e+003
	18	-550	6.59e+003	-0.164
		-0.173	0.00583	8.98e+003
	19	-542	1.58e+004	-0.164
		-0.173	0.00457	8.97e+003
	22	-546	2.94e+003	-0.163
		-0.172	0.00712	8.97e+003
	23	-542	1.22e+004	-0.163
		-0.172	0.00586	8.97e+003
1.0Wx	External	6.55e+003	-1.2e+005	0
		2.4e+006	1.31e+005	-1.62e+006
	Internal	-6.55e+003	1.2e+005	4.17e-007
		-2.4e+006	-1.31e+005	1.62e+006
	2	-420	-3.55e+003	-3.79e-005
		-6.06e-005	-0.00546	6.9e+003
	3	-417	3.55e+003	3.8e-005
		6.08e-005	-0.00449	6.9e+003
	6	-423	-3.55e+003	-3.01e-005
		-4.81e-005	-0.00447	6.9e+003
	7	-417	3.55e+003	3.02e-005
		4.84e-005	-0.0035	6.9e+003
	10	-423	-3.55e+003	-1.13e-005
		-1.79e-005	-0.00165	6.9e+003
	11	-417	3.55e+003	1.13e-005
		1.82e-005	-0.00132	6.9e+003
	14	-423	-3.55e+003	1.14e-005
		1.84e-005	0.00167	6.9e+003
	15	-417	3.55e+003	-1.14e-005
		-1.81e-005	0.00134	6.9e+003
	18	-423	-3.55e+003	3.03e-005
		4.86e-005	0.00449	6.9e+003
	19	-417	3.55e+003	-3.03e-005
		-4.84e-005	0.00352	6.9e+003
	22	-420	-3.55e+003	3.81e-005
		6.1e-005	0.00548	6.9e+003
	23	-417	3.55e+003	-3.81e-005
		-6.08e-005	0.00451	6.9e+003
	External	5.03e+003	0	0
		0	1.01e+005	-2.75e+005
	Internal	-5.03e+003	0	3.17e-007
		-0.00195	-1.01e+005	2.75e+005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0Wz	2	0.000552	-1.23e+003	-184
		-837	-0.000438	-0.000888
	3	0.000552	-1.23e+003	-184
		-837	-0.000438	-0.000888
	6	0.000331	-5.41	-195
		-858	-0.000438	-0.000535
	7	0.000331	-5.41	-195
		-858	-0.000438	-0.000535
	10	0.000111	-0.107	-195
		-858	-0.000438	-0.000182
	11	0.000111	-0.107	-195
		-858	-0.000438	-0.000182
	14	-0.00011	0.107	-195
		-858	-0.000438	0.000172
	15	-0.00011	0.107	-195
		-858	-0.000438	0.000172
	18	-0.000331	5.33	-195
		-858	-0.000438	0.000526
	19	-0.000331	5.33	-195
		-858	-0.000438	0.000526
	22	-0.000551	1.23e+003	-166
		-827	-0.000438	0.000879
	23	-0.000551	1.23e+003	-166
		-827	-0.000438	0.000879
External	0	0	0	2.26e+003
	1.08e+005	-2.37e+004	0	0
Internal	2.97e-006	0.000244	-2.26e+003	0
	-1.08e+005	2.37e+004	0.00129	0

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

=====

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.4D+1.7L	721	4e-016	-0.0184	1.53e-008
	722	4e-016	-0.0179	1.53e-008
	723	3.93e-016	-0.0179	1.53e-008
	724	3.93e-016	-0.0184	1.53e-008
	725	3.97e-016	-0.0284	1.15e-008
	726	3.97e-016	-0.0288	1.15e-008
	727	3.98e-016	-0.0288	1.15e-008
	728	3.98e-016	-0.0284	1.15e-008
	729	3.96e-016	-0.0291	3.84e-009
	730	3.96e-016	-0.0291	3.84e-009
	731	4e-016	-0.0291	3.84e-009
	732	4e-016	-0.0291	3.84e-009
	733	3.96e-016	-0.0291	-3.84e-009
	734	3.96e-016	-0.0291	-3.84e-009
	735	4.01e-016	-0.0291	-3.84e-009
	736	4.01e-016	-0.0291	-3.84e-009
	737	3.99e-016	-0.0284	-1.15e-008
	738	3.99e-016	-0.0288	-1.15e-008
	739	4e-016	-0.0288	-1.15e-008
	740	4e-016	-0.0284	-1.15e-008
	741	4.03e-016	-0.0184	-1.53e-008
	742	4.03e-016	-0.0179	-1.53e-008
	743	3.97e-016	-0.0179	-1.53e-008
	744	3.97e-016	-0.0184	-1.53e-008
1.05D+1.27..	721	0.0881	-0.00378	1.29e-008
	722	0.0881	-0.0093	1.2e-008
	723	0.0881	-0.0175	1.07e-008
	724	0.0881	-0.0238	9.96e-009
	725	0.0881	-0.0113	9.71e-009
	726	0.0881	-0.0175	8.96e-009
	727	0.0881	-0.0257	7.97e-009
	728	0.0881	-0.0313	7.39e-009
	729	0.0881	-0.0118	3.17e-009
	730	0.0881	-0.0177	2.91e-009
	731	0.0881	-0.026	2.56e-009
	732	0.0881	-0.0318	2.35e-009
	733	0.0881	-0.0118	-3.56e-009
	734	0.0881	-0.0177	-3.24e-009
	735	0.0881	-0.026	-2.82e-009
	736	0.0881	-0.0318	-2.56e-009
	737	0.0881	-0.0113	-1.01e-008
	738	0.0881	-0.0175	-9.3e-009
	739	0.0881	-0.0257	-8.23e-009
	740	0.0881	-0.0313	-7.59e-009
0.9D+1.3W	741	0.0881	-0.00378	-1.33e-008
	742	0.0881	-0.0093	-1.23e-008
	743	0.0881	-0.0175	-1.1e-008
	744	0.0881	-0.0238	-1.02e-008
	721	0.0898	0.0018	7.03e-009
	722	0.0898	-0.00403	6.09e-009
	723	0.0898	-0.0124	4.81e-009
	724	0.0898	-0.0186	4.04e-009
	725	0.0898	-0.00184	5.32e-009
	726	0.0898	-0.00802	4.55e-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

727	0.0898	-0.0164	3.54e-009
728	0.0898	-0.0223	2.95e-009
729	0.0898	-0.00211	1.7e-009
730	0.0898	-0.00812	1.43e-009
731	0.0898	-0.0165	1.08e-009
732	0.0898	-0.0225	8.66e-010
733	0.0898	-0.00211	-2.1e-009
734	0.0898	-0.00812	-1.77e-009
735	0.0898	-0.0165	-1.34e-009
736	0.0898	-0.0225	-1.07e-009
737	0.0898	-0.00184	-5.72e-009
738	0.0898	-0.00802	-4.89e-009
739	0.0898	-0.0164	-3.8e-009
740	0.0898	-0.0223	-3.15e-009
741	0.0898	0.0018	-7.43e-009
742	0.0898	-0.00403	-6.43e-009
743	0.0898	-0.0124	-5.07e-009
744	0.0898	-0.0186	-4.25e-009

1.0Wx

721	0.0691	0.00785	1.1e-009
722	0.0691	0.00323	3.74e-010
723	0.0691	-0.00323	-6.08e-010
724	0.0691	-0.00785	-1.2e-009
725	0.0691	0.00785	8.61e-010
726	0.0691	0.00323	2.7e-010
727	0.0691	-0.00323	-5.04e-010
728	0.0691	-0.00785	-9.64e-010
729	0.0691	0.00785	2.25e-010
730	0.0691	0.00323	1.84e-011
731	0.0691	-0.00323	-2.53e-010
732	0.0691	-0.00785	-4.14e-010
733	0.0691	0.00785	-5.33e-010
734	0.0691	0.00323	-2.84e-010
735	0.0691	-0.00323	5e-011
736	0.0691	-0.00785	2.53e-010
737	0.0691	0.00785	-1.17e-009
738	0.0691	0.00323	-5.36e-010
739	0.0691	-0.00323	3.02e-010
740	0.0691	-0.00785	8.03e-010
741	0.0691	0.00785	-1.41e-009
742	0.0691	0.00323	-6.4e-010
743	0.0691	-0.00323	4.05e-010
744	0.0691	-0.00785	1.04e-009

1.0Wz

721	-3.11e-009	0.00109	0.508
722	-3.11e-009	0.000956	0.508
723	-3.11e-009	0.000956	0.508
724	-3.11e-009	0.00109	0.508
725	-1.89e-009	6.42e-005	0.508
726	-1.89e-009	1.54e-005	0.508
727	-1.89e-009	1.54e-005	0.508
728	-1.89e-009	6.42e-005	0.508
729	-6.7e-010	1.64e-006	0.508
730	-6.7e-010	9.29e-008	0.508
731	-6.7e-010	9.3e-008	0.508
732	-6.7e-010	1.64e-006	0.508
733	5.51e-010	-1.54e-006	0.508
734	5.51e-010	-9.37e-008	0.508
735	5.51e-010	-9.37e-008	0.508
736	5.51e-010	-1.54e-006	0.508

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

737	1.77e-009	-5.93e-005	0.508
738	1.77e-009	-1.52e-005	0.508
739	1.77e-009	-1.52e-005	0.508
740	1.77e-009	-5.93e-005	0.508
741	2.99e-009	-0.00109	0.508
742	2.99e-009	-0.000956	0.508
743	2.99e-009	-0.000956	0.508
744	2.99e-009	-0.00109	0.508



GENERAL INFORMATION:

=====

File name: D:\PROJEC~1\COREST~1\CORE6.FRM
 Project : core
 Engineer : Kriangsak Tangpongprasit

Structure Type : 3-D FRAME No. of Joints : 1023
 Units of Measure: Metric No. of Members: 2228

UNITS:

=====

Length	: m	Point Load	: kN
Section Dimensions	: m	Distributed Load	: kN/m
Area	: m^2	Moment Load	: kN-m
Moment of Inertia	: m^4	Known Displacement:	m
Linear Spring	: kN/m	Shear, Axial Load	: kN
Rotational Spring	: kN-m/rad	Moment, Torsion	: kN-m
Modulus of Elasticity:	kN/m^2	Deflection	: m
Material Density	: kN/m^3		

DEFAULTS:

=====

Density (d)	= 23.544	kN/m^3
Modulus of Elasticity(E)	= 2.4968e+007	kN/m^2
Poisson's Ratio (v)	= 0.2	
Thermal Coefficient (a)	= 0	
Section Area (A)	= 1	m^2
Moment of Inertia (Iz)	= 0.08333	m^4
Moment of Inertia (Iy)	= 0.08333	m^4
Polar Mom. of Inertia (J)	= 0.16667	m^4
Beta Angle	= 0	Degree

SECTION DEFINITIONS:

=====

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label		Parameter 1/ T Cr-Coeff(A)	Parameter 2/ Cr-Coeff(Iz)	Parameter 3/ Cr-Coeff(Iy)	Parameter 4/ Cr-Coeff(J)
small-beam	R	0.0001	0.0001	-	-
		1	1	1	1
wall1	R	0.4	3.5	-	-
		1	1	1	1
wall2	R	5	0.4	-	-
		1	1	1	1
wall3	R	0.4	10	-	-
		1	1	1	1
beam-core	R	4	0.25	-	-
		1	1	1	1
X-beam	R	4	0.25	-	-
		1	1	1	1
Z-beam1	R	3.735	0.25	-	-
		1	1	1	1
Z-beam2	R	2.85	0.25	-	-
		1	1	1	1

LOAD DEFINITIONS:

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
X-160	G-X-D	25.8256	0	1
Z-wind	G-Z-D	2.785	0	1
X-50	G-X-D	8.0705	0	1
X-80	G-X-D	12.9128	0	1
X-120	G-X-D	14.775	0	1

LOAD CASES DEFINED:

SELF	X-wind	Z1-wind	Z2-wind
DL1	DL2	DL3	DL4
LL1	LL2	LL3	LL4

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

Label	Factor x Load Case
1.0Wz	1 x Z1-wind 1 x Z2-wind
1.0Wx	1 x X-wind
1.4D+1.7L	1.4 x DL1 1.4 x DL2 1.4 x DL3 1.4 x DL4 1.7 x LL1 1.7 x LL2 1.7 x LL3 1.7 x LL4 1.4 x SELF
1.05D+1.275(L+W)	1.05 x SELF 1.05 x DL1 1.05 x DL2 1.05 x DL3 1.05 x DL4 1.275 x LL1 1.275 x LL2 1.275 x LL3 1.275 x LL4 1.275 x X-wind
0.9D+1.3W	0.9 x SELF 0.9 x DL1 0.9 x DL2 0.9 x DL3 0.9 x DL4 1.3 x X-wind

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wx	1	-109	-1.4e+003	-2.61e-007
		-4.22e-007	-2.47e-008	663
	2	-137	-1.33e+003	-5.28e-008
		-8.95e-008	-2.47e-008	693
	3	-137	1.33e+003	5.12e-008
		7.69e-008	-2.47e-008	693
	4	-109	1.4e+003	2.59e-007
		4.1e-007	-2.47e-008	663
	5	-109	-1.4e+003	-2.61e-007
		-4.23e-007	-2.47e-008	663
	6	-137	-1.33e+003	-5.29e-008
		-8.96e-008	-2.47e-008	693
	7	-137	1.33e+003	5.11e-008
		7.68e-008	-2.47e-008	693
	8	-109	1.4e+003	2.59e-007
		4.1e-007	-2.47e-008	663
	9	-109	-1.4e+003	-2.61e-007
		-4.22e-007	-2.47e-008	663
	10	-137	-1.33e+003	-5.29e-008
		-8.96e-008	-2.47e-008	693
	11	-137	1.33e+003	5.12e-008
		7.69e-008	-2.47e-008	693
	12	-109	1.4e+003	2.59e-007
		4.1e-007	-2.47e-008	663
	13	-109	-1.4e+003	-2.61e-007
		-4.22e-007	-2.47e-008	663
	14	-137	-1.33e+003	-5.29e-008
		-8.96e-008	-2.47e-008	693
	15	-137	1.33e+003	5.12e-008
		7.69e-008	-2.47e-008	693
	16	-109	1.4e+003	2.59e-007
		4.1e-007	-2.47e-008	663
	17	-109	-1.4e+003	-2.61e-007
		-4.23e-007	-2.47e-008	663
	18	-137	-1.33e+003	-5.29e-008
		-8.96e-008	-2.47e-008	693
	19	-137	1.33e+003	5.11e-008
		7.68e-008	-2.47e-008	693
	20	-109	1.4e+003	2.59e-007
		4.1e-007	-2.47e-008	663
	21	-109	-1.4e+003	-2.61e-007
		-4.22e-007	-2.47e-008	663
	22	-137	-1.33e+003	-5.28e-008
		-8.95e-008	-2.47e-008	693
	23	-137	1.33e+003	5.12e-008
		7.69e-008	-2.47e-008	693
	24	-109	1.4e+003	2.59e-007
		4.1e-007	-2.47e-008	663
External		4.92e+003	0	0
		0	9.84e+004	-2.76e+005
Internal		-4.92e+003	-0.000244	1.43e-006
		-0.000598	-9.84e+004	2.76e+005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wz	1	-0.000641 -595	-529 0.000184	-78.4 0.00102
	2	-0.00975 -595	-634 9.58e-005	-78.4 0.0105
	3	0.00975 -595	-634 -9.59e-005	-78.4 -0.0105
	4	0.000644 -595	-529 -0.000184	-78.4 -0.00103
	5	0.000432 -606	-22.3 5.44e-005	-88 -0.000689
	6	0.0397 -606	-9.3 3.91e-005	-88.1 -0.0424
	7	-0.0397 -606	-9.3 -3.92e-005	-88.1 0.0424
	8	-0.00043 -606	-22.3 -5.45e-005	-88 0.000686
	9	0.000381 -600	76.3 -4.77e-005	-82.7 -0.000605
	10	0.137 -600	559 -2.88e-005	-82.7 -0.146
	11	-0.137 -600	559 2.87e-005	-82.7 0.146
	12	-0.000381 -600	76.3 4.76e-005	-82.7 0.000604
	13	-7.67e-006 -600	-76.3 -2.88e-005	-82.7 7.24e-006
	14	-0.137 -600	-559 -2.52e-005	-82.7 0.146
	15	0.137 -600	-559 2.51e-005	-82.7 -0.146
	16	7.07e-006 -600	-76.3 2.87e-005	-82.7 -6.28e-006
	17	0.000168 -606	22.3 4.75e-005	-88 -0.000272
	18	-0.0396 -606	9.3 3.77e-005	-88 0.0422
	19	0.0396 -606	9.3 -3.78e-005	-88 -0.0422
	20	-0.00017 -606	22.3 -4.76e-005	-88 0.000274
	21	-0.000333 -595	529 -0.000163	-78.4 0.000533
	22	0.00958 -595	634 -9e-005	-78.4 -0.0102
	23	-0.00958 -595	634 8.99e-005	-78.4 0.0102
	24	0.00033 -595	529 0.000163	-78.4 -0.000528
External		0 1.12e+005	0 -1.7e+004	2.26e+003 0
Internal		-1.19e-007 -1.12e+005	-0.000732 1.7e+004	-2.26e+003 -6.09e-005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

=====

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.4D+1.7L	1	1.13	8.76e+003	1.03
		1.1	-3.42e-005	-1.2
	2	0.912	1.05e+004	1.03
		1.1	-1.85e-005	-0.973
	3	-0.912	1.05e+004	1.03
		1.1	1.85e-005	0.973
	4	-1.13	8.76e+003	1.03
		1.1	3.42e-005	1.2
	5	1.13	1.31e+004	1.1
		1.17	-2.03e-005	-1.2
	6	1.17	1.61e+004	1.1
		1.17	-1.66e-005	-1.24
	7	-1.17	1.61e+004	1.1
		1.17	1.66e-005	1.24
	8	-1.13	1.31e+004	1.1
		1.17	2.03e-005	1.2
	9	1.13	1.35e+004	0.0787
		0.0845	2.58e-007	-1.2
	10	1.26	1.66e+004	0.0787
		0.0845	-9.07e-007	-1.35
	11	-1.26	1.66e+004	0.0787
		0.0845	9.07e-007	1.35
	12	-1.13	1.35e+004	0.0787
		0.0845	-2.58e-007	1.2
	13	1.13	1.35e+004	-0.0787
		-0.0845	-2.58e-007	-1.2
	14	1.26	1.66e+004	-0.0787
		-0.0845	9.07e-007	-1.35
	15	-1.26	1.66e+004	-0.0787
		-0.0845	-9.07e-007	1.35
	16	-1.13	1.35e+004	-0.0787
		-0.0845	2.58e-007	1.2
	17	1.13	1.31e+004	-1.1
		-1.17	2.03e-005	-1.2
	18	1.17	1.61e+004	-1.1
		-1.17	1.66e-005	-1.24
	19	-1.17	1.61e+004	-1.1
		-1.17	-1.66e-005	1.24
	20	-1.13	1.31e+004	-1.1
		-1.17	-2.03e-005	1.2
	21	1.13	8.76e+003	-1.03
		-1.1	3.42e-005	-1.2
	22	0.912	1.05e+004	-1.03
		-1.1	1.85e-005	-0.973
	23	-0.912	1.05e+004	-1.03
		-1.1	-1.85e-005	0.973
	24	-1.13	8.76e+003	-1.03
		-1.1	-3.42e-005	1.2
External		0	-3.52e+005	0
		7.04e+006	0	-2.64e+006
Internal		0	3.52e+005	8.94e-008
		-7.04e+006	-2.06e-005	2.64e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.05D+1.27..	1	-138	4.79e+003	0.769
		0.822	-2.57e-005	845
	2	-174	6.16e+003	0.77
		0.823	-1.39e-005	883
	3	-175	9.55e+003	0.77
		0.823	1.38e-005	884
	4	-140	8.35e+003	0.769
		0.822	2.56e-005	847
	5	-138	8.07e+003	0.825
		0.881	-1.53e-005	845
	6	-173	1.04e+004	0.825
		0.881	-1.25e-005	883
	7	-175	1.38e+004	0.825
		0.881	1.24e-005	884
	8	-140	1.16e+004	0.825
		0.881	1.52e-005	847
	9	-138	8.33e+003	0.059
		0.0633	1.62e-007	845
	10	-173	1.07e+004	0.059
		0.0634	-7.12e-007	883
	11	-175	1.41e+004	0.059
		0.0634	6.49e-007	885
	12	-140	1.19e+004	0.059
		0.0633	-2.25e-007	847
	13	-138	8.33e+003	-0.059
		-0.0633	-2.25e-007	845
	14	-173	1.07e+004	-0.059
		-0.0634	6.49e-007	883
	15	-175	1.41e+004	-0.059
		-0.0634	-7.12e-007	885
	16	-140	1.19e+004	-0.059
		-0.0633	1.62e-007	847
	17	-138	8.07e+003	-0.825
		-0.881	1.52e-005	845
	18	-173	1.04e+004	-0.825
		-0.881	1.24e-005	883
	19	-175	1.38e+004	-0.825
		-0.881	-1.25e-005	884
	20	-140	1.16e+004	-0.825
		-0.881	-1.53e-005	847
	21	-138	4.79e+003	-0.769
		-0.822	2.56e-005	845
	22	-174	6.16e+003	-0.77
		-0.823	1.38e-005	883
	23	-175	9.55e+003	-0.77
		-0.823	-1.39e-005	884
	24	-140	8.35e+003	-0.769
		-0.822	-2.57e-005	847
External		6.27e+003	-2.64e+005	0
		5.28e+006	1.25e+005	-2.33e+006
Internal		-6.27e+003	2.64e+005	-1.19e+006
		-5.28e+006	-1.25e+005	2.33e+006

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
0.9D+1.3W	1	-141 0.439	2.45e+003 -1.37e-005	0.41 862
	2	-177 0.439	3.23e+003 -7.43e-006	0.41 900
	3	-178 0.439	6.69e+003 7.36e-006	0.41 901
	4	-142 0.439	6.09e+003 1.36e-005	0.41 863
	5	-141 0.47	4.2e+003 -8.16e-006	0.44 862
	6	-177 0.47	5.49e+003 -6.67e-006	0.44 900
	7	-178 0.47	8.95e+003 6.6e-006	0.44 901
	8	-142 0.47	7.84e+003 8.09e-006	0.44 863
	9	-141 0.0338	4.34e+003 7.09e-008	0.0315 862
	10	-177 0.0338	5.68e+003 -3.95e-007	0.0315 900
	11	-178 0.0338	9.14e+003 3.31e-007	0.0315 901
	12	-142 0.0338	7.98e+003 -1.35e-007	0.0315 863
	13	-141 -0.0338	4.34e+003 -1.35e-007	-0.0315 862
	14	-177 -0.0338	5.68e+003 3.31e-007	-0.0315 900
	15	-178 -0.0338	9.14e+003 -3.95e-007	-0.0315 901
	16	-142 -0.0338	7.98e+003 7.09e-008	-0.0315 863
	17	-141 -0.47	4.2e+003 8.09e-006	-0.44 862
	18	-177 -0.47	5.49e+003 6.6e-006	-0.44 900
	19	-178 -0.47	8.95e+003 -6.67e-006	-0.44 901
	20	-142 -0.47	7.84e+003 -8.16e-006	-0.44 863
	21	-141 -0.439	2.45e+003 1.36e-005	-0.41 862
	22	-177 -0.439	3.23e+003 7.36e-006	-0.41 900
	23	-178 -0.439	6.69e+003 -7.43e-006	-0.41 901
	24	-142 -0.439	6.09e+003 -1.37e-005	-0.41 863
External		6.4e+003 3.37e+006	-1.68e+005 1.28e+005	0 -1.62e+006
Internal		-6.4e+003 -3.37e+006	1.68e+005 -1.28e+005	-5.01e-006 1.62e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wz	721	1.07e-009	0.000813	0.102
	722	1.96e-010	0.000931	0.102
	723	-2.7e-010	0.000931	0.102
	724	-1.14e-009	0.000813	0.102
	725	-1.07e-009	5.21e-005	0.102
	726	-1.63e-010	2.42e-005	0.102
	727	1.19e-010	2.42e-005	0.102
	728	1.03e-009	5.21e-005	0.102
	729	-4.29e-010	-0.000173	0.102
	730	7.87e-011	-0.000758	0.102
	731	-9.37e-011	-0.000758	0.102
	732	4.14e-010	-0.000173	0.102
	733	-6.25e-011	0.000173	0.102
	734	-1.77e-010	0.000758	0.102
	735	1.92e-010	0.000758	0.102
	736	7.69e-011	0.000173	0.102
	737	2.82e-010	-5.21e-005	0.102
	738	5.32e-012	-2.42e-005	0.102
	739	3.86e-011	-2.42e-005	0.102
	740	-2.38e-010	-5.21e-005	0.102
	741	2.14e-010	-0.000813	0.102
	742	5.95e-011	-0.000931	0.102
	743	1.39e-011	-0.000931	0.102
	744	-1.4e-010	-0.000813	0.102
	1015	-2.71e-007	0.00102	0.0505
	1016	-8.92e-007	0.00104	0.0505
	1017	-1.43e-006	-0.000273	0.0505
	1018	-3.81e-007	-0.00157	0.0505
	1019	-4.58e-015	-0.00044	0.0505
	1020	3.81e-007	-0.00157	0.0505
	1021	1.43e-006	-0.000273	0.0505
	1022	8.92e-007	0.00104	0.0505
	1023	2.71e-007	0.00102	0.0505
1.0Wx	721	0.116	0.00228	7e-012
	722	0.116	0.001	1.19e-012
	723	0.116	-0.001	-1.72e-012
	724	0.116	-0.00228	-7.53e-012
	725	0.116	0.00228	7e-012
	726	0.116	0.001	1.19e-012
	727	0.116	-0.001	-1.72e-012
	728	0.116	-0.00228	-7.53e-012
	729	0.116	0.00228	7e-012
	730	0.116	0.001	1.19e-012
	731	0.116	-0.001	-1.72e-012
	732	0.116	-0.00228	-7.53e-012
	733	0.116	0.00228	7e-012
	734	0.116	0.001	1.19e-012
	735	0.116	-0.001	-1.72e-012
	736	0.116	-0.00228	-7.53e-012
	737	0.116	0.00228	7e-012
	738	0.116	0.001	1.19e-012
	739	0.116	-0.001	-1.72e-012
	740	0.116	-0.00228	-7.53e-012
	741	0.116	0.00228	7e-012
	742	0.116	0.001	1.19e-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

743	0.116	-0.001	-1.72e-012
744	0.116	-0.00228	-7.53e-012
1015	0.111	0.00276	6.61e-006
1016	0.111	0.00456	1.55e-005
1017	0.111	0.00385	1.51e-005
1018	0.111	0.00407	1.39e-005
1019	0.111	3.34e-007	6.16e-006
1020	0.111	-0.00408	-4.06e-006
1021	0.111	-0.00385	-5.32e-006
1022	0.111	-0.00458	-5.83e-006
1023	0.111	-0.00276	1.27e-006
1.4D+1.7L			
721	2.33e-008	-0.0176	1.3e-007
722	6.66e-009	-0.0207	1.4e-007
723	-6.66e-009	-0.0207	1.4e-007
724	-2.33e-008	-0.0176	1.3e-007
725	1.58e-008	-0.0261	9.87e-008
726	5.54e-009	-0.0313	1.07e-007
727	-5.54e-009	-0.0313	1.07e-007
728	-1.58e-008	-0.0261	9.87e-008
729	1.38e-008	-0.0269	3.39e-008
730	5.3e-009	-0.0324	3.44e-008
731	-5.3e-009	-0.0324	3.44e-008
732	-1.38e-008	-0.0269	3.39e-008
733	1.38e-008	-0.0269	-3.39e-008
734	5.3e-009	-0.0324	-3.44e-008
735	-5.3e-009	-0.0324	-3.44e-008
736	-1.38e-008	-0.0269	-3.39e-008
737	1.58e-008	-0.0261	-9.87e-008
738	5.54e-009	-0.0313	-1.07e-007
739	-5.54e-009	-0.0313	-1.07e-007
740	-1.58e-008	-0.0261	-9.87e-008
741	2.33e-008	-0.0176	-1.3e-007
742	6.66e-009	-0.0207	-1.4e-007
743	-6.66e-009	-0.0207	-1.4e-007
744	-2.33e-008	-0.0176	-1.3e-007
1015	3.6e-006	-0.00777	-0.0238
1016	3.68e-006	-0.0077	-0.0238
1017	3.66e-006	-0.00659	-0.0238
1018	1.72e-006	-0.00567	-0.0238
1019	2.08e-015	-0.00599	-0.0238
1020	-1.72e-006	-0.00567	-0.0238
1021	-3.66e-006	-0.00659	-0.0238
1022	-3.68e-006	-0.0077	-0.0238
1023	-3.6e-006	-0.00777	-0.0238
1.05D+1.27..			
721	0.148	-0.0103	9.73e-008
722	0.148	-0.0142	1.05e-007
723	0.148	-0.0168	1.05e-007
724	0.148	-0.0161	9.73e-008
725	0.148	-0.0166	7.4e-008
726	0.148	-0.0222	8e-008
727	0.148	-0.0247	8e-008
728	0.148	-0.0225	7.4e-008
729	0.148	-0.0173	2.54e-008
730	0.148	-0.023	2.58e-008
731	0.148	-0.0256	2.58e-008
732	0.148	-0.0231	2.54e-008
733	0.148	-0.0173	-2.54e-008
734	0.148	-0.023	-2.58e-008

735	0.148	-0.0256	-2.58e-008
736	0.148	-0.0231	-2.54e-008
737	0.148	-0.0166	-7.4e-008
738	0.148	-0.0222	-8e-008
739	0.148	-0.0247	-8e-008
740	0.148	-0.0225	-7.4e-008
741	0.148	-0.0103	-9.73e-008
742	0.148	-0.0142	-1.05e-007
743	0.148	-0.0168	-1.05e-007
744	0.148	-0.0161	-9.73e-008
1015	0.141	-0.00231	-0.0179
1016	0.141	3.47e-005	-0.0179
1017	0.141	-3.43e-005	-0.0179
1018	0.141	0.000935	-0.0179
1019	0.141	-0.00449	-0.0179
1020	0.141	-0.00946	-0.0179
1021	0.141	-0.00985	-0.0179
1022	0.141	-0.0116	-0.0179
1023	0.141	-0.00935	-0.0179
0.9D+1.3W			
721	0.151	-0.00554	5.19e-008
722	0.151	-0.00845	5.58e-008
723	0.151	-0.0111	5.58e-008
724	0.151	-0.0115	5.19e-008
725	0.151	-0.00894	3.95e-008
726	0.151	-0.0127	4.27e-008
727	0.151	-0.0153	4.26e-008
728	0.151	-0.0149	3.95e-008
729	0.151	-0.00927	1.36e-008
730	0.151	-0.0131	1.37e-008
731	0.151	-0.0157	1.37e-008
732	0.151	-0.0152	1.36e-008
733	0.151	-0.00927	-1.36e-008
734	0.151	-0.0131	-1.37e-008
735	0.151	-0.0157	-1.37e-008
736	0.151	-0.0152	-1.36e-008
737	0.151	-0.00894	-3.95e-008
738	0.151	-0.0127	-4.26e-008
739	0.151	-0.0153	-4.27e-008
740	0.151	-0.0149	-3.95e-008
741	0.151	-0.00554	-5.19e-008
742	0.151	-0.00845	-5.58e-008
743	0.151	-0.0111	-5.58e-008
744	0.151	-0.0115	-5.19e-008
1015	0.144	-0.00141	-0.0153
1016	0.144	0.000974	-0.0153
1017	0.144	0.000768	-0.0153
1018	0.144	0.00164	-0.0153
1019	0.144	-0.00385	-0.0153
1020	0.144	-0.00895	-0.0153
1021	0.144	-0.00924	-0.0153
1022	0.144	-0.0109	-0.0153
1023	0.144	-0.00858	-0.0153

4.2. รายการการออกแบบโครงสร้างแบบปล้องแกน (Core Structures)

4.2.1. การออกแบบปล้องแกนหน้าตัดที่ 1

การออกแบบของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ซม.² , กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน 4,000 กก/ซม.²

2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(h) = 0.4 เมตร , ยาว (l_w) = 3.5 เมตร , สูง(h_w) = 3.2 เมตร

3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(V_u) = 3.087×10^2 kN = 31.5 ton
 แรงตามแกนในแนวตั้ง(P_u) = 5.675×10^4 kN = 578.5 ton
 โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(M_u) = 3.837×10^3 kN-m = 391.1 ton-m

4) หาความลึกประสิทธิภาพ ; $d = 0.8l_w = 2.80$ เมตร

5) หาระยะจากฐานถึงหน้าตัดวิกฤต ; $0.5l_w$ หรือ $0.5h_w = 1.60$ เมตร

6) หากำลังรับแรงเฉือน ; $\phi v_n = \phi 2.7 \sqrt{f_c'} hd = 430.1$ ton มากกว่า V_u ดังนั้นหน้าตัดใช้ได้
 กำลังรับแรงเฉือนซึ่งคอนกรีตรับได้ ;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f_c'} hd = 99.33 \text{ ton}$$

เนื่องจาก $\phi v_c \geq v_u$ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน
 จากข้อกำหนด ; การเสริมเหล็กรับแรงตามแกน กรณี

- จะต้องเสริมเหล็กอย่างน้อย 0.0025 ของพื้นที่
- ระยะวางเหล็ก $0.5l_w$ หรือ $3h$ หรือ 45 ซม.

เลือกเหล็ก DB16 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10$ ซม.²/ม

ใช้ DB16@0.20 ม. จึงได้มีการกำหนดให้มีการเสริม 2 แถว ; 2-DB16@0.40 ม.

7) หาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัด

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d} = 14.67 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f_c'}} \right) = 0.00379$$

$$A_s = \rho b d = 0.00379 \times 40 \times 280 = 42.23 \text{ ซม.}^2 \text{ เลือกใช้ 6-DB32 (} A_s = 48.24 \text{ ซม.}^2 \text{)}$$

8) การเสริมเหล็กในแนวนานกับเหล็กขึ้น

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0.0025) = 0.0025$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ DB12 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10 \text{ ซม.}^2/\text{ม}$

ใช้ DB16@0.20 ม. จึงได้มีการกำหนดให้มีการเสริม 2 แถว ; 2-DB16@0.40 ม

4.2.2. การออกแบบปล้องแกนหน้าตัดที่ 2

การออกแบบของค้ำอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ซม.² , กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน 4,000 กก/ซม.²

2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(h) = 0.4 เมตร , ยาว (l_w) = 5.0 เมตร , สูง(h_w) = 3.2 เมตร

3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(V_u) = $4.102 \times 10^1 \text{ kN} = 4.18 \text{ ton}$

แรงตามแกนในแนวดิ่ง(P_u) = $6.765 \times 10^3 \text{ kN} = 689.6 \text{ ton}$

โมเมนต์ค้ครอบแกนหลัก(M_u) = $7.186 \times 10^2 \text{ kN-m} = 73.26 \text{ ton-m}$

4) หาความลึกประสิทธิภาพ ; $d = 0.8l_w = 4.00 \text{ เมตร}$

5) หาระยะจากฐานถึงหน้าตัดวิกฤต ; $0.5l_w$ หรือ $0.5h_w = 1.60 \text{ เมตร}$

6) หากำลังระบุรับแรงเฉือน ; $\phi v_n = \phi 2.7 \sqrt{f_c'} hd = 614.4 \text{ ton}$ มากกว่า V_u ดังนั้นหน้าตัดใช้ได้

กำลังรับแรงเฉือนซึ่งคอนกรีตรับได้ ;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f_c'} hd = 141.9 \text{ ton}$$

เนื่องจาก $\phi v_c \geq v_u$ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

จากข้อกำหนด ; การเสริมเหล็กรับแรงตามแกน กรณี

- จะต้องเสริมเหล็กอย่างน้อย 0.0025 ของพื้นที่
- ระยะวางเหล็ก $0.5l_w$ หรือ $3h$ หรือ 45 ซม

เลือกเหล็ก DB16 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10 \text{ ซม.}^2/\text{ม}$

ใช้ DB16@0.20 ม. จึงได้มีการกำหนดให้มีการเสริม 2 แถว ; 2-DB16@0.40 ม.

7) หาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงค้

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d} = 1.35 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f_c'}{f_s} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f_c'}} \right) = 0.0034 \text{ น้อยกว่า } \rho(\min) = 0.0033$$

$$A_s = \rho b d = 0.0033 \times 40 \times 400 = 52.80 \text{ ซม.}^2 \text{ เลือกใช้ 7-DB32. (} A_s = 56.28 \text{ ซม.}^2 \text{)}$$

8) การเสริมเหล็กในแนวนานกับเหล็กขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0.0025) = 0.0025$$

เลือกใช้ DB12 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10$ ซม.²/ม

ใช้ DB16@0.20 ม. จึงได้มีการกำหนดให้มีการเสริม 2 แถว ; 2-DB16@0.40 ม

4.2.3. การออกแบบปล้องแกนหน้าตัดที่ 3

การออกแบบของค้ำอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ซม.², กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน 4,000 กก/ซม.²

2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(h) = 0.4 เมตร , ยาว (l_w) = 10.0 เมตร , สูง(h_w) = 3.2 เมตร

3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(V_u) = 1.860×10^3 kN = 189.6 ton
แรงตามแกนในแนวตั้ง(P_u) = 1.251×10^4 kN = 1275 ton
โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(M_u) = 6.870×10^2 kN-m = 7002 ton-m

4) หาความลึกประสิทธิภาพ ; $d = 0.8l_w = 8.00$ เมตร

5) หาระยะจากฐานถึงหน้าตัดวิกฤต ; $0.5l_w$ หรือ $0.5h_w = 1.60$ เมตร

6) หากำลังรับแรงเฉือน ; $\phi v_n = \phi 2.7 \sqrt{f'_c} h d = 1229$ ton มากกว่า V_u ดังนั้นหน้าตัดใช้ได้
กำลังรับแรงเฉือนซึ่งคอนกรีตรับได้ ;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f'_c} h d = 283.8 \text{ ton}$$

เนื่องจาก $\phi v_n \geq v_u$ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

จากข้อกำหนด ; การเสริมเหล็กรับแรงตามแกน กรณี

- จะต้องเสริมเหล็กอย่างน้อย 0.0025 ของพื้นที่
- ระยะวางเหล็ก $0.5l_w$ หรือ $3h$ หรือ 45 ซม.

เลือกเหล็ก DB16 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10$ ซม.²/ม

ใช้ DB16@0.20 ม. จึงได้มีการกำหนดให้มีการเสริม 2 แถว ; 2-DB16@0.40 ม.

7) หาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดัด

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d} = 32.18 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right) = 0.0087$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL INFORMATION:

File name: D:\PROJEC~1\OUTRIG~1\OUT4.FRM
 Project : out
 Engineer : Kriangsak Tangpongprasit

Structure Type : 3-D FRAME No. of Joints : 1525
 Units of Measure: Metric No. of Members: 3900

UNITS:

Length : m Point Load : kN
 Section Dimensions : m Distributed Load : kN/m
 Area : m^2 Moment Load : kN-m
 Moment of Inertia : m^4 Known Displacement: m
 Linear Spring : kN/m Shear, Axial Load : kN
 Rotational Spring : kN-m/rad Moment, Torsion : kN-m
 Modulus of Elasticity: kN/m^2 Deflection : m
 Material Density : kN/m^3

DEFAULTS:

Density (d) = 77.0085 kN/m^3
 Modulus of Elasticity(E) = 2.00124e+008 kN/m^2
 Poisson's Ratio (v) = 0.288
 Thermal Coefficient (a) = 0
 Section Area (A) = 0.05688 m^2
 Moment of Inertia (Iz) = 0.008446 m^4
 Moment of Inertia (Iy) = 0.0004673 m^4
 Polar Mom. of Inertia (J) = 0.0089133 m^4
 Beta Angle = 0 Degree

MATERIAL DEFINITIONS:

Material Label	Density kN/m^3	Young's Mod. kN/m^2	Poisson's Ratio	Thermal Coefficient
concrete	23.544	2.4968e+007	0.2	0

SECTION DEFINITIONS:

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label	Parameter 1/ T Cr-Coeff(A)	Parameter 2/ Cr-Coeff(Iz)	Parameter 3/ Cr-Coeff(Iy)	Parameter 4/ Cr-Coeff(J)
core	U 33	399.33	250.75	650.08
36"WF36x16-1/2	U 0.05688	0.008446	0.0004673	0.0089133
WF400x400	U 0.07001	0.00298	0.000944	0.003924
outri beam	U 3.5	12.05	0.98	13.13

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
X-160	G-X-D	50.2272	0	1
DLout6m	G-Y-D	-5.886	0	1
LLout6m	G-Y-D	-4.4145	0	1
DLin6m	G-Y-D	-11.772	0	1
LLin6m	G-Y-D	-8.829	0	1
DLout8m	G-Y-D	-7.3575	0	1
LLout8m	G-Y-D	-5.5181	0	1
DLin8m	G-Y-D	-14.715	0	1
LLin8m	G-Y-D	-11.0363	0	1
X-50	G-X-D	15.696	0	1
X-80	G-X-D	25.1136	0	1
X-120	G-X-D	37.6704	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF	X-wind Dis	X-wind Poi	Z-wind Poi
DL out6m	LL out6m	DL in6m	LL in6m
DL out8m	LL out8m	DL in8m	LL in8m

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
1.0Wx dis	1 x X-wind Dis
1.0Wz	1 x Z-wind Poi
1.4D+1.7L	1.4 x SELF 1.4 x DL out6m 1.4 x DL in6m 1.4 x DL out8m 1.4 x DL in8m 1.7 x LL out6m 1.7 x LL in6m 1.7 x LL out8m 1.7 x LL in8m
1.05D+1.275 (L+W)	1.05 x DL out6m 1.05 x DL in6m 1.05 x DL out8m 1.05 x DL in8m 1.275 x LL out6m 1.275 x LL in6m 1.275 x LL out8m 1.275 x LL in8m 1.275 x X-wind Dis 1.05 x SELF
0.9D+1.3W	0.9 x SELF 0.9 x DL out6m 0.9 x DL in6m 0.9 x DL out8m 0.9 x DL in8m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 x X-wind Dis



SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wx dis	1	-13.4 0.00149	-3.92e+003 0.00164	0.000848 95.8
	2	-25.7 0.000427	-1.89e+003 0.000989	0.000243 110
	3	-1.85 3.01e-010	5.7e-007 0.00147	6.42e-012 82.4
	4	-25.7 -0.000427	1.89e+003 0.000989	-0.000243 110
	5	-13.4 -0.00149	3.92e+003 0.00164	-0.000848 95.8
	6	-13.3 0.00118	-3.92e+003 0.00159	0.000733 95.8
	7	-25.6 0.000213	-1.89e+003 0.00124	0.000155 110
	8	-1.59 2.95e-010	2.88e-007 -2.37e-006	1.14e-012 82
	9	-25.6 -0.000213	1.89e+003 0.00124	-0.000155 110
	10	-13.3 -0.00118	3.92e+003 0.00159	-0.000733 95.8
	11	-4.71 -2.49e-005	-4.78e+003 -1.95e-006	-1.42e-005 33.8
	12	-9.05 -1.25e-005	-2.31e+003 -1.95e-006	-7.12e-006 38.8
	13	-9.43e+003 1.96e-005	4.14e-008 -0.0434	-1.12e-007 4.84e+005
	14	-9.05 1.25e-005	2.31e+003 -1.95e-006	7.12e-006 38.8
	15	-4.71 2.49e-005	4.78e+003 -1.95e-006	1.42e-005 33.8
	16	-13.3 -0.00121	-3.92e+003 -0.0016	-0.000747 95.8
	17	-25.6 -0.000225	-1.89e+003 -0.00125	-0.000162 110
	18	-1.59 2.9e-010	-2.9e-007 -6.51e-006	-3.06e-012 82
	19	-25.6 0.000225	1.89e+003 -0.00125	0.000162 110
	20	-13.3 0.00121	3.92e+003 -0.0016	0.000747 95.8
	21	-13.4 -0.00151	-3.92e+003 -0.00165	-0.000862 95.8
	22	-25.7 -0.000439	-1.89e+003 -0.000989	-0.00025 110
	23	-1.85 2.98e-010	-5.74e-007 -0.00148	3.79e-012 82.4
	24	-25.7 0.000439	1.89e+003 -0.000989	0.00025 110
	25	-13.4 0.00151	3.92e+003 -0.00165	0.000862 95.8
External		9.78e+003 0	0 1.56e+005	0 -1.1e+006
Internal		-9.78e+003 -0.00779	0.000244 -1.56e+005	-1.12e-007 1.1e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wz	1	0.00246 -10.8	-2.4e+003 -0.000557	-5.04 -0.00434
	2	0.00123 -10.8	-2.4e+003 -0.000592	-5.04 -0.00218
	3	-0.00213 -10.8	-2.4e+003 5.58e-005	-5.04 0.00373
	4	-0.00546 -10.8	-2.4e+003 0.000704	-5.04 0.00961
	5	-0.0067 -10.8	-2.4e+003 0.000669	-5.04 0.0118
	6	-1.46e-006 -12.9	-1.54e+003 -0.000323	-6.87 -3.04e-005
	7	-0.00089 -12.9	-1.54e+003 -0.000718	-6.87 0.00153
	8	-0.00107 -12.9	-1.54e+003 5.58e-005	-6.87 0.00187
	9	-0.00122 -12.9	-1.54e+003 0.00083	-6.87 0.00218
	10	-0.00211 -12.9	-1.54e+003 0.000434	-6.87 0.00374
	11	-4.04e-005 -10.2	1.84e-005 -0.000336	-0.252 6.34e-005
	12	-8.41e-006 -10.2	-5.28e-006 2.43e-005	-0.235 9.99e-006
	13	-2.27e-007 -3.37e+005	1.83e-006 0.545	-7.79e+003 -2.38e-005
	14	8.41e-006 -10.2	-5.73e-006 2.48e-005	-0.235 -9.99e-006
	15	4.04e-005 -10.2	1.75e-005 0.000385	-0.252 -6.34e-005
	16	-0.000241 -12.9	1.54e+003 -0.000276	-6.87 0.000413
	17	0.000706 -12.9	1.54e+003 -0.000528	-6.87 -0.00123
	18	0.00107 -12.9	1.54e+003 5.58e-005	-6.87 -0.00187
	19	0.00141 -12.9	1.54e+003 0.000639	-6.87 -0.00248
	20	0.00235 -12.9	1.54e+003 0.000387	-6.87 -0.00412
	21	-0.00176 -10.8	2.4e+003 -0.000441	-5.04 0.00307
	22	-0.000633 -10.8	2.4e+003 -0.000443	-5.04 0.00111
	23	0.00213 -10.8	2.4e+003 5.58e-005	-5.04 -0.00373
	24	0.00487 -10.8	2.4e+003 0.000555	-5.04 -0.00854
	25	0.006 -10.8	2.4e+003 0.000552	-5.04 -0.0105
External		0 8.44e+005	0 -9.49e+004	7.91e+003 0
Internal		-2.32e-007 -8.44e+005	0 9.49e+004	-7.91e+003 -0.0196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.4D+1.7L	1	21.7	1.39e+004	9.57
		11.2	-5.81e-005	-25.4
	2	-5.21	1.45e+004	9.57
		11.2	-4.32e-005	6.07
	3	5.87e-013	1.45e+004	9.57
		11.2	-1.52e-014	-2.64e-010
	4	5.21	1.45e+004	9.57
		11.2	4.32e-005	-6.07
	5	-21.7	1.39e+004	9.57
		11.2	5.81e-005	25.4
	6	21.8	1.33e+004	-6.58
		-7.68	-0.000163	-25.4
	7	-5.29	1.4e+004	-6.59
		-7.68	-5.76e-005	6.17
	8	2.87e-013	1.37e+004	-6.59
		-7.69	-1.53e-014	-2.64e-010
	9	5.29	1.4e+004	-6.59
		-7.68	5.76e-005	-6.17
	10	-21.8	1.33e+004	-6.58
		-7.68	0.000163	25.4
	11	7.69	1.36e+004	-4.67e-014
		-1.48e-012	-6.69e-015	-8.97
	12	-1.92	1.34e+004	-2.1e-014
		-1.44e-012	-6.71e-015	2.24
	13	-2.97e-011	5.19e+005	1.16e-010
		-4.63e-008	-1.49e-010	-1.55e-006
	14	1.92	1.34e+004	2.8e-014
		-1.35e-012	-6.71e-015	-2.24
	15	-7.69	1.36e+004	5.08e-014
		-1.31e-012	-6.73e-015	8.97
	16	21.8	1.33e+004	6.58
		7.68	0.000163	-25.4
	17	-5.29	1.4e+004	6.59
		7.68	5.76e-005	6.17
	18	-2.97e-013	1.37e+004	6.59
		7.69	-1.53e-014	-2.63e-010
	19	5.29	1.4e+004	6.59
		7.68	-5.76e-005	-6.17
	20	-21.8	1.33e+004	6.58
		7.68	-0.000163	25.4
	21	21.7	1.39e+004	-9.57
		-11.2	5.81e-005	-25.4
	22	-5.21	1.45e+004	-9.57
		-11.2	4.32e-005	6.07
	23	-5.99e-013	1.45e+004	-9.57
		-11.2	-1.53e-014	-2.62e-010
	24	5.21	1.45e+004	-9.57
		-11.2	-4.32e-005	-6.07
	25	-21.7	1.39e+004	-9.57
		-11.2	-5.81e-005	25.4
External		0	-8.52e+005	0
		1.36e+007	0	-1.02e+007
Internal		0	8.52e+005	0
		-1.36e+007	-2.29e-005	1.02e+007

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.05D+1.27..	1	-0.756 8.37	5.45e+003 0.00205	7.18 103
	2	-36.6 8.37	8.47e+003 0.00123	7.18 145
	3	-2.36 8.37	1.09e+004 0.00187	7.18 105
	4	-28.8 8.37	1.33e+004 0.00129	7.18 136
	5	-33.4 8.37	1.55e+004 0.00214	7.17 141
	6	-0.681 -5.76	4.95e+003 0.00191	-4.94 103
	7	-36.6 -5.76	8.11e+003 0.00153	-4.94 145
	8	-2.03 -5.77	1.03e+004 -3.03e-006	-4.94 105
	9	-28.7 -5.76	1.29e+004 0.00162	-4.94 136
	10	-33.3 -5.76	1.5e+004 0.00215	-4.94 141
	11	-0.236 -3.18e-005	4.08e+003 -2.49e-006	-1.81e-005 36.3
	12	-13 -1.59e-005	7.13e+003 -2.49e-006	-9.08e-006 51.2
	13	-1.2e+004 2.49e-005	3.89e+005 -0.0553	-1.42e-007 6.17e+005
	14	-10.1 1.59e-005	1.3e+004 -2.49e-006	9.08e-006 47.8
	15	-11.8 3.18e-005	1.63e+004 -2.49e-006	1.81e-005 49.8
	16	-0.681 5.76	4.95e+003 -0.00192	4.94 103
	17	-36.6 5.76	8.11e+003 -0.00155	4.94 145
	18	-2.03 5.77	1.03e+004 -8.3e-006	4.94 105
	19	-28.7 5.76	1.29e+004 -0.00163	4.94 136
	20	-33.3 5.76	1.5e+004 -0.00217	4.94 141
	21	-0.757 -8.37	5.45e+003 -0.00206	-7.18 103
	22	-36.6 -8.37	8.47e+003 -0.00124	-7.18 145
	23	-2.36 -8.37	1.09e+004 -0.00188	-7.18 105
	24	-28.8 -8.37	1.33e+004 -0.0013	-7.18 136
	25	-33.4 -8.37	1.55e+004 -0.00215	-7.17 141
External		1.25e+004 1.02e+007	-6.39e+005 1.99e+005	0 -9.07e+006
Internal		-1.25e+004 -1.02e+007	6.39e+005 -1.99e+005	-3.34e-006 9.07e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
0.9D+1.3W	1	-9.01 4.33	895 0.00212	3.71 115
	2	-35.3 4.33	3.75e+003 0.00127	3.71 146
	3	-2.4 4.33	6.21e+003 0.00191	3.71 107
	4	-31.4 4.33	8.66e+003 0.0013	3.71 141
	5	-25.8 4.33	1.11e+004 0.00216	3.71 134
	6	-8.95 -2.86	673 0.00201	-2.45 115
	7	-35.3 -2.86	3.58e+003 0.00159	-2.45 145
	8	-2.07 -2.86	5.94e+003 3.09e-006	-2.45 107
	9	-31.3 -2.86	8.5e+003 0.00163	-2.45 141
	10	-25.7 -2.86	1.09e+004 0.00213	-2.45 134
	11	-3.15 -3.24e-005	-138 -2.54e-006	-1.85e-005 40.5
	12	-12.5 -1.62e-005	3.02e+003 -2.54e-006	-9.26e-006 51.4
	13	-1.23e+004 2.54e-005	2.55e+005 -0.0564	-1.45e-007 6.29e+005
	14	-11 1.62e-005	9.02e+003 -2.54e-006	9.26e-006 49.6
	15	-9.08 3.24e-005	1.23e+004 -2.54e-006	1.85e-005 47.4
	16	-8.95 2.86	673 -0.00202	2.45 115
	17	-35.3 2.86	3.58e+003 -0.0016	2.45 145
	18	-2.07 2.86	5.94e+003 -8.46e-006	2.45 107
	19	-31.3 2.86	8.5e+003 -0.00164	2.45 141
	20	-25.7 2.86	1.09e+004 -0.00215	2.45 134
	21	-9.01 -4.33	895 -0.00213	-3.71 115
	22	-35.3 -4.33	3.75e+003 -0.00127	-3.71 146
	23	-2.4 -4.33	6.21e+003 -0.00192	-3.71 107
	24	-31.4 -4.33	8.66e+003 -0.00131	-3.71 141
	25	-25.8 -4.33	1.11e+004 -0.00217	-3.71 134
External		1.27e+004 6.4e+006	-4e+005 2.03e+005	0 -6.22e+006
Internal		-1.27e+004 -6.4e+006	4e+005 -2.03e+005	-2.38e-007 6.22e+006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wx dis	1501	0.414	0.0294	4.35e-008
	1502	0.414	0.0146	1.49e-008
	1503	0.414	-8.89e-012	-9.86e-011
	1504	0.414	-0.0146	-1.51e-008
	1505	0.414	-0.0294	-4.37e-008
	1506	0.414	0.0294	3.24e-008
	1507	0.414	0.0147	7.56e-009
	1508	0.414	-5.3e-012	-9.86e-011
	1509	0.414	-0.0147	-7.76e-009
	1510	0.414	-0.0294	-3.26e-008
	1511	0.414	0.0294	1.08e-008
	1512	0.414	0.0147	5.35e-009
	1513	0.414	-1.33e-014	-9.86e-011
	1514	0.414	-0.0147	-5.55e-009
	1515	0.414	-0.0294	-1.1e-008
	1516	0.414	0.0294	-1.08e-008
	1517	0.414	0.0147	3.14e-009
	1518	0.414	5.35e-012	-9.86e-011
	1519	0.414	-0.0147	-3.34e-009
	1520	0.414	-0.0294	1.06e-008
	1521	0.414	0.0294	-2.19e-008
	1522	0.414	0.0146	-4.15e-009
	1523	0.414	8.94e-012	-9.86e-011
	1524	0.414	-0.0146	3.95e-009
	1525	0.414	-0.0294	2.17e-008
1.0Wz	1501	1.91e-007	0.0213	0.338
	1502	1.87e-007	0.0213	0.338
	1503	1.78e-007	0.0213	0.338
	1504	1.68e-007	0.0213	0.338
	1505	1.64e-007	0.0213	0.338
	1506	9.29e-008	0.0113	0.338
	1507	8.99e-008	0.0113	0.338
	1508	8.88e-008	0.0113	0.338
	1509	8.77e-008	0.0113	0.338
	1510	8.46e-008	0.0113	0.338
	1511	9.8e-011	-1.25e-011	0.338
	1512	-6.75e-011	-7.35e-012	0.338
	1513	-6.94e-011	-1.98e-012	0.338
	1514	-7.12e-011	-1.72e-013	0.338
	1515	-2.37e-010	2.17e-012	0.338
	1516	-9.27e-008	-0.0113	0.338
	1517	-8.97e-008	-0.0113	0.338
	1518	-8.89e-008	-0.0113	0.338
	1519	-8.81e-008	-0.0113	0.338
	1520	-8.51e-008	-0.0113	0.338
	1521	-1.93e-007	-0.0213	0.338
	1522	-1.89e-007	-0.0213	0.338
	1523	-1.78e-007	-0.0213	0.338
	1524	-1.67e-007	-0.0213	0.338
	1525	-1.63e-007	-0.0213	0.338

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.4D+1.7L	1501	-2.47e-007	-0.126	-2.77e-007
	1502	-2.32e-007	-0.126	-2.28e-007
	1503	-3.2e-012	-0.125	-1.55e-007
	1504	2.32e-007	-0.126	-2.28e-007
	1505	2.47e-007	-0.126	-2.77e-007
	1506	-2.02e-007	-0.108	-1.95e-007
	1507	-2.04e-007	-0.107	-1.59e-007
	1508	-3.2e-012	-0.105	-9.2e-010
	1509	2.04e-007	-0.107	-1.59e-007
	1510	2.02e-007	-0.108	-1.95e-007
	1511	-4.66e-008	-0.0917	1.54e-013
	1512	-4.06e-010	-0.087	1.54e-013
	1513	-3.2e-012	-0.0718	1.54e-013
	1514	4e-010	-0.087	1.54e-013
	1515	4.66e-008	-0.0917	1.54e-013
	1516	-2.02e-007	-0.108	1.95e-007
	1517	-2.04e-007	-0.107	1.59e-007
	1518	-3.2e-012	-0.105	9.2e-010
	1519	2.04e-007	-0.107	1.59e-007
	1520	2.02e-007	-0.108	1.95e-007
	1521	-2.47e-007	-0.126	2.77e-007
	1522	-2.32e-007	-0.126	2.28e-007
	1523	-3.2e-012	-0.125	1.55e-007
	1524	2.32e-007	-0.126	2.28e-007
	1525	2.47e-007	-0.126	2.77e-007
1.05D+1.27...	1501	0.528	-0.0568	-1.52e-007
	1502	0.528	-0.0755	-1.52e-007
	1503	0.528	-0.0937	-1.17e-007
	1504	0.528	-0.113	-1.91e-007
	1505	0.528	-0.132	-2.63e-007
	1506	0.528	-0.0432	-1.05e-007
	1507	0.528	-0.0614	-1.1e-007
	1508	0.528	-0.0784	-8.15e-010
	1509	0.528	-0.0988	-1.29e-007
	1510	0.528	-0.118	-1.88e-007
	1511	0.528	-0.0313	1.38e-008
	1512	0.528	-0.0465	6.82e-009
	1513	0.528	-0.0538	-1.26e-010
	1514	0.528	-0.0839	-7.08e-009
	1515	0.528	-0.106	-1.4e-008
	1516	0.528	-0.0432	1.32e-007
	1517	0.528	-0.0614	1.23e-007
	1518	0.528	-0.0784	5.64e-010
	1519	0.528	-0.0988	1.15e-007
	1520	0.528	-0.118	1.6e-007
	1521	0.528	-0.0568	1.8e-007
	1522	0.528	-0.0755	1.66e-007
	1523	0.528	-0.0937	1.16e-007
	1524	0.528	-0.113	1.76e-007
	1525	0.528	-0.132	2.35e-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
0.9D+1.3W	1501	0.539	-0.0162	-4.38e-008
	1502	0.539	-0.0353	-6.36e-008
	1503	0.539	-0.0541	-5.64e-008
	1504	0.539	-0.0734	-1.02e-007
	1505	0.539	-0.0926	-1.57e-007
	1506	0.539	-0.00962	-2.88e-008
	1507	0.539	-0.0285	-4.83e-008
	1508	0.539	-0.0467	-4.64e-010
	1509	0.539	-0.0666	-6.82e-008
	1510	0.539	-0.086	-1.13e-007
	1511	0.539	-0.00378	1.4e-008
	1512	0.539	-0.0211	6.96e-009
	1513	0.539	-0.0346	-1.28e-010
	1514	0.539	-0.0593	-7.21e-009
	1515	0.539	-0.0802	-1.43e-008
	1516	0.539	-0.00962	5.69e-008
	1517	0.539	-0.0285	6.22e-008
	1518	0.539	-0.0467	2.08e-010
	1519	0.539	-0.0666	5.38e-008
	1520	0.539	-0.086	8.47e-008
	1521	0.539	-0.0162	7.19e-008
	1522	0.539	-0.0353	7.75e-008
	1523	0.539	-0.0541	5.61e-008
	1524	0.539	-0.0734	8.8e-008
	1525	0.539	-0.0926	1.29e-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_s = \rho b d = 0.0087 \times 40 \times 800 = 277.7 \text{ ซม.}^2 \text{ เลือกใช้ 36-DB32 (} A_s = 289 \text{ ซม.}^2 \text{)}$$

8) การเสริมเหล็กในแนวนอนกับเหล็กยืน

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0.0025) = 0.0025$$

เลือกใช้ DB12 ; $A_s = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10 \text{ ซม.}^2/\text{ม}$

ใช้ DB16@0.20 ม. จึงได้มีการกำหนดให้มีการเสริม 2 แถว ; 2-DB16@0.40 ม

4.3. รายการการออกแบบโครงสร้าง Outrigger

4.3.1. การออกแบบคานส่วนล่างหมายเลข 1 (B1)

การออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ซม.², กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน 4,000 กก/ซม.²

2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(b) = 1.0 เมตร, ลึก(h) = 3.5 เมตร, ระยะจากศก.หน้าตัดเหล็ก(d') = 0.3 เมตร

3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(Vu) = 6.140×10^3 kN = 616 ton

โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(Mu+) = 1.340×10^4 kN = 1347 ton

โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(Mu-) = -1.900×10^4 kN-m = 1937 ton-m

4) หาความลึกประสิทธิภาพ ; d = 3.5 - d' = 3.2 เมตร

5) ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดัด ;

$$\rho_{\max} = 0.75 \left[\frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right) \right] = 0.0229$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d} ; \text{กรณีโมเมนต์บวก } R_n = 14.82 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$; \text{กรณีโมเมนต์ลบ } R_n = 21.02 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right) \geq \rho_{\max}$$

$$; A_s = \rho b d = 0.00383 \times 100 \times 320 = 122.6 \text{ ซม.}^2 ; \text{เลือกใช้ 16-DB32 (} A_s = 128.6 \text{ ซม.}^2 \text{)}$$

$$; A_s' = \rho b d = 0.00551 \times 100 \times 320 = 176.0 \text{ ซม.}^2 ; \text{เลือกใช้ 22-DB32 (} A_s' = 176.9 \text{ ซม.}^2 \text{)}$$

6) ตรวจสอบแรงเฉือน

ตรวจสอบแรงเฉือนที่คอนกรีตสามารถรับได้ ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_c = 0.53\sqrt{f_c}hd = 283.8 \text{ ton} \leq v_u \quad \text{ดังนั้นจึงต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน}$$

หาปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน ;

$$\text{เลือกเหล็กเสริมขนาด DB25 ; หาระยะเสริมเหล็ก} = \frac{\phi A_v f_y d}{(v_u - \phi v_c)} = 27.8 \text{ ซม.}$$

ใช้ 1-DB25@0.275 ม. ($\rho_v = 0.00281$)

หาปริมาณเหล็กเสริมขนานกับเหล็กเสริมหลัก ;

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5(2.5 - \frac{h_w}{l_w})(\rho_h - 0.0025) = 0.0026$$

ใช้ DB25@0.30 ม. ($\rho_s = 0.00262$)

4.3.2. การออกแบบคานส่วนล่างหมายเลข 2 (B2)

การออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ซม.², กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน 4,000 กก/ซม.²

2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(b) = 1.0 เมตร, ลึก(h) = 3.5 เมตร, ระยะจากศก.หน้าตัดเหล็ก(d') = 0.3 เมตร

3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนอน(Vu) = 1.93×10^4 kN = 1893 ton

โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(Mu+) = 1.02×10^5 kN = 10400 ton

โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(Mu-) = -1.07×10^4 kN-m = 1091 ton-m

4) หาความลึกประสิทธิภาพ ; d = 3.5 - d' = 3.2 เมตร

5) ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดัด ;

$$\rho_{\max} = 0.75 \left[\frac{0.85\beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right) \right] = 0.0229 \quad (A_{s(\max)} = 752.8 \text{ ซม.}^2)$$

$$R_n = \rho f_y \left[1 - \frac{0.5 \rho f_y}{0.85 f_c} \right] = 73.97 \text{ กก/ซม.}^2$$

โมเมนต์ดัดซึ่งรับโดยการเสริมเหล็กเสริมรับแรงดัดเท่านั้น ; $M_n = R_n b d^2 = 7574 \text{ ton-m}$

โมเมนต์ที่ต้องรับโดยเหล็กเสริมรับแรงอัด ; $M'_u = M_u - \phi M_n = 3583.4 \text{ ton-m}$

หาปริมาณเหล็กเสริมรับโมเมนต์ดัด ;

$$A'_s = \frac{M'_u}{\phi f_y (d - d')} = 343.2 \text{ ซม.}^2 ; \text{ เลือกใช้ 44-DB32 (เสริมรับแรงอัด)}$$

$$A_s = A'_s + A_{s(\max)} = 1076 \text{ ซม.}^2 ; \text{ เลือกใช้ 135-DB32 (เสริมรับแรงดัด)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ตรวจสอบแรงเฉือน

ตรวจสอบแรงเฉือนที่คอนกรีตสามารถรับได้ ;

$$v_c = 0.53\sqrt{f'_c}hd = 283.8 \text{ ton} \leq v_u \quad \text{ดังนั้นจึงต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน}$$

หาปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน ;

$$\text{เลือกเหล็กเสริมขนาด 4-DB32 ; หาระยะเสริมเหล็ก} = \frac{\phi A_v f_y d}{(v_u - \phi v_c)} = 21.4 \text{ ซม.}$$

ใช้ 2ป-DB32@0.20 ม.

หาปริมาณเหล็กเสริมขนานกับเหล็กเสริมหลัก ;

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)(\rho_n - 0.0025) = 0.0025$$

ใช้ DB25@0.30 ม. ($\rho_{s1} = 0.0026$)

4.3.3. การออกแบบคานส่วนบนหมายเลข 3 (B3)

การออกแบบของคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

- 1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ชม.² , กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน 4,000 กก/ชม.²
- 2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(b) = 1.0 เมตร, ลึก(h) = 3.5 เมตร, ระยะจากศก.หน้าตัดเหล็ก(d') = 0.3 เมตร
- 3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(V_u) = 7.4×10^3 kN = 754.3 ton
โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(M_u+) = 1.8×10^4 kN = 1835 ton
โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(M_u-) = -2.37×10^4 kN-m = 2416 ton-m
- 4) หาความลึกประสิทธิผล ; $d = 3.5 - d' = 3.2$ เมตร
- 5) ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดัด ;

$$\rho_{\max} = 0.75 \left[\frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right) \right] = 0.0229$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d} ; \text{กรณีโมเมนต์บวก } R_n = 19.91 \text{ กก/ชม.}^2$$

$$; \text{กรณีโมเมนต์ลบ } R_n = 26.22 \text{ กก/ชม.}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right) \geq \rho_{\max}$$

$$; A_s = \rho b d = 0.00521 \times 100 \times 320 = 166.7 \text{ ซม.}^2 ; \text{เลือกใช้ 22-DB32}(A_s = 176.9 \text{ ซม.}^2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$; A_s' = \rho_b d = 0.00696 \times 100 \times 320 = 223.0 \text{ ซม.}^2; \text{เลือกใช้ } 28\text{-DB32}(A_s' = 225.1 \text{ ซม.}^2)$$

6) ตรวจสอบแรงเฉือน

ตรวจสอบแรงเฉือนที่คอนกรีตสามารถรับได้ ;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f_c'} h d = 283.8 \text{ ton} \leq v_u \quad \text{ดังนั้นจึงต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน}$$

หาปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน ;

$$\text{เลือกเหล็กเสริมขนาด DB25 ; หาระยะเสริมเหล็ก} = \frac{\phi A_v f_y d}{(v_u - \phi v_c)} = 20.82 \text{ ซม.}$$

ใช้ ป-DB25@0.20 ม. ($\rho_v = 0.0025$)

หาปริมาณเหล็กเสริมขนานกับเหล็กเสริมหลัก ;

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0.0025) = 0.0025$$

ใช้ ป-DB25@0.20 ม. ($\rho_s = 0.0025$)

4.3.4. การออกแบบคานส่วนบนหมายเลข 4 (B4)

การออกแบบของคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

- 1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ซม.^2 , กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน $4,000 \text{ กก/ซม.}^2$
- 2) ขนาดของผนัง ; กว้าง(b) = 1.0 เมตร, ลึก(h) = 3.5 เมตร, ระยะจากศก.หน้าตัดเหล็ก(d') = 0.3 เมตร
- 3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนอน(V_u) = $2.34 \times 10^4 \text{ kN} = 2385.3 \text{ ton}$
โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(M_u+) = $1.26 \times 10^5 \text{ kN} = 12844 \text{ ton}$
โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(M_u-) = $-1.17 \times 10^4 \text{ kN-m} = 1192 \text{ ton-m}$

4) หาความลึกประสิทธิภาพ ; $d = 3.5 - d' = 3.2 \text{ เมตร}$

5) ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดัด ;

$$\rho_{\max} = 0.75 \left[\frac{0.85 \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right) \right] = 0.0229 \quad (A_{s(\max)} = 732.8 \text{ ซม.}^2)$$

$$R_n = \rho f_y \left[1 - \frac{0.5 \rho f_y}{0.85 f_c'} \right] = 73.97 \text{ กก/ซม.}^2$$

โมเมนต์ดัดซึ่งรับโดยการเสริมเหล็กเสริมรับแรงดัดที่นั่น ; $M_n = R_n b d^2 = 7574 \text{ ton-m}$

โมเมนต์ที่ต้องรับโดยเหล็กเสริมรับแรงดัด ; $M_u' = M_u - \phi M_n = 6027 \text{ ton-m}$

หาปริมาณเหล็กเสริมรับ โมเมนต์ดัด ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_s' = \frac{M_u'}{\phi f_y (d - d')} = 577.3 \text{ ซม.}^2; \text{ เลือกใช้ 72-DB32 (เสริมรับแรงอัด)}$$

$$A_s = A_s' + A_{s(\max)} = 1310 \text{ ซม.}^2; \text{ เลือกใช้ 164-DB32 (เสริมรับแรงดึง)}$$

6) ตรวจสอบแรงเฉือน

ตรวจสอบแรงเฉือนที่คอนกรีตสามารถรับได้ ;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f_c'} h d = 283.8 \text{ ton} \leq v_u \quad \text{ดังนั้นจึงต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน}$$

หาปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน ;

$$\text{เลือกเหล็กเสริมขนาด 6- DB32 ; หาระยะเสริมเหล็ก} = \frac{\phi A_v f_y d}{(v_u - \phi v_c)} = 24.6 \text{ ซม.}$$

ใช้ 3ป-DB32@0.245 ม.

หาปริมาณเหล็กเสริมขนานกับเหล็กเสริมหลัก ;

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_n - 0.0025) = 0.0025$$

ใช้ DB25@0.30 ม. ($\rho_n = 0.0026$)

4.3.5. การออกแบบปล้องแกนชั้นที่1-23

การออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

1) กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก/ซม.², กำลังเหล็กเสริมที่จุดกลาง 4,000 กก/ซม.²

2) ขนาดของแกน ; กว้าง(b) = 8.0 เมตร, ลึก(h) = 8.0 เมตร, ระยะจากศก.หน้าตัดเหล็ก(d') = 0.5 เมตร

3) แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(V_u) = 1.23×10^4 kN = 1253.8 ton

แรงตามแกนในแนวตั้ง (P_u) = 5.19×10^5 kN = 52905 ton

โมเมนต์ดัดรอบแกนหลัก(M_u) = 6.29×10^5 kN-m = 64118 ton-m

4) หาความลึกประสิทธิผล ; $d = 8.0 - d' = 7.5$ เมตร (สมมุติค่าเริ่มต้น)

5) ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงดัด ; เนื่องจากปล้องแกนมีหน้าตัดเป็นรูปตัว I จึงต้องพิจารณาแบบคานมีปีก

หาความลึกสมมูลที่แรงอัดกระทำต่อหน้าตัดคาน ;

$$\omega = 0.85 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85 \phi f_c' b d^2}} \right] = 0.0586$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} = 1.18 \omega d = 1.18 \times 0.0516 \times 750 = 51.82 \text{ ซม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะว่า $a \leq h_f$ ดังนั้นพิจารณาเหมือนคานหน้าตัดสี่เหลี่ยม; $b = 8.0$ ม., $d = 7.5$ ม., $d' = 0.5$ ม.

$$A_s = \frac{0.85 f'_c b a}{f_y} = 2466 \text{ ซม.}^2; \text{ เลือกใช้ 310-DB32 } (A_s = 2492.4 \text{ ซม.}^2)$$

6) ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด; $\rho_{\min} = \frac{0.8 \sqrt{f'_c}}{f_y} = 0.0034 \quad (A_s = 1105.5 \text{ ซม.}^2)$

7) ตรวจสอบแรงเฉือน

ตรวจสอบแรงเฉือนที่คอนกรีตสามารถรับได้;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f'_c} h d = 665.14 \text{ ton} \leq v_u \quad \text{ดังนั้นจึงต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน}$$

หาปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน;

$$\text{เลือกเหล็กเสริมขนาด 2-DB25; หาระยะเสริมเหล็ก} = \frac{\phi A_v f_y d}{(v_u - \phi v_c)} = 36.4 \text{ ซม.}$$

ใช้ ป-DB25@0.30 ม.

หาปริมาณเหล็กเสริมขนานกับเหล็กเสริมหลัก;

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0.0025) = 0.0025$$

ใช้ DB25@0.30 ม. ($\rho_s = 0.0025$)

4.3.6. การออกแบบปล้องแกนชั้นที่ 24-60

การออกแบบของค้ำอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังประลัย(ultimate strength design)

- กำหนด ; กำลังคอนกรีต 280 กก./ซม.^2 , กำลังเหล็กเสริมที่จุดคาน $4,000 \text{ กก./ซม.}^2$
- ขนาดของแกน ; กว้าง(b) = 8.0 เมตร, ลึก(h) = 8.0 เมตร, ระยะจากศก.หน้าตัดเหล็ก(d') = 0.5 เมตร

- แรงกระทำ ; แรงเฉือนตามแกนนอน(V_u) = $3.52 \times 10^3 \text{ kN} = 358.8 \text{ ton}$
แรงตามแกนในแนวดิ่ง (P_u) = $1.63 \times 10^5 \text{ kN} = 16616 \text{ ton}$
โมเมนต์ค้ำครอบแกนหลัก(M_u) = $1.82 \times 10^5 \text{ kN-m} = 18553 \text{ ton-m}$

- หาความลึกประสิทธิผล ; $d = 8.0 - d' = 7.5$ เมตร (สมมุติค่าเริ่มต้น)

- ออกแบบเหล็กเสริมรับแรงค้ำ ; เนื่องจากปล้องแกนมีหน้าตัดเป็นรูปตัว I จึงต้องพิจารณาแบบคานมีปีก

หาความลึกสมมุติที่แรงอัดกระทำต่อหน้าตัดคาน ;

$$\omega = 0.85 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85 \phi f'_c b d^2}} \right] = 0.0175$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} = 1.18 \omega d = 1.18 \times 0.0516 \times 750 = 15.5 \text{ ซม.}$$

เพราะว่า $a \leq h_f$ ดังนั้นพิจารณาเหมือนคานหน้าตัดสี่เหลี่ยม; $b = 8.0 \text{ ม.}$, $d = 7.5 \text{ ม.}$, $d' = 0.5 \text{ ม.}$

6) ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมน้อยที่สุด ; $\rho_{\min} = \frac{0.8 \sqrt{f_c'}}{f_y} = 0.0034$ ($A_{s(\min)} = A_{s(\min)} = 1105.5 \text{ ซม.}^2$)

$$A_s = \frac{0.85 f_c' b a}{f_y} = 737.8 \text{ ซม.}^2 \text{ น้อยกว่า } A_{s(\min)}; \text{ เลือกใช้ } 140\text{-DB32 } (A_s = 1125 \text{ ซม.}^2)$$

7) ตรวจสอบแรงเฉือน

ตรวจสอบแรงเฉือนที่คอนกรีตสามารถรับได้ ;

$$v_c = 0.53 \sqrt{f_c'} h d = 665.14 \text{ ton} \leq v_u \quad \text{ดังนั้นจึงต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน}$$

หาปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน ;

$$\text{เลือกเหล็กเสริมขนาด } 2\text{-DB25 ; หาระยะเสริมเหล็ก} = \frac{\phi A_v f_y d}{(v_u - \phi v_c)} = 36.4 \text{ ซม.}$$

ใช้ ป-DB25@0.30 ม.

หาปริมาณเหล็กเสริมขนานกับเหล็กเสริมหลัก ;

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_h - 0.0025) = 0.0025$$

ใช้ DB25@0.30 ม. ($\rho_{st} = 0.0025$)

4.4. รายการการออกแบบโครงสร้างแบบโครงสร้างแบบปล่อง (ส่วนเสา)

จากการตรวจสอบที่จู่รองรับซึ่งมีแรงกระทำตามแกนมากที่สุดพบว่า

$$P = 1.42 \times 10^4 \text{ kN}$$

$$\text{จาก } \sigma = P/A = (1.40 \times 10^3 \times 1000) / (9.81 \times 569) = 2508 \text{ น้อยกว่า } f_y \text{ (ระดับคุณภาพ A36)}$$

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า เสาเหล็ก W36"x16-1/2" มีความสามารถในการรับแรงเพียงพอ

หมายเหตุ เนื่องจากเสามีความชะตูดน้อยมาก (โมเมนต์ความเค้นอย่างมากและมีความสูงน้อย) ดังนั้นการออกแบบจึงไม่จำเป็นต้องออกแบบเป็นเสา

เมื่อได้ทำการออกแบบเรียบร้อยแล้วจึงทำการถอดปริมาณวัสดุทั้งหมดเฉพาะส่วนโครงสร้าง (ยกเว้นฐานราก) ซึ่งได้สรุปไว้ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL INFORMATION:

=====

File name: D:\PROJEC~1\FRAMED~1\TUBE2.FRM
 Project : Framed-tube Structure
 Engineer : tle

Structure Type : 3-D FRAME No. of Joints : 2989
 Units of Measure: Metric No. of Members: 6780

UNITS:

=====

Length	: m	Point Load	: kN
Section Dimensions	: m	Distributed Load	: kN/m
Area	: m ²	Moment Load	: kN-m
Moment of Inertia	: m ⁴	Known Displacement	: m
Linear Spring	: kN/m	Shear, Axial Load	: kN
Rotational Spring	: kN-m/rad	Moment, Torsion	: kN-m
Modulus of Elasticity	: kN/m ²	Deflection	: m
Material Density	: kN/m ³		

DEFAULTS:

=====

Density (d)	= 77.0085	kN/m ³
Modulus of Elasticity(E)	= 2.00124e+008	kN/m ²
Poisson's Ratio (v)	= 0.288	
Thermal Coefficient (a)	= 0	
Section Area (A)	= 0.05688	m ²
Moment of Inertia (Iz)	= 0.008446	m ⁴
Moment of Inertia (Iy)	= 0.0004673	m ⁴
Polar Mom. of Inertia (J)	= 0.0089133	m ⁴
Beta Angle	= 0	Degree

SECTION DEFINITIONS:

=====

Type -> R=Rectangular, C=Circular, T=T-Section, L=L-Section, U=User Input

Section Label	Parameter 1/ T Cr-Coef(A)	Parameter 2/ Cr-Coef(Iz)	Parameter 3/ Cr-Coef(Iy)	Parameter 4/ Cr-Coef(J)
WF36x16-1/2	U 0.05688	0.008446	0.0004673	0.0089133
	1	1	1	1

LOAD DEFINITIONS:

=====

Orientation -> L=Local, G=Global, P=Projection Direction -> X, Y, Z
 Type -> P=Point, D=Distributed, M=Moment, L,R=Triangle, T= Temperature

Label	O-D-T	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
DLexter2m	G-Y-D	-5.886	0	1
LLexter2m	G-Y-D	-4.4145	0	1
DLexter4m	G-Y-D	-7.3575	0	1
LLexter4m	G-Y-D	-5.5181	0	1
DLinter6m	G-Y-D	-11.772	0	1
LLinter6m	G-Y-D	-8.829	0	1
DLinter8m	G-Y-D	-14.715	0	1
LLinter8m	G-Y-D	-11.0363	0	1

LOAD CASES DEFINED:

=====

SELF	wind X-axis	wind Z-axis	DL2m
LL2m	DL4m	LL4m	DL6m
LL6m	DL8m	LL8m	

LOAD COMBINATION DEFINITIONS:

=====

Label	Factor x Load Case
1.0Wz	1 x wind Z-axis
1.0Wx	1 x wind X-axis
1.4D+1.7L	1.4 x SELF 1.4 x DL2m 1.4 x DL4m 1.4 x DL6m 1.4 x DL8m 1.7 x LL2m 1.7 x LL4m 1.7 x LL6m 1.7 x LL8m
1.05D+1.275(L+W)	1.05 x SELF 1.05 x DL2m 1.05 x DL4m 1.05 x DL6m 1.05 x DL8m 1.275 x LL2m 1.275 x LL4m 1.275 x LL6m 1.275 x LL8m 1.275 x wind X-axis
0.9D+1.3W	0.9 x SELF 0.9 x DL2m 0.9 x DL4m 0.9 x DL6m 0.9 x DL8m 1.3 x wind X-axis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wx	1	-149 0.0192	-5.03e+003 0.00622	0.015 443
	2	-263 0.015	-3.64e+003 0.00287	0.0119 577
	3	-282 0.0118	-2.8e+003 0.00182	0.0095 599
	4	-252 0.00854	-2e+003 0.00309	0.00702 564
	5	-295 0.0054	-1.27e+003 0.000178	0.00451 614
	6	-297 0.00297	-691 -3.65e-005	0.00241 616
	7	-253 2.06e-005	0.000669 0.00244	1.24e-007 563
	8	-297 -0.00293	691 -4.04e-005	-0.00239 616
	9	-295 -0.00535	1.27e+003 0.00018	-0.00444 614
	10	-252 -0.0085	2e+003 0.0031	-0.007 564
	11	-282 -0.0117	2.8e+003 0.00185	-0.00944 599
	12	-263 -0.015	3.64e+003 0.00295	-0.0119 577
	13	-149 -0.0192	5.03e+003 0.00639	-0.015 443
	14	-149 3.82	-3.99e+003 0.00867	3.27 443
	15	-149 -3.82	3.99e+003 0.00875	-3.27 443
	16	-149 0.00794	-3.68e+003 0.00432	0.00582 443
	17	-251 0.00359	-1.58e+003 0.0031	0.00285 563
	18	-253 1.13e-005	0.000563 0.00276	6.34e-006 564
	19	-251 -0.00358	1.58e+003 0.00313	-0.00284 563
	20	-148 -0.00796	3.68e+003 0.00435	-0.00584 443
	21	-148 0.306	-3.46e+003 0.00337	0.262 443
	22	-148 -0.306	3.46e+003 0.00338	-0.262 443
	23	-148 -8.49e-007	-3.57e+003 -3e-007	-4.85e-007 443
	24	-251 -4.32e-007	-1.51e+003 -3e-007	-2.47e-007 563
	25	-252 -1.49e-008	0.000553 -3e-007	-8.34e-009 564
	26	-251 4.02e-007	1.51e+003 -3e-007	2.3e-007 563
	27	-148 8.19e-007	3.57e+003 -3e-007	4.68e-007 443
	28	-148 -0.306	-3.46e+003 -0.00337	-0.262 443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	-148	3.46e+003	0.262
	0.306	-0.00338	443
30	-149	-3.68e+003	-0.00582
	-0.00794	-0.00432	443
31	-251	-1.58e+003	-0.00285
	-0.00359	-0.0031	563
32	-253	0.000563	-6.35e-006
	-1.13e-005	-0.00276	564
33	-251	1.58e+003	0.00284
	0.00358	-0.00313	563
34	-148	3.68e+003	0.00584
	0.00796	-0.00435	443
35	-149	-3.99e+003	-3.27
	-3.82	-0.00867	443
36	-149	3.99e+003	3.27
	3.82	-0.00876	443
37	-149	-5.03e+003	-0.015
	-0.0192	-0.00623	443
38	-263	-3.64e+003	-0.0119
	-0.015	-0.00287	577
39	-282	-2.8e+003	-0.0095
	-0.0118	-0.00182	599
40	-252	-2e+003	-0.00702
	-0.00854	-0.00309	564
41	-295	-1.27e+003	-0.00451
	-0.0054	-0.000179	614
42	-297	-691	-0.00241
	-0.00297	3.59e-005	616
43	-253	0.000669	-1.24e-005
	-2.07e-005	-0.00244	565
44	-297	691	0.00239
	0.00293	3.98e-005	616
45	-295	1.27e+003	0.00448
	0.00535	-0.000181	614
46	-252	2e+003	0.007
	0.00851	-0.0031	564
47	-282	2.8e+003	0.00948
	0.0117	-0.00185	599
48	-263	3.64e+003	0.0119
	0.015	-0.00295	577
49	-149	5.03e+003	0.015
	0.0192	-0.00639	443
External	1.1e+004	0	0
	0	1.76e+005	-1.25e+006
Internal	-1.1e+004	-0.00195	-4.95e-007
	-5.51e-007	-1.76e+005	1.25e+006

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.0Wz	1	0.408 -294	-2.59e+003 -0.00204	-150 -0.491
	2	25.8 -294	-2.27e+003 -0.00233	-150 -30.1
	3	5.18 -293	-2.09e+003 -0.00183	-150 -6.06
	4	0.137 -293	-2.1e+003 -0.00128	-150 -0.17
	5	7.24 -293	-2e+003 -0.0011	-150 -8.45
	6	-3.3 -293	-1.97e+003 -0.000431	-150 3.85
	7	-1.15e-005 -293	-2.04e+003 3.02e-007	-150 2.01e-005
	8	3.3 -293	-1.97e+003 0.000431	-150 -3.85
	9	-7.24 -293	-2e+003 0.0011	-150 8.45
	10	-0.137 -293	-2.1e+003 0.00128	-150 0.17
	11	-5.18 -293	-2.09e+003 0.00183	-150 6.06
	12	-25.8 -294	-2.27e+003 0.00233	-150 30.1
	13	-0.408 -294	-2.59e+003 0.00204	-150 0.491
	14	0.305 -355	153 -0.00092	-202 -0.362
	15	-0.305 -355	153 0.00092	-202 0.362
	16	0.207 -349	-76.6 -0.001	-197 -0.243
	17	0.0767 -349	227 -0.000936	-197 -0.091
	18	-5.73e-006 -349	267 3.02e-007	-197 1.01e-005
	19	-0.0767 -349	227 0.000937	-197 0.091
	20	-0.207 -349	-76.6 0.001	-197 0.243
	21	0.102 -350	-109 0.000152	-198 -0.12
	22	-0.102 -350	-109 -0.000151	-198 0.12
	23	0.000313 -344	6.31e-005 -0.000637	-193 -0.000582
	24	0.00025 -344	6.74e-006 -0.00075	-193 -0.000442
	25	-1.03e-008 -344	1.57e-005 3.02e-007	-193 2.41e-008
	26	-0.00025 -344	6.95e-006 0.000751	-193 0.000442
	27	-0.000313 -344	6.36e-005 0.000638	-193 0.000582
	28	-0.102 -350	109 0.000175	-198 0.119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	0.102	109	-198
	-350	-0.000174	-0.119
30	-0.206	76.6	-197
	-349	-0.00104	0.242
31	-0.0762	-227	-197
	-349	-0.00101	0.0901
32	5.71e-006	-267	-197
	-349	3.02e-007	-1e-005
33	0.0762	-227	-197
	-349	0.00101	-0.0901
34	0.206	76.6	-197
	-349	0.00104	-0.242
35	-0.304	-153	-202
	-355	-0.000967	0.361
36	0.304	-153	-202
	-355	0.000968	-0.361
37	-0.41	2.59e+003	-150
	-294	-0.00249	0.493
38	-25.8	2.27e+003	-150
	-294	-0.00281	30.1
39	-5.18	2.09e+003	-150
	-293	-0.00205	6.06
40	-0.138	2.1e+003	-150
	-293	-0.00144	0.171
41	-7.24	2e+003	-150
	-293	-0.00129	8.45
42	3.3	1.97e+003	-150
	-293	-0.000394	-3.85
43	1.14e-005	2.04e+003	-150
	-293	3.02e-007	-2.01e-005
44	-3.3	1.97e+003	-150
	-293	0.000394	3.85
45	7.24	2e+003	-150
	-293	0.00129	-8.45
46	0.138	2.1e+003	-150
	-293	0.00144	-0.171
47	5.18	2.09e+003	-150
	-293	0.00205	-6.06
48	25.8	2.27e+003	-150
	-294	0.00281	-30.1
49	0.41	2.59e+003	-150
	-294	0.00249	-0.494
External	0	0	8.43e+003
	8.99e+005	-1.01e+005	0
Internal	2.65e-006	-0.00195	-8.43e+003
	-8.99e+005	1.01e+005	-0.0469

:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.4D+1.7L	1	13.4 10.2	1.12e+004 -0.000205	8.72 -15.6
	2	4.45 10.2	1.12e+004 -0.000291	8.72 -5.2
	3	10.7 10.2	1.13e+004 -8.27e-005	8.72 -12.5
	4	13.7 10.2	1.15e+004 -0.000165	8.72 -16
	5	-2.76 10.2	1.15e+004 -0.000182	8.72 3.23
	6	6.12 10.2	1.15e+004 6.87e-005	8.73 -7.13
	7	-5.53e-005 10.2	1.16e+004 1.38e-006	8.73 0.00805
	8	-6.12 10.2	1.15e+004 -6.6e-005	8.73 7.15
	9	2.76 10.2	1.15e+004 0.000185	8.72 -3.21
	10	-13.7 10.2	1.15e+004 0.000168	8.72 16
	11	-10.7 10.2	1.13e+004 8.54e-005	8.72 12.5
	12	-4.45 10.2	1.12e+004 0.000294	8.72 5.21
	13	-13.4 10.2	1.12e+004 0.000208	8.72 15.6
	14	13.4 5.69	1.28e+004 -0.000215	4.88 -15.7
	15	-13.4 5.69	1.28e+004 0.000217	4.88 15.7
	16	13.5 5.61	1.45e+004 -7.64e-005	4.8 -15.7
	17	13.8 5.61	1.63e+004 -6.25e-005	4.81 -16.1
	18	-3.05e-005 5.61	1.68e+004 1.38e-006	4.81 0.00801
	19	-13.8 5.61	1.63e+004 6.53e-005	4.81 16.1
	20	-13.5 5.61	1.45e+004 7.91e-005	4.8 15.8
	21	13.5 2.37	1.52e+004 -3.4e-005	2.04 -15.8
	22	-13.5 2.37	1.52e+004 3.67e-005	2.04 15.8
	23	13.5 -0.000576	1.58e+004 1.38e-006	-2.29e-005 -15.8
	24	13.8 -0.000578	1.79e+004 1.38e-006	-2.4e-005 -16.1
	25	-5.97e-006 -0.00058	1.84e+004 1.38e-006	-2.52e-005 0.00797
	26	-13.8 -0.000582	1.79e+004 1.38e-006	-2.63e-005 16.1
	27	-13.5 -0.000584	1.58e+004 1.38e-006	-2.74e-005 15.8
	28	13.5 -2.38	1.52e+004 3.67e-005	-2.04 -15.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	-13.5	1.52e+004	-2.04
	-2.38	-3.4e-005	15.8
30	13.5	1.45e+004	-4.8
	-5.61	7.91e-005	-15.7
31	13.8	1.63e+004	-4.81
	-5.61	6.53e-005	-16.1
32	1.88e-005	1.68e+004	-4.81
	-5.61	1.38e-006	0.00792
33	-13.8	1.63e+004	-4.81
	-5.61	-6.25e-005	16.1
34	-13.5	1.45e+004	-4.8
	-5.61	-7.64e-005	15.8
35	13.4	1.28e+004	-4.88
	-5.7	0.000217	-15.7
36	-13.4	1.28e+004	-4.88
	-5.7	-0.000215	15.7
37	13.4	1.12e+004	-8.72
	-10.2	0.000208	-15.6
38	4.45	1.12e+004	-8.72
	-10.2	0.000294	-5.2
39	10.7	1.13e+004	-8.72
	-10.2	8.54e-005	-12.5
40	13.7	1.15e+004	-8.72
	-10.2	0.000168	-16
41	-2.76	1.15e+004	-8.72
	-10.2	0.000185	3.23
42	6.12	1.15e+004	-8.73
	-10.2	-6.6e-005	-7.13
43	4.42e-005	1.16e+004	-8.73
	-10.2	1.38e-006	0.00788
44	-6.12	1.15e+004	-8.73
	-10.2	6.87e-005	7.15
45	2.76	1.15e+004	-8.72
	-10.2	-0.000182	-3.21
46	-13.7	1.15e+004	-8.72
	-10.2	-0.000165	16
47	-10.7	1.13e+004	-8.72
	-10.2	-8.27e-005	12.5
48	-4.45	1.12e+004	-8.72
	-10.2	-0.000291	5.21
49	-13.4	1.12e+004	-8.72
	-10.2	-0.000205	15.6
External	0	-6.5e+005	0
	1.04e+007	0	-7.8e+006
Internal	-8.58e-006	6.5e+005	-4.29e-005
	-1.04e+007	6.51e-006	7.8e+006

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Fx Mx	Fy My	Fz Mz
1.05D+1.27..	1	-180	1.95e+003	6.56
		7.65	0.00778	554
	2	-332	3.77e+003	6.55
		7.65	0.00344	731
	3	-352	4.9e+003	6.55
		7.65	0.00226	754
	4	-311	6.06e+003	6.55
		7.64	0.00381	707
	5	-378	6.97e+003	6.55
		7.64	9.06e-005	785
	6	-374	7.72e+003	6.55
		7.64	4.94e-006	780
	7	-323	8.67e+003	6.55
		7.64	0.00311	721
	8	-383	9.49e+003	6.54
		7.63	-0.000101	791
	9	-374	1.02e+004	6.54
		7.63	0.000368	780
	10	-331	1.11e+004	6.53
		7.62	0.00408	731
	11	-368	1.21e+004	6.53
		7.62	0.00242	773
	12	-339	1.31e+004	6.52
		7.61	0.00398	739
	13	-200	1.48e+004	6.52
		7.6	0.00831	577
	14	-179	4.5e+003	7.83
		9.13	0.0109	553
	15	-200	1.47e+004	-0.508
		-0.594	0.0113	577
	16	-179	6.16e+003	3.61
		4.21	0.00544	553
	17	-310	1.02e+004	3.61
		4.21	0.00391	706
	18	-322	1.26e+004	3.61
		4.21	0.00352	720
	19	-331	1.43e+004	3.6
		4.2	0.00404	730
	20	-199	1.55e+004	3.6
		4.19	0.0056	577
	21	-179	7e+003	1.86
		2.17	0.00428	553
	22	-199	1.58e+004	1.19
		1.39	0.00434	576
	23	-179	7.27e+003	-1.78e-005
		-0.000433	6.53e-007	553
	24	-310	1.15e+004	-1.84e-005
		-0.000434	6.52e-007	705
	25	-322	1.38e+004	-1.89e-005
		-0.000435	6.52e-007	719
	26	-331	1.53e+004	-1.94e-005
		-0.000436	6.53e-007	730
	27	-199	1.64e+004	-2e-005
		-0.000437	6.54e-007	576
	28	-179	7e+003	-1.86
		-2.17	-0.00427	553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	-199	1.58e+004	-1.19
	-1.39	-0.00433	576
30	-179	6.16e+003	-3.61
	-4.21	-0.00544	553
31	-310	1.02e+004	-3.61
	-4.21	-0.00391	706
32	-322	1.26e+004	-3.61
	-4.21	-0.00352	720
33	-331	1.43e+004	-3.6
	-4.2	-0.00404	730
34	-199	1.55e+004	-3.6
	-4.19	-0.0056	577
35	-179	4.5e+003	-7.83
	-9.14	-0.0109	553
36	-200	1.47e+004	0.508
	0.593	-0.0113	577
37	-180	1.96e+003	-6.56
	-7.65	-0.00778	554
38	-332	3.78e+003	-6.55
	-7.65	-0.00344	731
39	-352	4.9e+003	-6.55
	-7.65	-0.00226	754
40	-311	6.06e+003	-6.55
	-7.65	-0.00381	707
41	-378	6.98e+003	-6.55
	-7.64	-8.93e-005	785
42	-374	7.72e+003	-6.55
	-7.64	-3.63e-006	780
43	-323	8.67e+003	-6.55
	-7.64	-0.00311	721
44	-383	9.49e+003	-6.54
	-7.63	0.000102	791
45	-374	1.02e+004	-6.54
	-7.63	-0.000367	780
46	-331	1.11e+004	-6.53
	-7.62	-0.00408	731
47	-368	1.21e+004	-6.53
	-7.62	-0.00242	773
48	-339	1.31e+004	-6.52
	-7.61	-0.00398	739
49	-200	1.48e+004	-6.52
	-7.6	-0.00831	577
External	1.4e+004	-4.87e+005	0
	7.8e+006	2.24e+005	-7.44e+006
Internal	-1.4e+004	4.87e+005	7.15e-006
	-7.8e+006	-2.24e+005	7.44e+006

SUPPORT REACTIONS: (kN | kN-m)

Ld Combo	Joint	Ex Mx	Fy My	Fz Mz
0.9D+1.3W	1	-188 3.9	-1.84e+003 0.00802	3.34 571
	2	-340 3.89	-8.63 0.00362	3.34 748
	3	-363 3.89	1.11e+003 0.00234	3.33 774
	4	-322 3.89	2.22e+003 0.00385	3.33 727
	5	-384 3.88	3.16e+003 0.000164	3.33 799
	6	-384 3.88	3.92e+003 -2.06e-005	3.33 798
	7	-329 3.88	4.85e+003 0.00318	3.32 735
	8	-388 3.87	5.71e+003 -7.76e-005	3.32 804
	9	-382 3.87	6.46e+003 0.000304	3.32 797
	10	-332 3.86	7.41e+003 0.0041	3.31 739
	11	-371 3.86	8.4e+003 0.00244	3.31 783
	12	-344 3.85	9.45e+003 0.00394	3.3 751
	13	-199 3.85	1.12e+004 0.00839	3.3 582
	14	-188 7.15	135 0.0112	6.12 570
	15	-198 -2.77	1.05e+004 0.0115	-2.37 582
	16	-188 2.14	1.18e+003 0.00558	1.84 570
	17	-322 2.14	4.61e+003 0.00401	1.83 726
	18	-328 2.13	6.83e+003 0.00359	1.83 734
	19	-332 2.13	8.72e+003 0.00409	1.82 738
	20	-198 2.12	1.07e+004 0.00568	1.82 582
	21	-188 1.3	1.75e+003 0.00437	1.12 570
	22	-198 0.508	1.08e+004 0.00441	0.436 582
	23	-188 -0.000371	1.82e+003 4.98e-007	-1.54e-005 570
	24	-321 -0.000372	5.29e+003 4.97e-007	-1.58e-005 726
	25	-328 -0.000373	7.44e+003 4.97e-007	-1.62e-005 733
	26	-332 -0.000373	9.2e+003 4.97e-007	-1.66e-005 738
	27	-198 -0.000374	1.11e+004 4.98e-007	-1.7e-005 582
	28	-188 -1.3	1.75e+003 -0.00437	-1.12 570

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29	-198	1.08e+004	-0.436
	-0.508	-0.00441	582
30	-188	1.18e+003	-1.84
	-2.14	-0.00558	570
31	-322	4.61e+003	-1.83
	-2.14	-0.00401	726
32	-328	6.83e+003	-1.83
	-2.13	-0.00359	734
33	-332	8.72e+003	-1.82
	-2.13	-0.00409	738
34	-198	1.07e+004	-1.82
	-2.12	-0.00568	582
35	-188	136	-6.12
	-7.15	-0.0112	570
36	-198	1.05e+004	2.37
	2.77	-0.0115	582
37	-188	-1.84e+003	-3.34
	-3.9	-0.00802	571
38	-340	-7.25	-3.34
	-3.89	-0.00362	748
39	-363	1.11e+003	-3.33
	-3.89	-0.00234	774
40	-322	2.22e+003	-3.33
	-3.89	-0.00395	727
41	-384	3.16e+003	-3.33
	-3.88	-0.000163	799
42	-384	3.92e+003	-3.33
	-3.88	2.16e-005	798
43	-329	4.85e+003	-3.32
	-3.88	-0.00317	735
44	-388	5.72e+003	-3.32
	-3.87	7.86e-005	804
45	-382	6.46e+003	-3.32
	-3.87	-0.000303	797
46	-332	7.41e+003	-3.31
	-3.87	-0.0041	739
47	-371	8.4e+003	-3.31
	-3.86	-0.00244	783
48	-344	9.46e+003	-3.3
	-3.85	-0.00394	751
49	-199	1.12e+004	-3.3
	-3.85	-0.00839	582
External	1.43e+004	-2.7e+005	0
	4.31e+006	2.29e+005	-4.86e+006
Internal	-1.43e+004	2.7e+005	2.38e-006
	-4.31e+006	-2.29e+005	4.86e+006

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wx	2941	0.377	0.0256	7.32e-009
	2942	0.377	0.0214	3.46e-009
	2943	0.377	0.0171	1.29e-009
	2944	0.377	0.0128	1.49e-010
	2945	0.377	0.00854	-5.12e-010
	2946	0.377	0.00426	-9.18e-010
	2947	0.377	-2.8e-012	-1.26e-009
	2948	0.377	-0.00426	-1.68e-009
	2949	0.377	-0.00854	-2.14e-009
	2950	0.377	-0.0128	-2.51e-009
	2951	0.377	-0.0171	-3.01e-009
	2952	0.377	-0.0214	-3.56e-009
	2953	0.377	-0.0256	-3.55e-009
	2954	0.377	0.0255	6.82e-009
	2955	0.377	-0.0255	-4e-009
	2956	0.377	0.0254	4.84e-009
	2957	0.377	0.0126	8.53e-010
	2958	0.377	3.26e-012	-7.89e-010
	2959	0.377	-0.0126	-1.79e-009
	2960	0.377	-0.0254	-2.97e-009
	2961	0.377	0.0253	3.27e-009
	2962	0.377	-0.0253	-2.31e-009
	2963	0.377	0.0253	1.11e-009
	2964	0.377	0.0126	5.68e-010
	2965	0.377	6.75e-012	2.99e-011
	2966	0.377	-0.0126	-5.08e-010
	2967	0.377	-0.0253	-1.05e-009
	2968	0.377	0.0253	-1.06e-009
	2969	0.377	-0.0253	2.15e-010
	2970	0.377	0.0254	-2.63e-009
	2971	0.377	0.0126	2.82e-010
	2972	0.377	2.45e-012	8.49e-010
	2973	0.377	-0.0126	7.73e-010
	2974	0.377	-0.0254	8.78e-010
	2975	0.377	0.0255	-4.61e-009
	2976	0.377	-0.0255	1.91e-009
	2977	0.377	0.0256	-5.11e-009
	2978	0.377	0.0214	-1.61e-009
	2979	0.377	0.0171	2.04e-010
	2980	0.377	0.0128	9.87e-010
	2981	0.377	0.00854	1.29e-009
	2982	0.377	0.00426	1.34e-009
	2983	0.377	-4.79e-012	1.32e-009
	2984	0.377	-0.00426	1.39e-009
	2985	0.377	-0.00854	1.49e-009
	2986	0.377	-0.0128	1.5e-009
	2987	0.377	-0.0171	1.64e-009
	2988	0.377	-0.0214	1.83e-009
	2989	0.377	-0.0256	1.46e-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.0Wz	2941	3.57e-009	0.0115	0.408
	2942	2.71e-009	0.0115	0.408
	2943	2.52e-009	0.0115	0.408
	2944	2.49e-009	0.0115	0.408
	2945	1.85e-009	0.0115	0.408
	2946	1.34e-009	0.0115	0.408
	2947	7.03e-010	0.0115	0.408
	2948	6.85e-011	0.0115	0.408
	2949	-4.43e-010	0.0115	0.408
	2950	-1.09e-009	0.0115	0.408
	2951	-1.11e-009	0.0115	0.408
	2952	-1.3e-009	0.0115	0.408
	2953	-2.16e-009	0.0115	0.408
	2954	-1.77e-009	0.00808	0.408
	2955	2.84e-009	0.00808	0.408
	2956	-1.56e-009	0.00499	0.408
	2957	-5.6e-010	0.005	0.408
	2958	3.65e-010	0.005	0.408
	2959	1.29e-009	0.005	0.408
	2960	2.29e-009	0.00499	0.408
	2961	-1.05e-009	0.00236	0.408
	2962	1.44e-009	0.00236	0.408
	2963	-7.62e-010	-2e-011	0.408
	2964	-5.18e-010	-2.08e-011	0.408
	2965	2.69e-011	-2.17e-011	0.408
	2966	5.71e-010	-2.27e-011	0.408
	2967	8.16e-010	-2.38e-011	0.408
	2968	-8.57e-010	-0.00236	0.408
	2969	5.73e-010	-0.00236	0.408
	2970	-3.08e-010	-0.00499	0.408
	2971	-4.18e-010	-0.005	0.408
	2972	-3.11e-010	-0.005	0.408
	2973	-2.04e-010	-0.005	0.408
	2974	-3.14e-010	-0.00499	0.408
	2975	1.13e-010	-0.00808	0.408
	2976	-1.07e-009	-0.00808	0.408
	2977	-8.04e-010	-0.0115	0.408
	2978	-3.21e-010	-0.0115	0.408
	2979	-5.07e-010	-0.0115	0.408
	2980	-8.64e-010	-0.0115	0.408
	2981	-7.44e-010	-0.0115	0.408
	2982	-7.59e-010	-0.0115	0.408
	2983	-6.49e-010	-0.0115	0.408
	2984	-5.4e-010	-0.0115	0.408
	2985	-5.54e-010	-0.0115	0.408
	2986	-4.35e-010	-0.0115	0.408
	2987	-7.91e-010	-0.0115	0.408
	2988	-9.78e-010	-0.0115	0.408
	2989	-4.95e-010	-0.0115	0.408

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.4D+1.7L	2941	0.0001	-0.114	0.000121
	2942	0.0001	-0.114	0.000122
	2943	9.99e-005	-0.114	0.000122
	2944	9.99e-005	-0.114	0.000123
	2945	9.98e-005	-0.114	0.000123
	2946	9.97e-005	-0.114	0.000123
	2947	9.96e-005	-0.114	0.000124
	2948	9.95e-005	-0.114	0.000124
	2949	9.94e-005	-0.114	0.000124
	2950	9.93e-005	-0.114	0.000125
	2951	9.93e-005	-0.114	0.000125
	2952	9.92e-005	-0.114	0.000126
	2953	9.92e-005	-0.114	0.000126
	2954	9.92e-005	-0.122	0.000121
	2955	9.85e-005	-0.122	0.000126
	2956	9.85e-005	-0.132	0.000121
	2957	9.84e-005	-0.136	0.000122
	2958	9.81e-005	-0.137	0.000123
	2959	9.79e-005	-0.136	0.000124
	2960	9.77e-005	-0.132	0.000126
	2961	9.78e-005	-0.139	0.000121
	2962	9.69e-005	-0.139	0.000125
	2963	9.7e-005	-0.142	0.000121
	2964	9.69e-005	-0.146	0.000122
	2965	9.66e-005	-0.148	0.000123
	2966	9.64e-005	-0.146	0.000124
	2967	9.62e-005	-0.142	0.000125
	2968	9.63e-005	-0.139	0.00012
	2969	9.55e-005	-0.139	0.000125
	2970	9.55e-005	-0.132	0.00012
	2971	9.54e-005	-0.136	0.000121
	2972	9.51e-005	-0.137	0.000122
	2973	9.49e-005	-0.136	0.000123
	2974	9.47e-005	-0.132	0.000125
	2975	9.48e-005	-0.122	0.00012
	2976	9.4e-005	-0.122	0.000124
	2977	9.4e-005	-0.114	0.00012
	2978	9.4e-005	-0.114	0.00012
	2979	9.4e-005	-0.114	0.000121
	2980	9.39e-005	-0.114	0.000121
	2981	9.38e-005	-0.114	0.000121
	2982	9.37e-005	-0.114	0.000122
	2983	9.36e-005	-0.114	0.000122
	2984	9.35e-005	-0.114	0.000122
	2985	9.35e-005	-0.114	0.000123
	2986	9.34e-005	-0.114	0.000123
	2987	9.33e-005	-0.114	0.000124
	2988	9.33e-005	-0.114	0.000124
	2989	9.33e-005	-0.114	0.000124

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
1.05D+1.27...	2941	0.481	-0.0526	9.11e-005
	2942	0.481	-0.0581	9.14e-005
	2943	0.481	-0.0636	9.17e-005
	2944	0.481	-0.0693	9.19e-005
	2945	0.481	-0.0748	9.22e-005
	2946	0.481	-0.0802	9.25e-005
	2947	0.481	-0.0857	9.28e-005
	2948	0.481	-0.0911	9.31e-005
	2949	0.481	-0.0965	9.33e-005
	2950	0.481	-0.102	9.36e-005
	2951	0.481	-0.107	9.39e-005
	2952	0.481	-0.113	9.42e-005
	2953	0.481	-0.118	9.44e-005
	2954	0.481	-0.0593	9.1e-005
	2955	0.481	-0.124	9.44e-005
	2956	0.481	-0.067	9.09e-005
	2957	0.481	-0.0857	9.17e-005
	2958	0.481	-0.103	9.25e-005
	2959	0.481	-0.118	9.34e-005
	2960	0.481	-0.132	9.42e-005
	2961	0.481	-0.0722	9.07e-005
	2962	0.481	-0.137	9.4e-005
	2963	0.481	-0.0744	9.05e-005
	2964	0.481	-0.0937	9.13e-005
	2965	0.481	-0.111	9.21e-005
	2966	0.481	-0.126	9.3e-005
	2967	0.481	-0.139	9.38e-005
	2968	0.481	-0.0723	9.03e-005
	2969	0.481	-0.137	9.36e-005
	2970	0.481	-0.067	9.01e-005
	2971	0.481	-0.0858	9.09e-005
	2972	0.481	-0.103	9.18e-005
	2973	0.481	-0.118	9.26e-005
	2974	0.481	-0.132	9.34e-005
	2975	0.481	-0.0593	8.99e-005
	2976	0.481	-0.124	9.33e-005
	2977	0.481	-0.0526	8.98e-005
	2978	0.481	-0.0581	9.01e-005
	2979	0.481	-0.0636	9.04e-005
	2980	0.481	-0.0693	9.07e-005
	2981	0.481	-0.0748	9.1e-005
	2982	0.481	-0.0803	9.12e-005
	2983	0.481	-0.0858	9.15e-005
	2984	0.481	-0.0911	9.18e-005
	2985	0.481	-0.0966	9.21e-005
	2986	0.481	-0.102	9.24e-005
	2987	0.481	-0.107	9.26e-005
	2988	0.481	-0.113	9.29e-005
	2989	0.481	-0.118	9.32e-005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JOINT DISPLACEMENTS: (m)

Ld Combo	Joint	Dx	Dy	Dz
0.9D+1.3W	2941	0.491	-0.0142	7.79e-005
	2942	0.491	-0.0197	7.81e-005
	2943	0.491	-0.0253	7.84e-005
	2944	0.491	-0.031	7.86e-005
	2945	0.491	-0.0365	7.88e-005
	2946	0.491	-0.0421	7.91e-005
	2947	0.491	-0.0477	7.93e-005
	2948	0.491	-0.0532	7.95e-005
	2949	0.491	-0.0587	7.98e-005
	2950	0.491	-0.0643	8e-005
	2951	0.491	-0.0697	8.03e-005
	2952	0.491	-0.0753	8.05e-005
	2953	0.491	-0.0808	8.07e-005
	2954	0.491	-0.0177	7.78e-005
	2955	0.491	-0.084	8.07e-005
	2956	0.491	-0.0216	7.78e-005
	2957	0.491	-0.0394	7.85e-005
	2958	0.491	-0.0563	7.92e-005
	2959	0.491	-0.0723	7.99e-005
	2960	0.491	-0.0876	8.06e-005
	2961	0.491	-0.0244	7.77e-005
	2962	0.491	-0.0901	8.05e-005
	2963	0.491	-0.0255	7.76e-005
	2964	0.491	-0.0435	7.83e-005
	2965	0.491	-0.0604	7.9e-005
	2966	0.491	-0.0762	7.97e-005
	2967	0.491	-0.0912	8.04e-005
	2968	0.491	-0.0244	7.74e-005
	2969	0.491	-0.0901	8.03e-005
	2970	0.491	-0.0217	7.73e-005
	2971	0.491	-0.0395	7.81e-005
	2972	0.491	-0.0563	7.88e-005
	2973	0.491	-0.0723	7.95e-005
	2974	0.491	-0.0876	8.02e-005
	2975	0.491	-0.0177	7.73e-005
	2976	0.491	-0.084	8.01e-005
	2977	0.491	-0.0142	7.72e-005
	2978	0.491	-0.0198	7.75e-005
	2979	0.491	-0.0253	7.77e-005
	2980	0.491	-0.031	7.79e-005
	2981	0.491	-0.0366	7.82e-005
	2982	0.491	-0.0421	7.84e-005
	2983	0.491	-0.0477	7.87e-005
	2984	0.491	-0.0532	7.89e-005
	2985	0.491	-0.0588	7.91e-005
	2986	0.491	-0.0643	7.94e-005
	2987	0.491	-0.0697	7.96e-005
	2988	0.491	-0.0753	7.99e-005
	2989	0.491	-0.0808	8.01e-005

ตารางที่ 4.1. แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Coupled Shear wall

วัสดุที่ใช้	ปริมาณวัสดุที่ใช้	น้ำหนักวัสดุที่ใช้ (kg)
1.) ส่วน Shear wall		
1.1) เหล็ก DB 32 (m)	18,432	116,306
1.2) เหล็ก DB 12 (m)	138,390	124,274
1.3) คอนกรีต (m ³)	2,074	4,976,640
2.) พื้นคอนกรีตอัดแรงหนา 0.2 m (m ²)	600	8,640,000

ตารางที่ 4.2. แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Core Structure

วัสดุที่ใช้	ปริมาณวัสดุที่ใช้	น้ำหนักวัสดุที่ใช้ (kg)
1.) ส่วนปล้องแกน (core)		
1.1) เหล็ก DB 32 (m)	11,904	75,114
1.2) เหล็ก DB 16 (m)	25,296	39,968
1.3) คอนกรีต (m ³)	1,037	2,488,800
2.) ส่วนเสา 1.0 x 1.0 m ²		
2.1) เหล็ก DB 32 (m)	193,536	1,221,212
2.2) เหล็ก DB 10 (m)	21,427	13,220
2.3) คอนกรีต (m ³)	2,304	5,529,600
3.) พื้นคอนกรีตอัดแรงหนา 0.25 m (m ²)	16,500	9,900,000

ตารางที่ 4.3. แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Framed - Tube Structure

วัสดุที่ใช้	ปริมาณวัสดุที่ใช้	น้ำหนักวัสดุที่ใช้ (kg)
1.) ส่วนคานเหล็กรูปพรรณ		
1.1) เหล็ก WF 933 x 446.4 (m)	16,800	7,499,520
2.) ส่วนเสาเหล็กรูปพรรณ		
2.1) เหล็ก WF 933 x 446.4 (m)	10,290	4,593,456
3.) ส่วนแผ่นพื้นเหล็ก+คอนกรีตมวลเบา(m^2)	768	307,200

ตารางที่ 4.4. แสดงปริมาณและน้ำหนักวัสดุของโครงสร้าง Outrigger Structure

วัสดุที่ใช้	ปริมาณวัสดุที่ใช้	น้ำหนักวัสดุที่ใช้ (kg)
1.) ส่วนคานเหล็กรูปพรรณ		
1.1) เหล็ก WF 933 x 446.4 (m)	13,920	6,213,888
2.) ส่วนเสาเหล็กรูปพรรณ		
2.1) เหล็ก WF 933 x 446.4 (m)	4,200	1,874,880
2.2) เหล็ก WF 498 x 605 (m)	840	508,200
3.) ส่วน core และแขน outrigger (RC)		
3.1) ส่วน core		
3.1.1) เหล็ก DB 32 (m)	81,424	513,785
3.1.2) คอนกรีต (m^3)	6.930	16.632,000
3.2) ส่วนแขน outrigger		
3.2.1) เหล็ก DB 32 (m)	3,668	23,144
3.2.2) เหล็ก DB 25 (m)	672	2,586
3.2.3) คอนกรีต (m^3)	84	201,600
4.) ส่วนแผ่นพื้นเหล็ก+คอนกรีตมวลเบา(m^2)	768	307,200

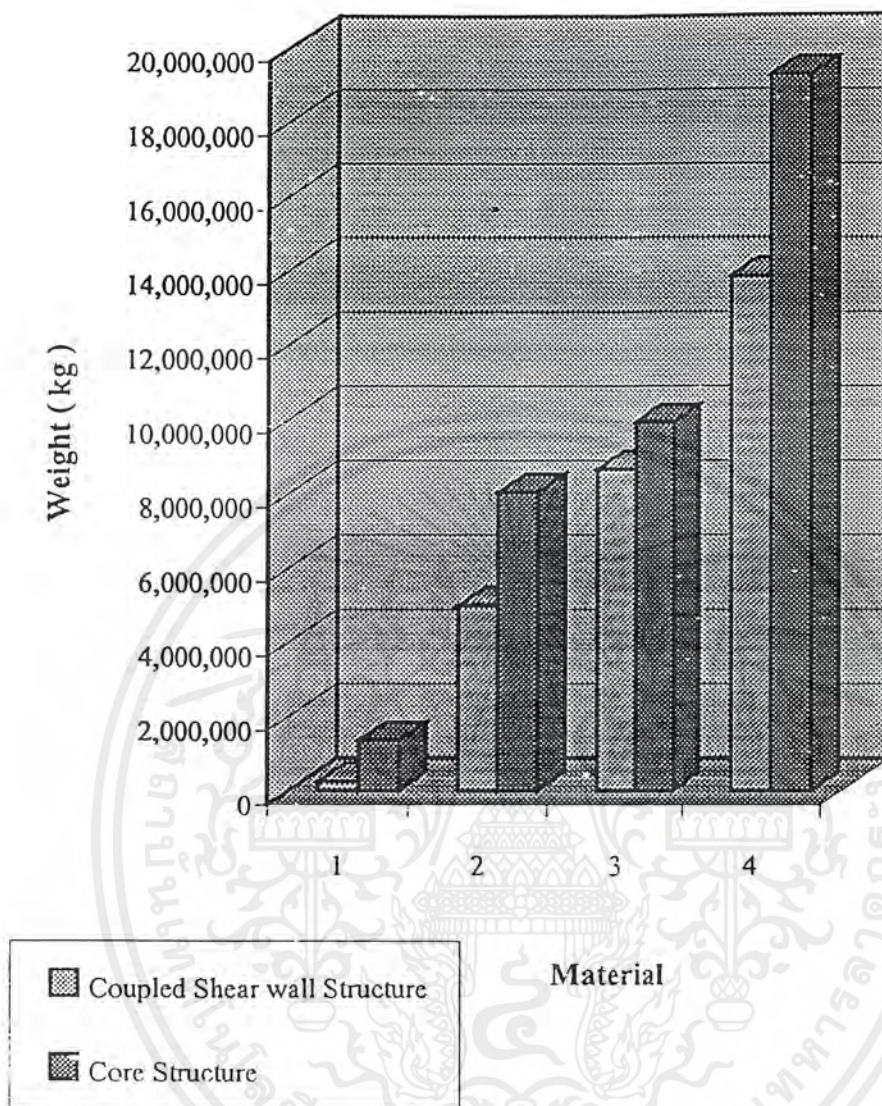
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5. เปรียบเทียบน้ำหนักของโครงสร้างอาคารสูง 30 ชั้น

วัสดุที่ใช้	coupled Shear wall Structur	Core Structure
1.) เหล็ก DB 32 (kg)	116,306	1,296,326
2.) เหล็ก DB 16 (kg)	-	39,968
3.) เหล็ก DB 12 (kg)	124,274	-
4.) เหล็ก DB 10 (kg)	-	13,220
น้ำหนักเหล็กรวม (kg)	240,580	1,349,514
5.) คอนกรีต (kg)	4,976,640	8,018,400
6.) พื้นคอนกรีตอัดแรง (kg)	8,640,000	9,900,000
น้ำหนักรวม (Total Weight) (kg)	13,857,220	19,267,914

ตารางที่ 4.6. เปรียบเทียบน้ำหนักของโครงสร้างอาคารสูง 60 ชั้น

วัสดุที่ใช้	Frame-tubed Structure	Outrigger Structure
1.) เหล็ก WF 933 x 446.4 (kg)	12,092,976	8,088,768
2.) เหล็ก WF 498 x 605 (kg)	-	508,200
3.) เหล็ก DB 32 (kg)	-	536,929
4.) เหล็ก DB 25 (kg)	-	2,586
5.) คอนกรีต (kg)	-	16,833,600
6.) ส่วนแผ่นพื้นเหล็ก+คอนกรีตมวลเบา (	307,200	307,200
น้ำหนักรวม (Total Weight) (kg)	12,400,176	26,277,283



โดยที่ 1 คือ น้ำหนักเหล็กเสริมทั้งหมด (kg)

2 คือ น้ำหนักคอนกรีต (kg)

3 คือ น้ำหนักพื้นคอนกรีตอัดแรง (kg)

4 คือ น้ำหนักรวมทั้งหมด (kg)

รูปที่ 4.1. กราฟเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุต่างๆของอาคารสูง 30 ชั้น

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้นถึงจุดประสงค์ของการศึกษาโครงงานพิเศษในหัวข้อ “พฤติกรรมและวิธีการออกแบบ โครงสร้างอาคารสูงด้านทานแรงลม ” นั้นมีอยู่ 2 หัวข้อด้วยกันคือ

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและสมการการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูงในการต้านทานแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากต่อผู้ออกแบบในการคำนวณออกแบบเบื้องต้น
2. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณวัสดุและน้ำหนักของ โครงสร้างอาคารสูง 30 ชั้นและ 60 ชั้น รวมถึงแสดงข้อดีและข้อเสียของ โครงสร้างอาคารสูงแบบต่างๆด้วย

ดังนั้นในการสรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษานั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนตามจุดประสงค์ของการศึกษาดังต่อไปนี้

5.1. การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากสมการวิเคราะห์และจากโปรแกรม PCA FRAME

5.1.1. โครงสร้างผนังรับแรงเฉือนคู่ (Coupled Shear Wall Structures)

จากผลลัพธ์ต่างๆที่สามารถคำนวณได้จากโปรแกรม PCA FRAME นั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นพบว่ามีความใกล้เคียงมาก โดยเฉพาะค่าแรงตามแนวแกนตามตารางที่ 3.2. และกราฟรูปที่ 3.13. นั้นมีความผิดพลาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8 % แต่สำหรับค่าโมเมนต์ที่ผนังรับแรงเฉือนตามตารางที่ 3.1. และกราฟรูปที่ 3.12 นั้นจะพบว่าที่บริเวณกลางความสูงอาคารค่าที่คำนวณจากสมการนั้นจะผิดพลาดค่อนข้างมากซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากสมการวิเคราะห์นั้นพิจารณาว่าโมเมนต์คู่ควบของแรงตามแนวแกนจะช่วยลดโมเมนต์ในผนังได้ทั้งหมดทำให้ค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้ต่ำกว่าโมเมนต์ที่ได้จากโปรแกรม PCA FRAME

5.1.2. โครงสร้างปล้องแกน (Core Structures)

จากค่าการแอ่นตัวที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม PCA FRAME ซึ่งเท่ากับ 8.5 cm เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการวิเคราะห์ซึ่งได้เท่ากับ 8.3 cm จะพบว่าใกล้เคียงกันมากโดยค่าผิดพลาดเพียง 2 cm เท่านั้น สำหรับความผิดพลาดดังกล่าวอาจจะมีผลเนื่องมาจากการคำนวณค่าการแอ่นตัวโดยพิจารณาเป็นพฤติกรรมร่วมระหว่างปล้องแกนและโครงข้อแข็งรอบๆปล้อง ซึ่งสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นไม่ได้รวมผลเนื่องจากการบิดตัวของปล้องแกนเข้าไปด้วย ทำให้ค่าที่คำนวณได้จากสมการมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลไปถึงค่าการแอ่นตัวที่ได้จากโปรแกรม PCA FRAME ด้วย เนื่องจากการวิเคราะห์ในลักษณะ 3 มิติของพฤติกรรมร่วมนั้นต้องแบ่งแรงกระทำกระจายไปยังปล้องแกนและโครงข้อแข็งโดยที่แรงรวมยังคงเท่าเดิม สำหรับการประมาณการแบ่งแรงกระทำในเบื้องต้นนั้นได้มาจากค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้จากสมการ ด้วยสาเหตุนี้จึงต้องทำการทดลองแบ่งแรงกระทำไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าการแอ่นตัวที่ปล้องแกนและโครงข้อแข็งจะเท่ากันซึ่งอาจจะใช้เวลาค่อนข้างมาก

5.1.3. โครงสร้างปล้อง (Tubular Structures)

เนื่องจากทฤษฎีของโครงสร้าง tube ที่รวบรวมมาได้นั้น ไม่มีสมการเฉพาะในการคำนวณเนื่องจากลักษณะของโครงสร้างนั้นคือโครงข้อแข็งทั่วๆไปเพียงแต่ช่วงเสาของโครงสร้าง tube นั้นค่อนข้างจะแคบ นั่นคือโครงสร้างก็จะมีพฤติกรรมเข้าใกล้พฤติกรรมของคานาปลายยื่นขนาดใหญ่ จากทฤษฎีดังกล่าวเราจึงสามารถคำนวณค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างได้โดยใช้สมการการแอ่นตัวของคานาปลายยื่นแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรม PCA FRAME ซึ่งพบว่าค่าการแอ่นตัวต่างกันประมาณ 6 cm โดยความผิดพลาดนั้นมีสาเหตุมาจากการที่ tube ไม่ได้มีพฤติกรรมเป็นคานาปลายยื่นขนาดใหญ่ที่แท้จริงนั้นคือจะต้องพิจารณาถึงแรงเฉือนที่มากระทำด้วย นอกจากนี้เรายังสามารถตรวจสอบพฤติกรรมของ shear lag จากค่าที่ได้ตามโปรแกรม PCA FRAME อีกด้วย ซึ่งลักษณะการกระจายแรงตามแนวแกนของเสาด้านปีกได้แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 3.14

5.1.4. โครงสร้าง Outrigger (Outrigger-Braced Structures)

สำหรับโครงสร้าง outrigger นั้นโดยปกติจะใช้โครงสร้างปล้องแกนและแขน outrigger เป็นโครงสร้างหลัก แต่ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสมการวิเคราะห์ที่มีนั้นจะพิจารณาปล้องแกนและแขน outrigger ให้มีพฤติกรรมเป็นคานาปลายยื่น ดังนั้นในการวิเคราะห์โครงสร้างระบบนี้จึงใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในการวิเคราะห์แทน นอกจากนี้ในการวิเคราะห์โดยใช้สมการวิเคราะห์นั้นยังได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนึงถึงพฤติกรรมร่วมของโครงข้อแข็งรอบๆปล่องแกนด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าการแอ่นตัวที่คำนวณได้นั้น มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากสมการที่ใช้คำนวณนั้นจะพิจารณาปล่องแกนเป็นคานปลายยื่นทั่วไป นอกจากนี้ในการใส่แรงกระทำในโปรแกรมนั้นก็จะใส่แรงกระทำแบบจุดที่ตำแหน่งรอยต่อของโครงข้อแข็งเพียงอย่างเดียวเนื่องจากไม่สามารถสร้างแบบจำลองปล่องแกนให้เหมือนโครงสร้างจริงได้เพราะข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนชิ้นส่วนของโครงสร้างทำให้พฤติกรรมที่ได้นั้นจะคล้ายกับโครงสร้างโครงข้อแข็งทั่วไป แต่เมื่อทำการกำหนดให้คานที่เชื่อมยึดปล่องแกนมีขนาดเล็กมากเนื่องจากไม่ต้องการให้มีกรถ่ายแรงจากปล่องแกนไปยังโครงข้อแข็งเพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการวิเคราะห์แล้วพบว่าค่าโมเมนต์ที่ปล่องแกนและค่าการแอ่นตัวมีขนาดใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสมการวิเคราะห์โดยค่าโมเมนต์ที่ปล่องแกนนั้นมีความผิดพลาดเฉลี่ย 2.56 % สำหรับค่าเปรียบเทียบนั้นได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 3.4. และกราฟรูปที่ 3.15.

5.2. การเปรียบเทียบปริมาณวัสดุและน้ำหนักของอาคารสูง 30 และ 60 ชั้น

5.2.1. โครงสร้างอาคารสูง 30 ชั้น

จากตารางเปรียบเทียบปริมาณวัสดุและน้ำหนักของโครงสร้าง Coupled Shear wall และโครงสร้าง Core Structure แล้วสรุปได้ดังนี้

- (1) โครงสร้าง Core ใช้ปริมาณเหล็กเสริมมากกว่า 1,108,934 kg
- (2) โครงสร้าง Core ใช้ปริมาณคอนกรีตมากกว่า 3,041,760 kg
- (3) โครงสร้าง Core ใช้ปริมาณคอนกรีตอัดแรงมากกว่า 1,260,000 kg
- (4) โครงสร้าง Core มีน้ำหนักรวมมากกว่า 39.04 %

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าโครงสร้าง Core นั้นมีน้ำหนักมากกว่าโครงสร้าง Coupled Shear wall มาก เนื่องจากปล่องแกนของอาคารมีขนาดใหญ่เนื่องจากต้องค้ำยันคานโมเมนต์จำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลให้ต้องเสริมเหล็กจำนวนมากตามไปด้วย ในขณะที่ผนังรับแรงเฉือนคานนั้นมีจำนวนหลายตัว ดังนั้นผนังแต่ละระนาบจึงมีโมเมนต์กระทำไม่มากนักส่งผลให้ขนาดของผนังไม่ใหญ่มากและจำนวนเหล็กเสริมก็จะน้อยตามไปด้วยทำให้น้ำหนักโดยรวมของอาคารจึงน้อยกว่าโครงสร้าง Core แต่เมื่อพิจารณาจากภาพรวมของโครงสร้างทั้งสองแล้วพบว่าโครงสร้าง Coupled Shear wall นั้นมีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างเพียงทิศทางเดียวแต่ในอีกทิศทางนั้นผนังจะมีลักษณะแบนราบทำให้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อย ทำให้อาคารดังกล่าวต้องมีความยาวมากจึงจะไม่เกิดการแอ่นตัวที่มากเกินไป นอกจากนี้บริเวณชั้นล่างของอาคารอาจจะถูกข้อจำกัดด้านพื้นที่ทำให้ไม่สามารถถ่ายแรงจากผนังลงสู่พื้นดินได้โดยตรง อาจจะต้องถ่ายแรงลงคานขนาดใหญ่แทนทำให้สภาพการยึดครั้งที่ฐานของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังรับแรงเฉือนไม่เป็นฐานยึดแน่นโดยสมบูรณ์ จากข้อจำกัดดังกล่าวจะเห็นได้ว่าโครงสร้าง Core นั้นมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า ดังนั้นในการเลือกใช้งานนั้นอาจจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆประกอบด้วยแต่ผลการศึกษาที่ได้ก็สามารถใช้เป็นข้อพิจารณาอย่างคร่าวๆเกี่ยวกับราคาก่อสร้างในตอนเริ่มต้นศึกษาโครงการได้

5.2.2. โครงสร้างอาคารสูง 60 ชั้น

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณวัสดุและ น้ำหนักของโครงสร้างปล่อง (Tubular Structures) และโครงสร้าง Outrigger นั้นพบว่าโครงสร้าง Outrigger มีน้ำหนักรวมมากกว่า 2.11 เท่า โดยที่ถ้าจะพิจารณาเฉพาะส่วนของโครงสร้างเหล็กจะได้ว่าโครงสร้างปล่องใช้ปริมาณเหล็กรูปพรรณ 12,092,976 kg และโครงสร้าง Outrigger ใช้ปริมาณเหล็กรูปพรรณ 8,596,968 kg โดยที่ปล่องแกนและแขน Outrigger นั้นใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะน้ำหนักของเหล็กรูปพรรณอย่างเดียวก็น่าจะเปรียบเทียบอย่างคร่าวๆได้บ้าง เนื่องจากผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบก็พอที่จะประมาณน้ำหนักของส่วนปล่องและแขน Outrigger เมื่อเปลี่ยนเป็นโครงสร้างเหล็กได้บ้างและเมื่อนำไปรวมกับน้ำหนักของเหล็กรูปพรรณที่เป็นโครงสร้างส่วนอื่นๆก็พอที่จะใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบในเมืองต้นได้บ้าง เมื่อพิจารณาภาพรวมของโครงสร้างแล้วพบว่าโครงสร้าง Frame-tubed นั้นมีข้อจำกัดในด้านการใช้งานเช่นเดียวกับโครงสร้าง Coupled Shear wall นั่นคือช่วงรอบๆอาคารซึ่งมีช่วงห่างของเสาซ้อนข้างถึงทำให้เสียพื้นที่ในการใช้งานไปมากและโครงสร้างจะดูทึบตันอีกด้วย แต่เนื่องจากพฤติกรรมของโครงสร้างนั้นเข้าใกล้กับพฤติกรรมของคานปลายยื่นทำให้ขนาดของโครงสร้างโดยรวมนั้นมีขนาดลดลง ในขณะที่โครงสร้าง Outrigger นั้นจะมีลักษณะคล้ายโครงสร้าง Core เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างทั้ง 2 ทิศทางและแขนของ Outrigger นั้นก็มีประสิทธิภาพในการต้านทานการแอ่นตัวของโครงสร้างได้ดีอีกด้วยโดยในการศึกษารoundtable พบว่าการแอ่นตัวลดลงประมาณ 40 cm แต่แขน Outrigger นั้นต้องมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องเสียพื้นที่ใช้งานในชั้นที่แขน Outrigger วางอยู่ไปบ้าง ดังนั้นในการเลือกใช้งานนั้นอาจจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆประกอบด้วยแต่ผลการศึกษาที่ได้ก็สามารถใช้เป็นข้อพิจารณาอย่างคร่าวๆเกี่ยวกับราคาก่อสร้างในตอนเริ่มต้นศึกษาโครงการได้

ในการที่จะเลือกออกแบบโครงสร้างชนิดใดนั้นผู้ออกแบบควรจะต้องมีความเข้าใจในพฤติกรรมของโครงสร้างต่างๆเหล่านั้นเป็นอย่างดี เพื่อประโยชน์ในการออกแบบให้โครงสร้างนั้นๆมีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำจากภายนอกให้มากที่สุดโดยที่มีความเหมาะสมในด้านราคาก่อสร้างและประโยชน์ในการใช้สอยอีกด้วย

บรรณานุกรม

- วินิต ช่อวิเชียร , 2542. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.
- สมปอง สว่างแสง, 2534. คอนกรีตเสริมเหล็ก ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน ตำราเอกสารวิชาการ ฉบับที่ 43. หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.
- สิริศักดิ์ ปิโยธรสิริ, 2539. STRENGTH OF MATERIALS. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ : หจก.เม็คทราย พรินต์ติ้ง
- อธิปัติ์ เสาวรา , 2537. พฤติกรรมร่วมระหว่างผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็ง. ปรินูญานินท์ .สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Coull, A., 1991. TALL BUILDING STRUCTURE : ANALYSIS AND DESIGN. NEW YORK A WILEY INTERSCIENCE PUBLICATION. JOHN WILEY&SONS,INC.
- Reese, R.C., Martin ,I., Thurlimann, B. and Wastlund, G.,1978. STRUCTURAL DESIGN OF CONCRETE AND MASONRY BUILDINGS. USA.
- Taranath ,B.S.,1988. STRUCTURAL ANALYSIS & TALL BUILDINGS. McGraw-Hill ; Inc.
- Tee Group of Engineers, ตารางเหล็ก สำหรับผู้รับเหมาก่อสร้างและวิศวกร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.