พฤติกรรมร่วมระหว่างผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็ง

SHEAR WALLS AND FRAMES INTERACTION BEHAVIOR

โดย

นายอธิปัตย์ เสาวรา

วัน เดือน ปี 19 ม.ค 2539
เลขทะเบียน 034885
เลขเรียกหนังสือ T 37185 03

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

034885

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ : พฤติกรรมร่วมระหว่างผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็ง (SHEAR WALLS AND FRAMES INTERACTION-BEHAVIOR)

นักศึกษา : นายอธิปัตย์ เสาวรา ปี 4H 34109476

หลักสูตร : วิศวกรรมก่อสร้าง

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อ.สุรัตน์ หวังเจริญ	.....
2. อ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์	.....
3. อ.เกษม อนันตกุล	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(นายอำนวย พานิชกุลพงศ์)

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาแรงในโครงอาคารสูง เพื่อนำผลมาศึกษาหาพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารสูงระบบโครงข้อแข็งรับแรงร่วมกับผนังรับแรงเฉือน

โครงงานพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้โดยความช่วยเหลือของ อ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์ ผู้ได้ให้ความรู้และคำแนะนำ ตลอดจนแนวทางในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการทำโครงงานพิเศษนี้ จนสำเร็จลุล่วง และสุดท้ายขอขอบคุณคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือให้โครงงานพิเศษแบบนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

นายอธิปัตย์ เสาวรา ชั้นปีที่ 4H

วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมร่วมระหว่างผนังรับแรงเฉือนกับโครงข้อแข็ง

Shear-Wall and Frame interactive behavior

โดย : นายอธิปัตย์ เสาวรา

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.สุวัฒน์ ถิรเศรษฐ์

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้จะทำการศึกษาถึงการวิเคราะห์หาแรง และคำนวณออกแบบอาคารสูง ระบบโครงข้อแข็งรับแรงร่วมกับผนังรับแรงเฉือน ซึ่งอาคารสูงโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะใช้ระบบนี้ในการรับแรง ซึ่งใช้ได้ตั้งแต่อาคารสูง 15-50 ชั้น

ในขั้นตอนแรกสุดจะเริ่มทำการวิเคราะห์พฤติกรรมในการรับแรงด้านข้างของทั้งโครงข้อแข็ง และผนังรับแรงเฉือน และทำการหาสติฟเนสแต่ละระบบและหาความสัมพันธ์กันเมื่อทั้งสองระบบร่วมกันรับแรง และทำการคำนวณหาผลของแรงโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบจากสมการทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กราฟจากหนังสืออ้างอิง หรือใช้โปรแกรมการคำนวณจากเครื่องคำนวณและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยละเอียด โดยคอมพิวเตอร์ต่อไป

Abstract

This Special Project is studying about the method in analysis and design of tall building structure that use the system "Shear wall and Frame inteeraction" to resisting lateral load: that is the most 15-50 story building use this system

In the frist step; Trying to analysis behavior of the saparate system and then make the relationship of this two saparte system to a complete one structure by useing the mathmatical model. Find the Soultion by using graph or use the Programing Calculator and compare solution with the accuratcy analysis by Computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
บทนำ		1
บทที่ 1	ทฤษฎี	3
	-พฤติกรรมของ Shear Wall-Frame เมื่อรับแรงด้านข้าง	3
	-การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูงระบบ Shear Walll-Frame	7
	-การหาสติฟเนสของ Shear Wall เพื่อรับแรงด้านข้าง	9
	-การหาสติฟเนสของ Rigid Frame เพื่อรับแรงด้านข้าง	13
	-การพิจารณาหาค่า GA ((Shear Rigidtity)	17
บทที่ 2	การวิเคราะห์	19
	-การวิเคราะห์หาแรงในโครงสร้างในสมการ Differential Equation	19
	-การแก้สมการอนุพันธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้าง	21
	-การหาแรงใน Shear Wall และ Frame	24
บทที่ 3	การคำนวณออกแบบ	28
	-รายการคำนวนอาคารสูง 30 ชั้น โดยใช้สมการ Differential Equation	30
	-โปรแกรมภาษา Basic สำหรับเครื่องคำนาณ	36
	-การคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์	39
	-ผลคำตอบ	42
สรุป และ วิจารณ์		**55**
หนังสืออ้างอิง		**57**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	โครงสร้างอาคารสูงระบบ Shear Wall-Frame	4
รูปที่ 1.2	รูปแปลนของอาคารสูงระบบ Shear Wall-Frame	4
รูปที่ 2	แบบจำลองการแบ่งกันรับแรงของสปริง	6
รูปที่ 3	(a) Shear Wall เมื่อรับแรงด้านข้างแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ	6
	(b) Frame เมื่อรับแรงด้านข้างแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ	6
	(c) Shear Wall-Frame เมื่อรับแรงด้านข้างแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ	6
รูปที่ 4	(a) ค่า Deflection ที่เกิดจากแรงด้านข้างของโครงสร้าง Shear Wall-Frame	6
	(b) ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงด้านข้าง	6
	(c) ค่าแรงเฉือนที่เกิดจากแรงด้านข้าง	6
รูปที่ 5	(a) แบบจำลองการวิเคราะห์ในแบบ 2 มิติของโครงสร้าง Shear Wall-Frame	8
	(b) แบบจำลอง Continuum analogy	8
	(c) Free body diagrams ของ Wall และ Frame	8
รูปที่ 6	การโก่งของคาน	9
รูปที่ 7	(a) การหมุนของจุดต่อที่เกิดจาก ginder fiexure	16
	(b) Story drift จาก ginder flexure	16
	(c) Story drift ที่เกิดจาก Column flexure	16
รูปที่ 8	ความสูงในชั้นหนึ่งของ Shear Wall ซึ่งถูกแรงเฉือน Qi กระทำโดยมีค่าโมดูลัสความแข็ง (G) และพื้นที่หน้าตัด (A) เปรียบเทียบกับ Frame ที่รับแรงเฉือน Qi ในลักษณะเดียวกันซึ่งจะมีความแข็ง=GA ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ประกอบ	18
รูปที่ 9	เทอม (GA) จะอธิบายถึงค่าความแข็งของ Frame ที่ต้านการถูกดึงให้ขาดเป็นค่าเฉลี่ยต่อความสูงใน 1 ชั้น หรือนิยามได้ว่า (GA) คือ แรงเฉือนที่ทำให้โครงข้อแข็งเกิดการเคลื่อนที่ในแนวราบ 1 หน่วย ต่อหน่วยความสูง ดังแสดงในรูปที่ 9	18
รูปที่ 10	แสดงค่า K1 ,K2 ,K3 ,K4 ณ Z/H ระดับต่างๆ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

พฤติกรรมร่วมระหว่างผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็ง

Shear Walls and Frames Interaction Behavior

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอาคารสูงการใช้โครงข้อแข็งอย่างเดียว หรือผนังรับแรงเฉือนอย่างเดียวรับแรงด้านข้าง จะเป็นการไม่ประหยัด บางครั้งอาจจะไม่พอสำหรับรับแรง เพราะฉะนั้นในอาคารสูงโดยทั่วไปที่มีความสูงไม่เกิน 50 ชั้น จะใช้ผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งร่วมกันทำงานเป็นระบบรับแรงด้านข้าง ซึ่งระบบนี้เป็นระบบโครงสร้างที่มีความนิยมแพร่หลายโดยทั่วไป ในโครงงานพิเศษนี้จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของการรับแรงร่วมระหว่างผนังรับแรงเฉือนและโครงข้อแข็งอย่างละเอียด โดยจะศึกษาถึงที่มา, การวิเคราะห์พฤติกรรมร่วม, การวิเคราะห์หาแรง ตลอดจนถึงการประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบต่อไป โครงสร้างของอาคารหลายชั้นเป็นโครงสร้างที่มีดีกรีของอินดีเทอร์มิเนชี่สูงมาก การวิเคราะห์โดยละเอียดเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งอาจจะกระทำโดยวิธีการประมาณซึ่งคำนวณได้ด้วยมือ ถึงแม้จะมีขีดจำกัดในการใช้งานและมีความคลาดเคลื่อนแต่ก็มีประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบขั้นต้น (Preliminary Design) ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมและขนาดโดยประมาณเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอย่างละเอียดต่อไป

ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

โครงข้อแข็งจะประกอบด้วยเสาและคาน เมื่อรับแรงด้านข้างจะโก่งตัวในรูปแบบเฉือน (Shear mode) ส่วนผนังรับแรงเฉือนจะโก่งตัวแบบดัด (Bending mode) เหมือนกับคานยื่น เมื่อทั้งสองอยู่ร่วมกันในอาคาร ระบบซึ่งต่างกันนี้จะทำให้เกิดการเหนี่ยวรั้งซึ่งกันและกัน เพราะมีลักษณะการโก่งตัวที่ต่างกัน ผลทำให้เกิดการปรับหระจายของแรงระหว่างระบบโครงสร้างทั้งสอง เพราะแต่ละระบบไม่สามารถโก่งตัวในรูปแบบของตนโดยธรรมชาติ ในการวิเคราะห์พฤติกรรมร่วมของโครงข้อแข็งและผนังรับแรงเฉือนจะมีพื้นฐานมาจากวิชา Mechanics of Materials, Theory of Elastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stalbility, Finite Elements analysis,Elastic Structureal Analysis ตลอดจนถึงวิชา Advanced Engineering Mathematics ซึ่งจะนำมาใช้ประยุกต์ศึกษา

ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ในโครงงานพิเศษนี้จะเป็นศึกษาเฉพาะในกรณีของระบบที่มีความสมมาตร (Symmetry) ทางโครงสร้างเท่านั้น ในส่วนของการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยประมาณนั้นจะทำได้หลายวิธี ซึ่งผลที่ได้ของแต่ละวิธีจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยละเอียดโดยคอมพิวเตอร์ และแรงด้านข้างที่กระทำจะคิดเฉพาะแรงลมเท่านั้น และ และผลจากการวิเคราะห์ก็ จะคิดจากแรงลมเพียงกรณีเดียว

วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ

สามารถทำได้โดยการศึกษาวิชาพื้นฐานเบื้องต้น และทำการค้นคว้าวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมร่วมของโครงข้อแข็งและผนัง จากผู้ที่ทำการคิดค้น เช่น Khan & Sbovunis (1964), Goldberg (1967), Parme (1965), Clough (1964) ฯลฯ โดยแหล่งข้อมูลจะหาได้จาก Journal ของ ACI, Journal of the Structural Division ; ASCE ; ตลอดจนตำราเกี่ยวกับอาคารสูงต่าง ๆ

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จากโครงงานพิเศษนี้ จะช่วยให้ทราบถึงข้อสรุปของพฤติกรรมของระบบที่ได้ศึกษา วิธีการคำนวณออกแบบเบื้องต้น เปรียบเทียบกับวิธีคำนวณอย่างละเอียด ทั้งนี้จะช่วยให้มองเห็นภาพพจน์และพฤติกรรมของอาคารสูงที่ใช้ระบบนี้ดียิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์ในการใช้ในงานออกแบบจริง ตลอดจนถึงการศึกษาต่อด้านโครงสร้างในระดับที่สูงขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

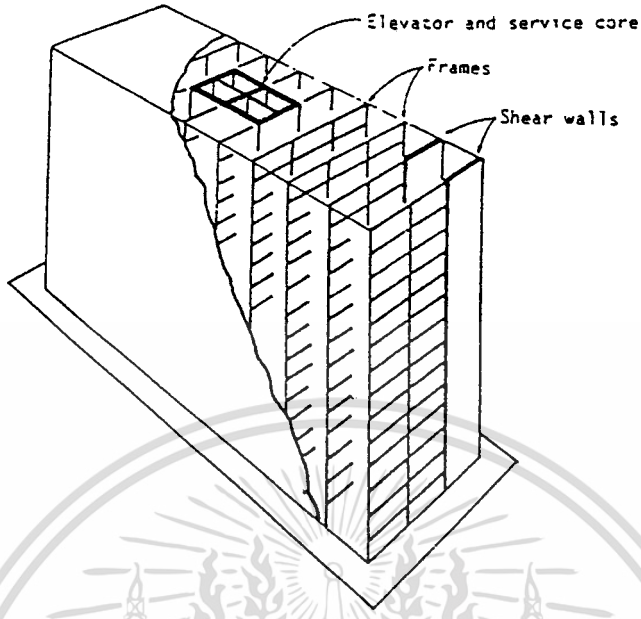
บทที่ 1 ทฤษฎี

พฤติกรรมของ Shear Wall-Frame Interaction เมื่อรับแรงด้านข้าง

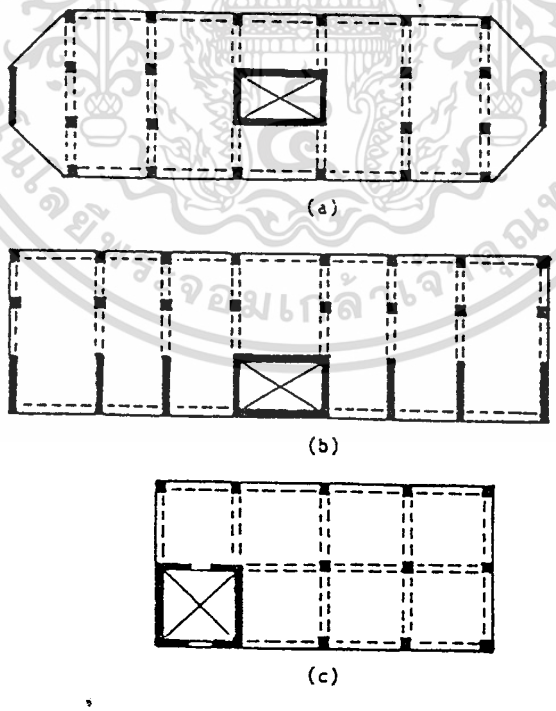
ที่ผ่านมาโดยทั่วไป โครงสร้างที่มีประมาณ 15 ชั้นขึ้นไป การให้ Frame รับแรงด้านข้างจะไม่ประหยัดเนื่องจากต้องการเพิ่มเหล็กเสริมหรือต้องเพิ่มขนาดของเสาและ/หรือคานต่าง ๆ เพื่อรับแรงกระทำที่เพิ่มขึ้น และควบคุมการโย้หรือการไหวรของโครงสร้างให้อยู่ในพิกัด ซึ่งในกรณีนี้มักต้องออกแบบ Shear Wall ช่วยด้วย เมื่อมีความใหญ่เพียงพอ มักมีสติฟเนสมากกว่า Frame มาก เท่าที่ผ่านมาวิศวกรจึงมักออกแบบให้ Shear Wall รับแรงด้านข้างไว้หมดในทางปฏิบัติ และออกแบบให้ Frame รับเฉพาะแรงในแนวดิ่ง แต่เมื่ออาคารมี Shear Wall น้อยเมื่อเทียบกับขนาดของอาคาร หรือเมื่ออาคารมีความสูงมากขึ้นแล้วตามลำพัง Shear Wall หรือ Frame จะไม่พอที่จะรับแรงด้านข้าง จึงต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของระบบทั้งสอง (Shear Wall-Frame interacting) นอกจากนี้การพิจารณาการทำงานร่วมกันของระบบทั้งสองนี้จะสามารถออกแบบได้ประหยัดขึ้น หรืออาจจะสามารถเพิ่มความสูงของโครงสร้างขึ้นได้อีก เมื่อเทียบกับการออกแบบให้ Shear Wall รัยแรงด้านข้างไว้อย่างเดียว

เมื่อโครงอาคารสูงระบบ Shear-Wall รับแรงที่กระทำด้านข้าง การโก่งตัวอิสระ (free deflection) ที่ต่างกันของระบบทั้งสอง จะทำให้เกิดการออกแรงกระทำต่อกันและกันในแนวราบโดยผ่านทางพื้น แรงที่เกิดขึ้นในแต่ละระบบจะมีค่าแตกต่างจากแรงกระทำจากภายนอกโดยจะเปรียบเทียบได้กับแบบจำลองในรูป (2) สปริง k1 และ k2 มีค่าแตกต่างกัน แต่ใช้รับแรง p ร่วมกัน ดังนั้น แรงภายในสปริงแต่ละตัว ก็จะมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าสปริงที่มีค่า k เท่าใด ก็จะรับแรงไว้ ($F = kx$) ตามส่วนของค่า k โดยสปริงที่มีค่า k มากก็จะรับแรงไว้มากกว่า สามารถเปรียบได้กับค่า Lateral stiffness ของ Shear wall และ Frame ระบบใดมี Lateral stiffness เท่าใด ก็จะรับแรงไปตามส่วนของ Lateral stiffness ระบบใดมี Leteral stiffness มากก็จะรับแรงไว้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 โครงอาคารสูงระบบ shear Wall-Frame



รูปที่ 1.2 รูปแปลนของโครงอาคารสูงระบบ Shear Wall-Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

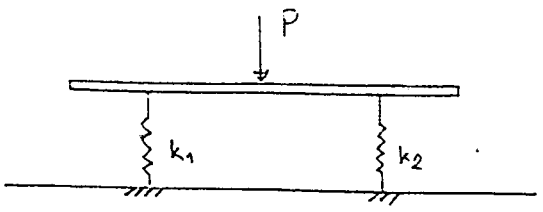
เมื่อลองพิจารณาค่า Lateral stiffness ของทั้งสองระบบที่แยกจากกัน ในอาคารสูงประมาณ 10 ชั้น Shear core (หรือ Shear Wall หลายอันประกอบกันเป็นรูปกล่องปิด) จะมีค่าสติฟเนสสัมพัทธ์ ประมาณ 10 เท่าของ Frame ถ้าอาคารมีความสูงเพิ่มอีกเป็น50 ชั้น Shear Core ขนาดเดียวกันจะมีค่าสติฟเนสสัมพัทธ์ประมาณครึ่งหนึ่งของ Frame การที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ เนื่องจาก Shear Core ประพฤติตนเป็นแบบคานยื่น (Flexural Cantilever)

ค่า Top flexibility ของ shear wall จะแปรผันตรงตามกำลังสามของความสูง ในขณะที่ค่า Flexibility ของ Frame ซึ่งประพฤติตนเป็นแบบ Shear Cantilever จะแปรผันโดยตรงกับความสูง ดังนั้นความสูงจะเป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อค่า Lateral stifness ของ Shear Wall-Frame

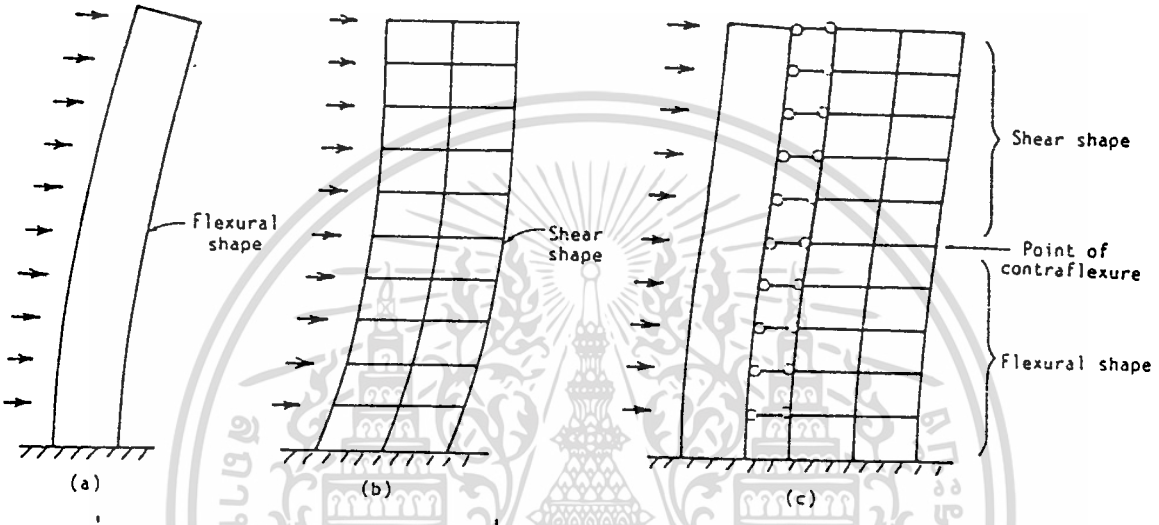
Shear Wall ภายใต้แรงกระทำด้านข้างจะโก่งตัวแบบดัด (bending mode) หรือ Flexural mode คล้ายคานยื่น ส่วน Frame ซึ่งประกอบด้วยเสาและคานจะโก่งตัวในรูปแบบเฉือน (Shear mode) คือจะมีการโย้มากที่ฐาน ซึ่งจะต่างจาก bending mode ซึ่งมีการโย้มากที่ด้านบน เมื่อระบบโครงสร้างต่างกันนี้ อยู่ร่วมกันในอาคาร จะทำให้เกิดการเหนี่ยวรั้งซึ่งกันและกัน เนื่องจากลักษณะการโก่งตัวที่ต่างกันทำให้แต่ละฝ่ายไม่อาจโก่งตัวได้ในรูปแบบตนโดยธรรมชาติผลคือทำให้เกิดการปรับกระจาย (redistribution) ของแรงระหว่างระบบทั้งสอง จะเห็นได้ว่า Frame จะดึงรั้ง Shear Wall ที่ชั้นบน ๆ เนื่องจากเมื่อยิ่งสูง Shear Wall ที่ชั้นบน ๆ ยิ่งอ่อนลง แต่ที่ชั้นล่าง shear wall จะมี stiffness มากจะเหนี่ยวรั้ง การโย้ของโครงข้อแข็ง และรับแรงด้านข้างไว้เกือบทั้งหมด โมเมนต์ดัดในชั้นบน ๆ ใน Shear Wall จะมีค่าเป็นลบซึ่งตรง ข้ามกับชั้นล่าง ๆ ก็เนื่องจากชั้นบน ๆ มีโมเมนต์น้อยและถูกยึดรั้งจาก Frame ส่วนแรงเฉือนใน Frame จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามความสูง แต่ที่ใกล้ ๆ กับฐานจะมีค่าลดลงจนใกล้ศูนย์ ที่ชั้นบนสุดแรงเฉือนจากแรงภายนอกจะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่แรงเฉือนใน Frame จะมีค่าเป็นบวกค่าหนึ่ง ซึ่งจะต้องสมดุลย์กับแรงเฉือนใน Wall ซึ่งต้องมีค่าเป็นลบและมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นจะเกิดแรง Concentrated interaction (QH) ขึ้นที่จุดยอดสุด ของการรับแรงร่วมกันของ Shear Wall และ Frame ดังนั้นแรงดังกล่าวใช้พิจารณาด้วย ในการวิเคราะห์โครงอาคารสูงของระบบ Shear Wall Frame interacting

พฤติกรรมที่อธิบายนี้ จะอธิบายได้ในรูป (3a,3b,3c) และรูป (4a,4b,4c)

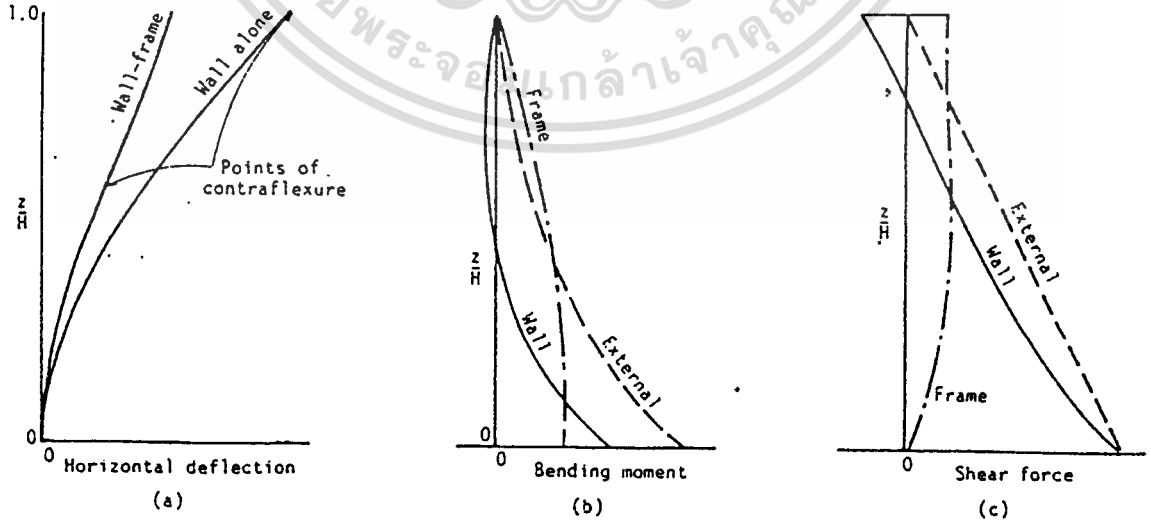
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แบบจำลองการ แบ่งกันรับแรงของสปริง



รูปที่ 3 (a) Shear Wall เมื่อรับแรงด้านข้างแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ (b) Frame เมื่อรับแรงด้านข้างแบบแผ่นกระจายสม่ำเสมอ (c) shear Wall-Frame เมื่อรับแรงด้านข้างแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ



รูปที่ 4 (a) ค่า defection ที่เกิดจากแรงด้านข้างของโครงสร้าง shear Wall-Frame (b) ค่าโมเมนต์คัดที่เกิดจากแรงด้านข้าง (c) ค่าแรงเฉือนที่เกิดจากแรงด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูงระบบ Shear Wall-Frame Interacting

ปัญหาสำคัญที่สุดในการวิเคราะห์คือ จำนวนของ "Degrees of freedom" ซึ่งจะกำหนดให้เป็นรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้าง ซึ่งจะอยู่ในเทอมของตำแหน่งและทิศทางของการกระจัด ซึ่งใช้เป็นตัวไม่ทราบค่าของวิธีการวิเคราะห์แบบ "Component Stiffness method" และเมื่อใช้วิธี Stifness ในการวิเคราะห์จะได้จำนวนสมการเท่ากับจำนวนของ Degree of freedom ดังนั้นในการวิเคราะห์จริงจะมีวิธีที่จะลดจำนวนของ Degree of freedom ดังต่อไปนี้

1) วิเคราะห์โครงสร้างเป็นแบบ 2 มิติ เป็นแบบ Plane Frame แทนการ วิเคราะห์แบบ 3 มิติ หรือ Space Frame

2) ไม่ทำการคิดค่า Axial Deformation ในเสา

3) ไม่ทำการคิดค่า Axial Deformation ในคานของ Plane Frame

4)กำหนดให้คุณสมบัติของ Frames ในเทอมของการโก่งตัวด้านข้างของ Frame นั้นอย่างเดียวเท่านั้น (มี Degree of Freedom 1 ค่า ต่อ 1 ชั้นต่อ 1 Frame)

5)ลด Frame ที่มีหลายช่วงเป็น Frame ช่วงเดียว หรือ รวม Frame หลาย ๆ อันเป็น Frame อันเดียว

6) กำหนดให้พื้นเป็นแผ่นพื้นที่มีความแข็งเป็นอนันต์ในแกนของตัวมันเอง

ในการวิเคราะห์ที่เสนอในโครงงานพิเศษนี้ จะนำเสนอในโครงสร้างที่สมมาตรหรือเกือบสมมาตรในทั้งสองแกน เพื่อให้การกระจายของสติฟเนสสมมาตรและป้องกันการบิดสัมพัทธ์ในชั้นหนึ่งกับอีกชั้นหนึ่ง ในส่วนของแรงลมซึ่งตามคว ามเป็นจริง ผลของแรงลมต่ออาคารมีความสลับซับซ้อนมากขึ้นอยู่กับสภาพอาคารข้างเคียง และความแปรปรวนของภูมิอากาศ แต่ในการวิเคราะห์จะคิดค่าแรงลมเป็นแรงแผ่กระจายสม่ำเสมอ

จากรูป (5) โครงสร้าง Wall-Frame จะกำหนดให้ Wall เป็นผนังเทียบเท่าผืนเดียวต่อเข้ากับโครงข้อแข็งปฏิภาคระนาบหลังเดียว ซึ่งจะต่อเข้าด้วยกันในระนาบเดียวกัน โดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท่งยึด (link) มีลักษณะเป็นจุดหมุนที่ปลายทั้งสองยึดระบบทั้งสองเข้าด้วยกันโดยทำหน้าที่ถ่ายแรงเฉือนระหว่างระบบโครงสร้างทั้งสอง

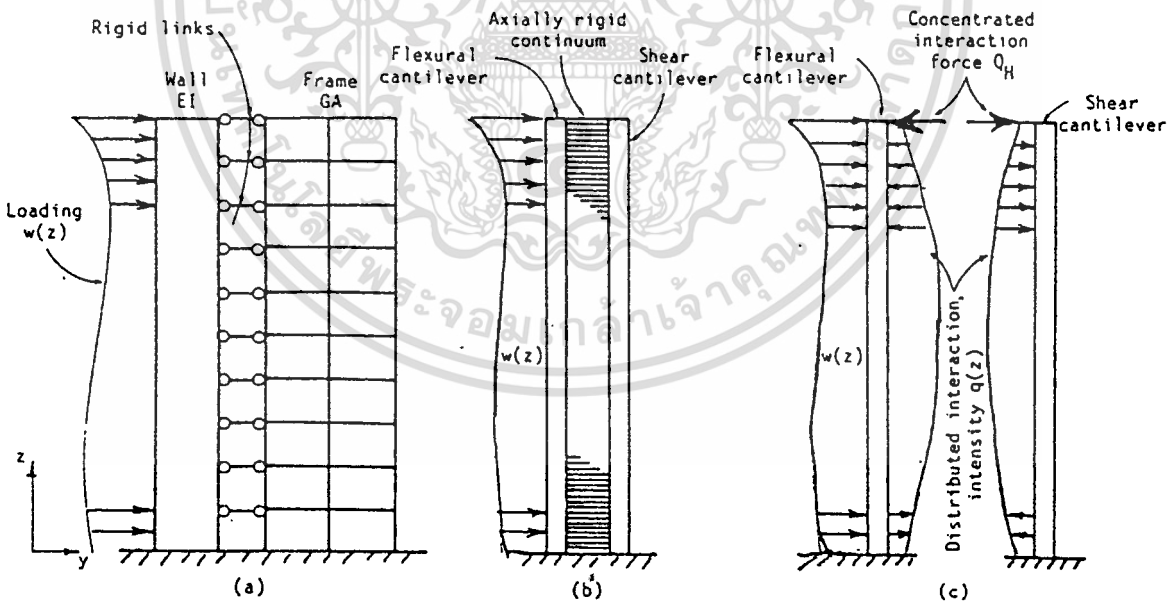
คำตอบจากการวิเคราะห์จะได้จากการสมมติให้โครงสร้างเป็น Continuous mode ซึ่งจะทำให้การโก่งตัวของระบบทั้งสองโก่งตัวเท่ากัน ในระดับเดียวกันและนอกจากนี้ยังมีข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

1) คุณสมบัติของ Wall และชิ้นส่วนต่าง ๆ ของ Frame ต้องคงที่ตลอดความสูง

2) Wall มีพฤติกรรมแบบ flexural cantilevor ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนรูปเนื่องจากโมเมนต์ดัดเท่านั้น

3) Frame มีพฤติกรรมแบบ Continuous Shear Cantilever เกิดการเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงเฉือนเท่านั้น

4) Link จะต้องมีความแข็งมาก ๆ ในแนวระดับ เพื่อใช้ถ่ายแรงเฉือนและควบคุมให้การโก่งของระบบทั้งสองเท่ากัน



รูปที่ 5 (a) แบบจำลองการวิเคราะห์ในแบบ 2 มิติของโครงสร้าง shear Wall-Fram (b) แบบจำลอง Continum analogy (c) Free body diagrams ของ Wall และ Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหา Stiffness ของ Shear wall เพื่อรับแรงด้านข้าง และหาความสัมพันธ์ของระยะโก่งตัวกับแรงในโครงสร้าง

ในอาคารสูงที่ใช้ Shear Wall และ Rigid Frame รับแรงด้านข้างร่วมกัน โดยที่ Shear Wall (หรือ Shear Core ซึ่งเกิดจาก Shear Wall หลาย ๆ ตัวเชื่อมต่อกันเป็นรูปปิด เช่น ปล่องลิฟท์) จะประพฤติตนคล้ายกับคานยื่นขนาดใหญ่ โดยมีฐานยึดแน่นอยู่ที่พื้นดิน เมื่อถูกแรงด้านข้างกระทำ Shear Wall จะโก่งตัวเนื่องจาก bending moment ซึ่งจะอยู่ในพฤติกรรมแบบ Flexural cantilever mode ของการรับแรงร่วม (interactive) กับ Rigid Frame ดังนั้นในการวิเคราะห์หาการโก่งตัว (deflection) ของ Shear Wall ก็สามารถทำได้โดยใช้สมมุติฐานเช่นเดียวกับการโก่งตัวของคาน ดังนี้

1) ก่อนที่ Shear Wall จะรับแรงกระทำด้านข้าง จะสมมติว่า Shear Wall จะอยู่ในแนวตรงระดับเดียวกันกับเส้นแนวดิ่ง

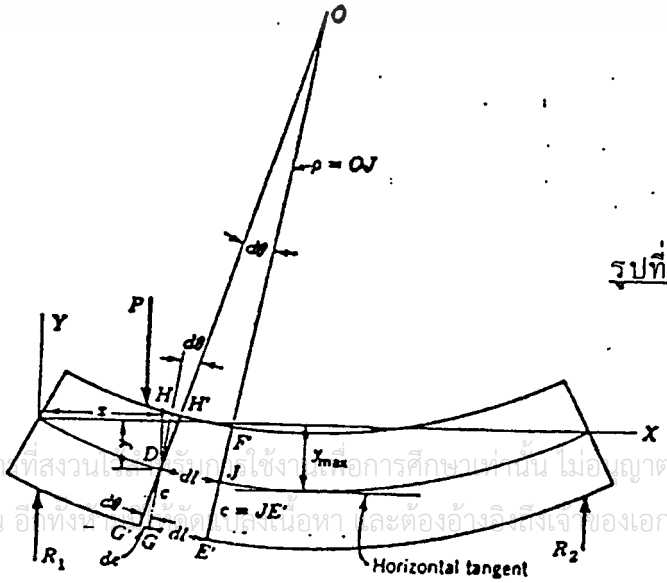
2 การโก่งตัวของ Shear Wall จะคิดเฉพาะเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงด้านข้างอย่างเดียว

3) ระนาบของหน้าตัด Shear Wall ก่อนรับและหลังรับโมเมนต์ดัดจะยังคงเป็นระนาบเดิม

4) หน่วยแรงที่เกิดจากแรงกระทำด้านข้างจะต้องไม่เกินขีดจำกัดยืดหยุ่น

5) การโก่งของ Shear Wall มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความสูงทั้งหมดจากฐาน

การหาสมการเส้นโค้งอิลาสติก (Elastic Curve Equation)สมการเส้นโค้งอีลาสติกเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวที่จุดต่าง ๆ (y) กับระยะตามแนวความสูงของ Shear Wall (z)



รูปที่ 6 การโก่งของคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034885

ในที่นี้ $d\Theta$ = การเปลี่ยนมุมในส่วนของความยาว Shear Wall dl

M = โมเมนต์ดัดในส่วนของความยาว Shear Wall dl

I = โมเมนต์อีเนอร์เชียของหน้าตัด Shear Wall dl

E = โมดูลัสยืดหยุ่นของ Shear Wall

สมการ (2) เป็นสมการเส้นโค้งอิลาสติกของ Shear Wall ซึ่งอธิบายในเทอมของการเปลี่ยนมุม dO ระหว่างเส้นสัมผัสสองเส้นที่ลากสัมผัสกับจุดบนส่วนที่ยาว dl และในเทอมของ M,E,I และ dl

ค่าการเปลี่ยนมุมตลอดความยาวคาน จะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนมุมในแต่ละส่วนของคาน ดังนั้น

$$\Delta\Theta = \int \frac{M dl}{EI} \qquad \text{_____(3)}$$

จากรูป (6) ถ้า 0 เป็นจุดศูนย์กลางของความโค้งของเส้นโค้งอีลาสติกในช่วง dl และให้ ρ เป็นรัศมีความโค้ง (จะมีค่าคงที่ในแต่ละส่วนของเส้นโค้งอีลาสติก)

ในสามเหลี่ยม OJD จะได้

$$dl = \rho d\Theta$$

หรือ $\frac{1}{\rho} = \frac{d\Theta}{dl}$ = ความโค้ง (Curvature)

จากสมการ (2) $d\Theta = \frac{Mdl}{EI}$

หรือ $\frac{d\Theta}{dl} = \frac{M}{EI}$

ดังนั้น $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$ หรือ $\rho = \frac{EI}{M}$ ____(4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาส่วนหนึ่งใน Shear Wall ระยะห่างกัน dl รับแรงกระทำด้านข้างและโก่งตัวตามรูป (6) ลากเส้น HG ให้ขนานกับด้าน F'E' จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงมุม dΘในส่วนของความสูงของ Shear Wall dz, GG' เป็นส่วนยืดของส่วน GE' สมมติว่ามีค่าเท่ากับ dl

เนื่องจากค่าการเปลี่ยนมุมมีค่าน้อย ดังนั้น

มุม $GDG' = d\Theta = \frac{de}{c}$ _____(1)

แต่หน่วยการยืดหดตัว $\varepsilon = \frac{de}{dl}$

หรือ $de = \varepsilon dl$

แทนค่าของ de ลงในสมการ (1) จะได้

$$d\Theta = \frac{\varepsilon dl}{c}$$

จาก $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ จะได้

$$d\Theta = \frac{\sigma dl}{EC}$$

จาก $\sigma = \frac{MC}{I}$ จะได้

$$d\Theta = \frac{MC\ dl}{IEC}$$

หรือ $d\Theta = \frac{Mdl}{EI}$ _____(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (4) จะเห็นว่า ค่าของโมเมนต์ดัดบนหน้าตัดของ Shear Wall เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความโค้งของหน้าตัดนั้น ๆ ดังนั้นถ้า Shear Wall มีหน้าตัดแบบเดียวกันตลอดความสูง และมีโมเมนต์ดัด M คงที่ในช่วงใดช่วงหนึ่งของ Shear Wall ค่าของรัศมีความโค้งก็จะคงที่ด้วยและเส้นโค้งอิลาสติกในช่วงนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของวงกลมในกรณีค่าโมเมนต์ตัดเป็นศูนย์ ค่า ρ จะเป็นอินฟีนิตี้ นั่นคือ ที่จุดดัดกลับศูนย์กลางความโค้งจะอยู่ที่จุดห่างจาก Shear Wall เป็นระยะอินฟีนีตี้

ถ้าตั้งแกนตั้งฉาก x และ y บนคานที่กำหนดให้ ตามรูป (6) จากวิชาแคลคูลัส จะได้

ค่าความโค้ง $\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$

ในที่นี้ ρ = ค่ารัศมีความโค้ง, (x, y)= ออร์ดิเนทของจุดบนเส้นโค้งอีลาสติก สมมติว่าการโก่งของคานมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความยาวคาน ดังนั้นค่าความลาดเอียง dy/dx ก็จะมีค่าน้อยด้วย เมื่อยกกำลังสองของเทอมนี้ จะได้ค่ายิ่งน้อยมาก ซึ่งสามารถตัดทิ้งได้

$$\frac{1}{\rho} = d^2y/dx^2 \qquad \text{(โดยประมาณ)}$$

จาก (2) จะได้

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \qquad (5)$$

แต่ $dm/dx = v$ จะได้ว่า

$$\frac{d^3y}{dx^3} = \frac{V}{EI} \qquad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหา Stiffness ของ Rigid Frame เพื่อรับแรงด้านข้าง และ หาความสัมพันธ์ของระยะโก่งตัวกับแรงในโครงสร้าง

ในการวิเคราะห์หา Stiffnes ของ Frame เพื่อใช้ในการรับแรงด้านข้าง จะเริ่มพิจารณาจากวิเคราะห์ Story dirft ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ (GA) ซึ่งใช้พิจารณาเป็นค่าสติฟเนสในการรับแรงด้านข้าง

เมื่อได้ทำการกำหนดขนาดเบื้องต้นของโครงข้อแข็ง การทดสอบหาค่า drift ของโครงสร้างก็สามารถทำได้ ค่า drift ที่เกิดในโครงข้อแข็งส่วนมากจะมีสาเหตุมาจากการถูกดึงให้ขาด (racking) เนื่องจากแรงเฉือนที่มากระทำ การถูกดึงให้ขาดนี้จะพิจารณาได้ในสองส่วนประกอบ ได้แก่ ส่วนแรกคือการเกิดเนื่องจากการหมุนของจุดต่อ โดยมีสาเหตุจาก doublebendingของคาน ดังรูป (7a)

ในขณะที่ส่วนที่สองมีสาเหตุมาจาก double bending ของเสา ถ้าโครงข้อแข็งมีความสูงชลูดมาก ๆ ค่า drift อาจมีสาเหตุมากจาก overall bending ของโครงข้อแข็ง ดังนั้นค่าการโก่งตัวในแนวแกนของเสา (Axial deformation) จะมีผลเกี่ยวข้องด้วย ดังรูป (7c) ถ้าโครงข้อแข็งมีอัตราส่วนของความกว้างต่อความสูง น้อยกว่า 1:4 ค่า drift ที่มีสาเหตุมาจาก Overall bending มักจะมีค่าน้อยกว่า 10% ของค่า drift รวมทั้งหมดที่เป็นสาเหตุให้โครงข้อแข็งถูกดึงให้ขาดจากกัน ในการวิเคราะห์ต่อไปนี้ จะคำนวณค่า drift ในสามส่วนประกอบ ได้แก่ beam bending , column bending และ overall cantilever action โดยจะสมมติให้จุดดัดกลับจะอยู่ ณ จุดกึ่งกลางของเสา และจุดกึ่งกลางของคาน โดยที่จะให้ค่าของผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงความจริง ณ ชั้นต่าง ๆ ยกเว้นชั้นที่อยู่ใกล้จุดยอดและจุดต่ำสุดของโครงสร้าง

1) <u>Story drift ที่เกิดจาก beam bending</u>

พิจารณาความสูงในชั้นใด ๆ ในส่วนหนึ่งของโครงข้อแข็ง ณ ระดับชั้น i ใด ๆ จะประกอบด้วย line ของคาน และเสาที่มีความสูงครึ่งหนึ่งในแต่ละด้านของแต่ละจุดดังรูป (7) เมื่อสมมติให้เสามีความแข็งมากไม่เกิดการโค้ง (flexural rigid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการหมุนโดยเฉลี่ยในแต่ละจุดจะหาได้โดยประมาณ ดังนี้

$$\Theta_{ig} \sim \frac{\text{โมเมนต์รวมทั้งหมดที่จุดต่าง ๆ รับไว้}}{\text{rotational stiffness ของจุดต่าง ๆ}} \qquad (7)$$

$$\text{โมเมนต์รวมทั้งหมด} = \frac{Q_i h_i + Q_{i+1}(h_{i+1})}{2} \qquad (8)$$

และค่า total rotational stiffness

$$= 6E\left[\frac{I_{g1}}{L_1} + \left(\frac{I_{g1}}{L_1} + \frac{I_{g2}}{L_2}\right) + \left(\frac{I_{g2}}{L_2} + \frac{I_{g3}}{L_3}\right) + \frac{I_{g3}}{L_3}\right]_i$$

$$= \frac{\left[12E \sum (I_g)_i\right]}{L} \qquad (9)$$

จากสมการ (7) ถึง (9)

จะได้ว่า $$\Theta_{ig} = \frac{Q_i h_i + Q_{(i+1)} h_{(i+1)}}{24E \sum (I_g)_i} \qquad (10)$$

$$L$$

ในลักษณะเดียวกันเพื่อที่จะหาค่าการหมุนเฉลี่ยของชั้น (i-1) ที่อยู่ด้านล่าง ดังนั้น ชั้น (i+1) จะแทนด้วย i และ i แทนด้วย (i-1)

จากรูป (7) ค่า drift ในชั้น i ที่เกิดจากการหมุนของจุด ก็คือ

$$\delta_{ig} = \frac{h_i}{2}(\Theta_{i-1} + \Theta_i) \qquad (11)$$

แทนสมการ (10) ลงใน (11) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta_{ig} = \frac{hi}{2}\left(\frac{Q(i-1)h(i-1) + Qihi}{24E\sum(Ig)/L_{i-1}} + \frac{Qihi + Q(i+1)h(i+2)}{24E\sum(Ig)/L_i} \right) \quad \text{(12a)}$$

สมมติว่าคานในชั้น i-1 และ i มีขนาดเท่ากัน ความสูงแต่ละชั้นเท่ากันและค่าเฉลี่ยของ $\frac{Qi+1 + Qi-1}{2} = Qi$ จะได้ว่า

$$\delta_{ig} = \frac{Qihi^2}{12E\sum(Ig)/L_i} \quad \text{(12b)}$$

2) Story drift จาก Column bending สมมติให้ความมีความแข็งมาก(girder rigid) จากรูป (7c) ค่า Rotation stiffness ของ drift เนื่องจาก Column bending

$$= 6E\left(\frac{Ic1}{hi} + \frac{(Ic1+Ic2)}{hi} + \frac{(Ic2+Ic3+Ic4)}{hi} + \frac{Ic4}{hi} \right)$$

$$= 12E\frac{\sum(Ic)_i}{h}$$

ค่าการหมุนที่จุดในชั้น i ใด ๆ คือ

$$\Theta_{ic} = \frac{Qihi}{12E\sum Ic/hi}(hi) = \frac{Qihi^2}{12E\sum Ic/hi}$$

$$\delta_{ic} = \frac{Qihi^3}{12E\sum ci} \quad \text{(13)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Story drift เนื่องจาก overall bending

เนื่องจากค่า drift จาก overall bending มีค่าน้อยมากจึงสามารถละทิ้งได้ ดังนั้นโดยทั่วไปในโครงข้อแข็งจะมีค่า drift รวมทั้งหมด (total drift)

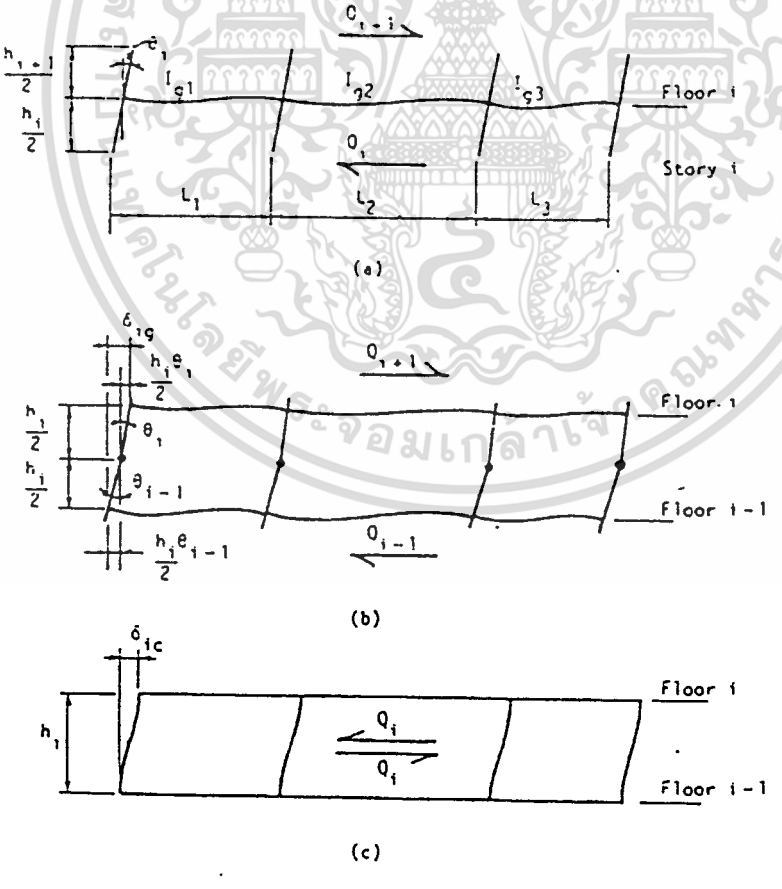
$$\delta_i = \delta_{ig} + \delta_{ic} \qquad \text{(14)}$$

หรือ

$$\delta_i = \frac{Q_i h_i^2}{12E\sum(I_g/L)_i} + \frac{Q_i h_i^2}{12E\sum(I_c/h)_i} \qquad \text{(15.1)}$$

ถ้าให้ $\sum(I_g/L)_i = G_i$; $\sum(I_c/h)_i = C_i$

$$\delta_i = \frac{Q_i h_i^2}{12E}\left[\frac{1}{G_i} + \frac{1}{C_i}\right] \qquad \text{(15.2)}$$



รูปที่ 7 (a) การหมุนของจุดต่อที่เกิดจาก girder flexure (b) Story drift จาก girder flexure (c) Story drift ที่เกิดจา Coumn flexure

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาหาค่า GA (Shear Rigidity)

พารามิเตอร์ (GA) คือ ค่าของสติฟเนสในชั้นของโครงข้อแข็ง ในความสูงเฉลี่ยของชั้นค่าหนึ่ง เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาหาการแบ่งการรับแรงระหว่าง Wall และ Frame ; ความสูงในชั้นหนึ่ง ๆ ของโครงข้อแข็ง โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบให้มีลักษณะคล้ายคานยื่น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับลักษณะของโครงข้อแข็งจริง จะแสดงดังรูป

เมื่อชิ้นส่วนแบบคานยื่น ถูกแรงเฉือน Q กระทำ ค่าของการโก่งตัว (deflection) หาได้โดย

$$\delta = \frac{Qh}{GA} \qquad \text{_____(16)}$$

ดังนั้น ค่า Shear rigidity

$$(GA) = \frac{Qh}{\delta} = \frac{Q}{\varnothing} \qquad \text{_____(17)}$$

คือ มุมเอียงจากแนวดิ่ง นั่นก็คือ (GA) จะอธิบายได้อีกอย่างคือ เป็นค่าของแรงเฉือนที่ทำให้โครงสร้างรับแรงเฉือน มีการเอียงตัวเป็นมุม 1 หน่วย และค่าของ GA อาจหาได้จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ Story drift

$$(GA) = \frac{12E}{h(1+1)} \qquad \text{_____(18)}$$
$$G \quad C$$

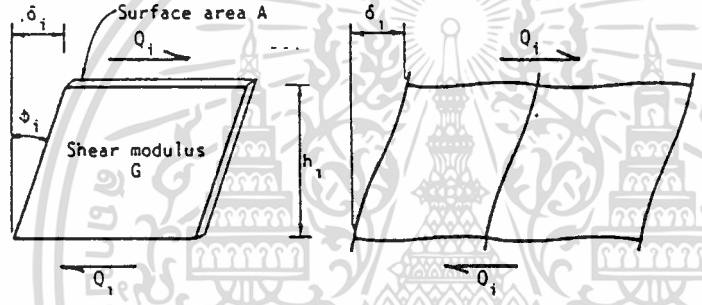
โดย $G = I_g/L$ สำหรับคานในชั้นนั้น

$C = I_c/L$ สำหรับเสาในชั้นนั้น

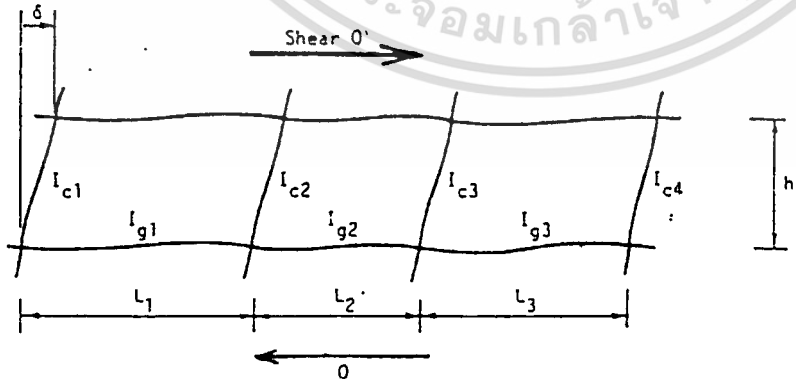
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (17) เมื่อแทน ด้วย y (ค่าการโก่งตัวในแนวราบ) และแทน h ด้วย z (ซึ่งค่าความสูง และ Q คือ แรงเฉือน จะได้ความสัมพันธ์ว่า การเปลี่ยนแปลงของแรงเฉือนต่อความสูง เท่ากับ (GA) คูณด้วย การเปลี่ยนแปลงการโก่งตัวแนวราบต่อความสูงเขียนได้เป็น

$$dq/dz = (GA)\, dy/dz \quad \text{--- (19)}$$



รูปที่ 8 ความสูงในชั้นหนึ่งของ Shear Wall ซึ่งถูกแรงเฉือน Q_i กระทำโดยมีค่าโมดูลัสความแข็ง (G) และพื้นที่หน้าตัด (A) เปรียบเทียบกับ Frame ที่รับแรงเฉือน Q_i ในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะมีความแข็ง = GA ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ประกอบ



รูปที่ 9 เทอม (GA) จะอธิบายถึงค่าความแข็งของ Frame ที่ต้านการถูกดึงให้ขาด เป็นค่าเฉลี่ยต่อความสูงใน 1 ชั้น หรือนิยามได้ว่า (GA) คือ แรงเฉือนที่ทำให้โครงข้อแข็งเกิดการเคลื่อนที่ในแนวราบ 1 หน่วย ต่อหน่วยความสูง ดังแสดงที่ รูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาแรงในโครงสร้างโดยใช้สมการ differential equation จากรูป (5c) ซึ่งแสดงถึง free body diagram ของ wall และ frame จากแบบจำลองการวิเคราะห์ 2 มิติ จะสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

พิจารณาโครงข้อแข็ง และผนังรับแรงเฉือนแยกจากกัน w และ q จะ เกี่ยวข้องกันคือ จะเป็นการกระจายของแรงภายนอก และการกระจายของแรง interactive ภายในของ wall-frame, Q^H คือ แรงกระทำเป็นจุดใน แนวราบ กระทำ ณ จุดยอดสุดของ wall และ frame

สมการอนุพันธ์ของแรงเฉือนใน flexural member คือ

$$-EI\frac{d^3y}{dz^3} = \int[w(z) - q(z)]dz - QH \qquad \text{_____(20)}$$

และ สมการอนุพันธ์ของแรงเฉือนใน shear cantilever คือ

$$(GA)\frac{dy}{dz} = \int q(z)dz + QH \qquad \text{_____(21)}$$

differentiating (1) และ (2) นำมารวมกัน จะได้

$$EI\frac{d^4y}{dz^4} - (GA)\frac{d^2y}{dz2} = w(z) \qquad \text{_____(22)}$$

หรือ

$$\frac{d^4y}{dz^4} - \alpha^2\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{w(z)}{EI} \qquad \text{_____(23)}$$

โดย $\alpha^2 = (GA) / (EI)$ _____(24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (24) คือสมการอนุพันธ์ของระยะการโก่งของ wall-frame

<u>ผลลัพธ์เมื่อมีน้ำหนักแผ่กระจาย</u> (distributed Loading) เมื่อ ทำการหาคำตอบจากสมการอนุพันธ์ (23) สำหรับน้ำหนักแผ่กระจายที่กระทำ ภายนอกต่อ wall-frame ซึ่ง = w สามารถหาคำตอบได้ดังนี้

$$y(Z) = C_1 + C_2Z + C_3 \cosh Z + C_4 \sinh\alpha Z - \frac{WZ^2}{2EI\alpha^2} \quad \text{_____(25)}$$

เงื่อนไขของการหาค่าคงที่ C_1, C_2, C_3, C_4 คือ

(1) มีการยึดแน่นที่ฐาน

$$y(0) = \frac{dy(0)}{dz} = 0 \quad \text{_____(26)}$$

(2) ใน flexural cantilever มีโมเมนต์เป็นศูนย์จุดยอดสุด

$$Mb(H) = EI\frac{d^2y}{dz^2} = 0 \quad \text{_____(27)}$$

(3) แรงเฉือนลัพธ์ = 0 ที่จุดยอดสุดของโครงสร้าง

$$EI\frac{d^3y(H)}{dz^3} - (GA)\frac{dy(H)}{dz} = 0 \quad \text{_____(28)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การแก้สมการอนุพันธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้าง

$$EI\frac{d^4y_4}{dz} - \alpha^2\frac{d^2y_2}{dz} = W(z)$$

ทำการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในสมการ Laplae transform

$$S^4\,Y(s)-S^3\,y(o)-S^2y(o)-sy''(o)-y''(o)-\alpha^2[S^2Y(S)-Sy(o)-y'(o)]=\frac{w(s)}{EI}$$

จัดพจน์ใหม่

$$Y(s)\,[S^4-\alpha^2S^2]-y(o)[S^3-\alpha^2S]-y'(o)[S^2-\alpha^2]-Sy''(o)-y'''(o)]=\frac{W}{S\,EI}$$

หาค่าของ Y (s) โดยการย้ายข้างสมการ และนำ $[S^4-\alpha^2S^2]$ หาร

$$Y(s)=\frac{w}{S^3(S^2-\alpha^2)}+\frac{v(o)}{S}+\frac{v'(o)}{S^2}+\frac{v(o)}{S(S-\alpha^2)}+\frac{v(o)}{S^2(S^2-\alpha^2)}$$

ทำ Patial fraction ของแต่ละพจน์ และหาสัมประสิทธิ์แต้วนำมารวมกัน โดยให้รวม ส.ป.ส ที่มีส่วนเหมือนกันรวมกัน

1. พจน์ $\frac{W}{S^3(S^2-\alpha^2)EI} = \frac{W}{EI}\left[\frac{a_0}{S^3}+\frac{a_1}{S^2}+\frac{a_2}{S}+\frac{B_1S+D_1}{(S^2-\alpha^2)}\right]$

หาค่า ao โดยนำ S^3 ขึ้นไปคูณตลอด และแทน S ในวงเล็บ = o

2. พจน์ $\frac{v''(o)}{S(S^2-\alpha^2)} = \frac{a_3}{S}+\frac{B_2S+D_2}{(S^2-\alpha^2)}$

3. พจน์ $\frac{v(o)}{S^2(S^2-\alpha^2)} = \frac{a_4}{S^2}+\frac{a_5}{S}+\frac{B_3S+D_3}{S^2-\alpha^2}$

เมื่อพิจารณาหา สัมประสิทธิ์ทุกตัวแล้วนำมารวมกัน

$$Y(S)=\frac{a_0}{-EI^{\,2}S^3}+\frac{(a_2+a_3+y(o)+a_5)}{S}+\frac{(y'(o)+a_1+a_4)}{S^2}$$

$$\frac{(B_1+B_2+B_3)S}{S^2-\alpha^2}+\frac{(D_1+D_2+D_3)}{S^2-\alpha^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y(s) = \frac{a_0}{-EI\alpha^2 S^3} + \frac{C_1}{S} + \frac{C_2}{S^2} + \frac{C_3 S}{S^2-\alpha^2} + \frac{C_4}{S^2-\alpha^2}$$

แปลง Laplace Equation กลับเป็นฟังก์ชั่น $y(z)$

$$y(z) = \frac{wz^2}{-EI\alpha^2 S^3} + C_1 + C_2 Z + C_3 \cosh\alpha z + C_4 \sinh\alpha z$$

$$y(z) = c_1 + c_2 z + c_3 \cosh\alpha z + c_4 \sinh\alpha z - \frac{WZ^2}{2EI\alpha^2}$$

จาก เงื่อนไขค่าคงที่

1. $y(o) = o$; $y(o) = c_1 + c_2(o) + c_3 \cosh\alpha(o) + c_4 \sinh\alpha(o) - \frac{WZ^2}{2EI^2}$

$c + c_3 = o$ — ①

2. $dy/dy\ (o) = o = c_2 + c_3 \sinh\alpha(o) + c_4 \cosh\alpha(o) - WZ$

$c_2 + c_4 = o$ — ②

3. $Mb(H) = (EI)d^2y/dz = EI\ C_3 \cosh\alpha H + C_4 \sinh\alpha H - \frac{W}{EI\alpha^2}] = o$

$c_3 \cosh(\alpha H) EI + c_4 \sinh(\alpha H) EI = o$ — ③

4. $(EI)d^3y/dz^2(H) - (GA)dy/dz\ (H) = o$

$= (EI)[C_3 \sinh\alpha H + C_4 \cosh\alpha H] - (GA)\ [C_2 + C_3 \sinh\alpha h + c_4 \cosh\alpha H - \frac{WH}{EI\alpha^2}] = o$

$C_2 - C_3\ (\sinh\alpha H - \alpha^2 \sinh\alpha H) - C_4\ (\cosh\alpha H - \alpha^2 \cosh\alpha H) = \frac{WH}{EI}$

$(\alpha^2 = \frac{(GA)}{EI})$ จาก 1

$C_4\ (1 + \cosh H - \alpha^2 \cosh\alpha H) + C_3 (\sinh\alpha H - \alpha^2 \sinh\alpha H) = \frac{WH}{EI}$ — ④

จาก 1 , 2, 3, 4 จะได้

$$y(z) = \left[\frac{WH^4}{EI} \quad \frac{1}{(\alpha H)^4} \quad \frac{(\alpha H \sinh\alpha H + 1)}{\cosh\alpha H} (\cosh\alpha Z -) - \alpha H \sinh\alpha Z + (\alpha H)^2 [\underline{Z} - \underline{1}(\underline{Z})^2]\right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (26), (27), (28) ใช้หาค่าคงที่ C_1, C_2, C_3, C_4 ซึ่ง จะให้สมการของการโก่งตัว (deflection) คือ

$$y(Z) = \frac{WH^4}{EI(\alpha H)^4} \left[\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H} (\cosh \alpha Z - 1) - \alpha H \sinh \alpha Z + (\alpha H)^2 \left(\frac{Z}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{Z}{H} \right)^2 \right) \right] \quad \text{_____(29)}$$

ฟังก์ชัน H คือคุณสมบัติของโครงสร้าง ของ wall-frame ซึ่ง

$$\alpha H = H \sqrt{\frac{(GA)}{EI}} \quad \text{_____(30)}$$

H จะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของ wall-frame, wall-frame มีค่าของ การกระจายน้ำหนักเหมือนกับการกระจายอย่างสม่ำเสมอของค่า αH ดังนั้น การโก่งตัวจะมีการแผ่กระจายเหมือนกับแรงภายในเช่นกัน

ทำการ differentiate (29) จะได้

The frist derivative คือ

$$\frac{dy(Z)}{dz} = \frac{WH^3}{EI} \left(\frac{1}{(\alpha H)^3} \left(\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H} (\sinh \alpha Z) - \alpha H \cosh \alpha Z + \alpha H \left(1 - \frac{Z}{H}\right) \right) \right) \quad \text{_____(31)}$$

เพราะว่า slope ของโครงสร้างมีค่าสม่ำเสมอตลอดความสูง, $\frac{dy}{dz}$ จะใช้หาค่าของStory drift index ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Second derivative คือ

$$\frac{d^2y(Z)}{dz^2} = \frac{WH^2}{EI}\left(\frac{1}{(\alpha H)^2}\left(\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\cosh \alpha Z) - \alpha H \sinh \alpha Z - 1\right)\right) \quad (32)$$

The Thrid derivative คือ

$$\frac{d^3y(Z)}{dz^3} = \frac{WH}{EI}\left(\frac{1}{(\alpha H)}\left(\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\sinh \alpha Z) - \alpha H \cosh \alpha Z\right)\right) \quad (33)$$

ซึ่งจาก (32), (33) จะใช้หาค่า bending moment และ shear distribution สมการ (31), (32), (33) จะเหมือนกับสมการ (29) คือ มีค่า αH และ $\frac{Z}{H}$ เป็นตัวควบคุมการกระจายของค่า function

การหาแรงใน wall และ frame

1. โมเมนต์ใน wall และ frame; ผนังรับแรงเฉือนมีพฤติกรรมแบบคานยื่นโค้ง ดังนั้น โมเมนต์ดัดของ wall คือ

$$Mb(Z) = EI\frac{d^2y(Z)}{dz^2} \quad (34)$$

ตัว b หมายถึง ผนังรับแรงเฉือน จากสมการ (32) ในกรณีของน้ำหนักแผ่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ของ wall คือ

$$Mb(Z) = WH^2\left(\frac{1}{(\alpha H)^2}\,\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\cosh \alpha Z) - \alpha H \sinh \alpha Z - 1\right) \quad \text{_____(35)}$$

ส่วนโมเมนต์ใน frame ที่รับไว้ในระดับใด ๆ จะเท่ากับโมเมนต์ที่กระทำภายนอก ลบด้วย โมเมนต์ใน wall ดังนั้น โมเมนต์ใน frame คือ

$$Ms(Z) = \frac{W(H - Z)^2}{2} - Mb(Z) \quad \text{_____(36)}$$

ตัว s หมายถึง frame

2. แรงเฉือนใน wall-frame; แรงเฉือนใน wall คือ

$$Qb(Z) = -EI\frac{d^3y(Z)}{dz^3} \quad \text{_____(37)}$$

จากสมการ (33)

$$Qb(Z) = -WH\left(\frac{1}{(\alpha H)}\,\frac{(\alpha H \sinh \alpha H + 1)}{\cosh \alpha H}(\sinh \alpha Z) - \alpha H \cosh \alpha Z\right) \quad \text{_____(38)}$$

แรงเฉือนซึ่ง frame เป็นตัวรับที่ระดับใด ๆ จะเท่ากับแรงเฉือนภายนอก ลบออกจากแรงเฉือนของ wall ที่ระดับนั้น ; ซึ่งแรงเฉือนของ frame คือ

$$Qs(Z) = W(H - Z) - Qb(Z) \quad \text{_____(39)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Qb(Z) หาได้จากสมการ (38)

3. แรงกระทำเป็นจุด Q_H ณ จุดยอดของโครงสร้าง Concentrate inter-active force Q_H แรงนี้จะกระทำในแนวราบ กระทำระหว่างโครงข้อแข็งกับผนังรับแรงเฉือน ณ จุดบนสุด สามารถอธิบายได้จากค่าความชัน ของ dy/dz(H) ที่จุดสูงสุดของโครงสร้าง และจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับแรงเฉือนที่กระทำ ณ จุด เดียวกันด้วย ซึ่งจะได้

$$QF(H) = (GA)\frac{dy(H)}{dz} \qquad \text{_____(40)}$$

แต่เป็นเพราะว่า แรงเฉือนรวมจากภายนอก ณ จุดยอดสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ แรงเฉือนใน Frame จะเท่ากับแรงเฉือนด้านกลับใน wall

$$QW(H) = -EI\frac{d^3y(H)}{dz^3} \qquad \text{_____ (41)}$$

การออกแรงกระทำซึ่งกันและกันในจุดยอดสุดของโครงสร้างระหว่าง wallและ frame จะทำให้เกิดแรงเฉือนชนิดหนึ่งซึ่งก็คือแรง QH นั่นเอง

จากสมการ (29) ถึง (41) จะแสดงให้เห็นถึงสมการอนุพันธ์ของค่า การโก่งตัว, โมเมนต์ และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นใน wall และ frame ซึ่งเกิดจากแรงแผ่กระจายสม่ำเสมอ แรงที่เกิดใน wall จะใช้ในการออกแบบผนังรับแรงเฉือน ส่วนแรงที่เกิดใน Frame นั้นจะกระทำภายนอก Frame จะใช้การวิเคราะห์ต่างหากแยกออกไปเพื่อที่จะกระจายแรงไปสู่ชิ้นส่วนต่าง ๆ ใน Frame โดยใช้วิธีวิเคราะห์โดยประมาณ เช่น วิธี portal สำหรับ Frame เตี้ย และ วิธี frame-moments และวิธี cantilever สำหรับ Frame สูง ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ นอกจากนี้ใน Frame ที่มีความสูงมาก และ Slender มาก ค่าของการโก่งตัวในแนวแกนของเสา (axial deformation of coloims) มีเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

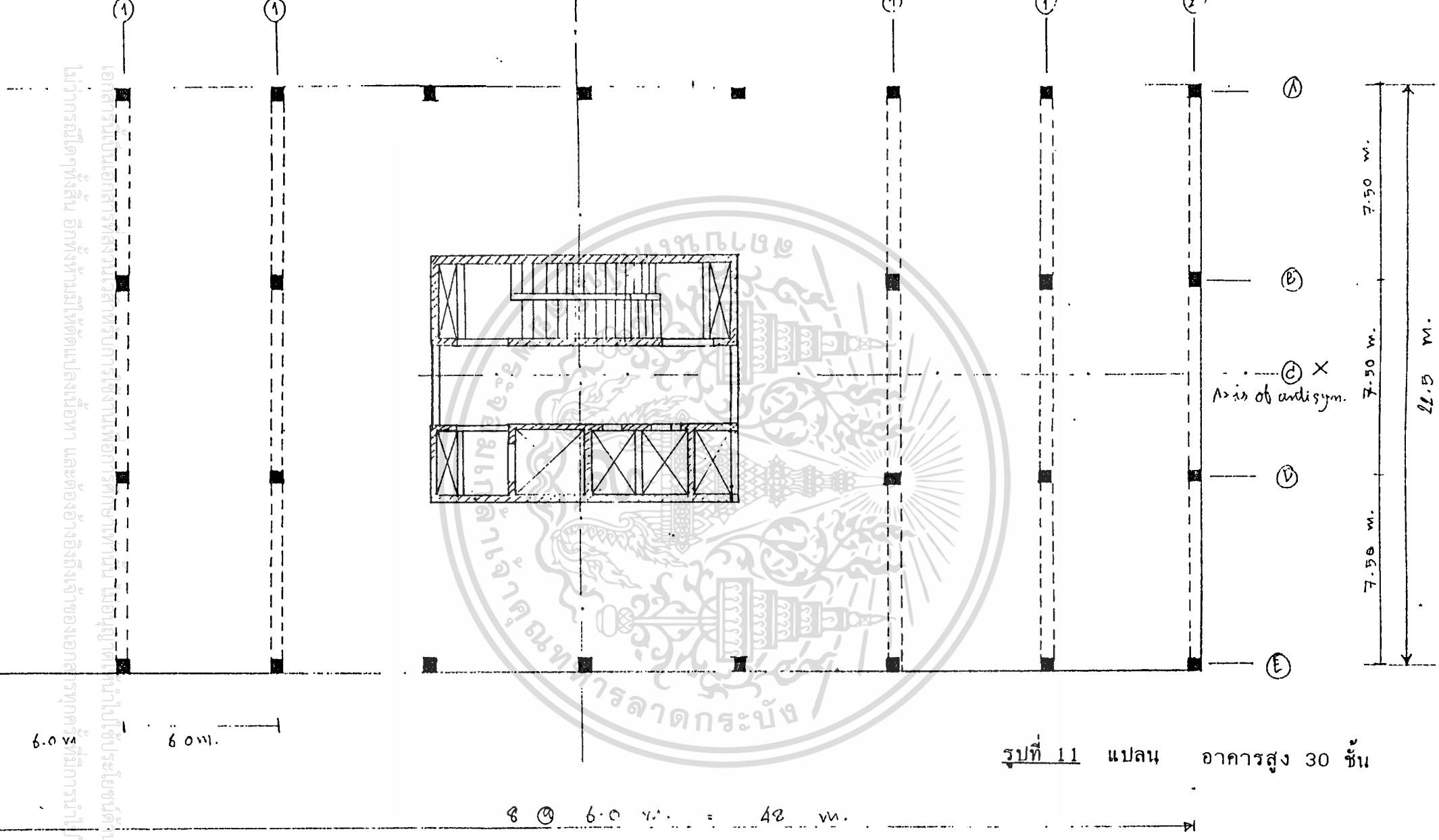
การคำนวณหาแรงในโครงสร้างโดยใช้สมการ Differential Equation จากสมการ (29), (31), (35), (38) สามารถแทนสมการด้วยค่า k_1, k_2, k_3, k_4 เขียนได้เป็น

DEFLECTION	$y(z) = \frac{wH^4}{8EI} K_1(\alpha H. z/H)$ ————	43
Story drift index	$\frac{dy}{dz}(z) = \frac{wH^3}{6EI} K_2(\alpha H. z/H)$ ————	44
Wall bending moment	$M_b(z) = \frac{wH^2}{2} K_3(\alpha H. z/H)$ ————	45
Wall shear	$Q_b(z) = wHK_4(\alpha H. z/H)$ ————	46

จากสมการ (43), (44), (45), (46) นำมาเขียนกราฟ โดยแกนตั้งคือ Z/H และแกนนอนคือค่า k_1, k_2, k_3, k_4 โดยแสดงกราฟที่ค่า H ต่าง ๆ โดยค่า H = O ของ k_3, k_4 จะแสดงถึงค่าโมเมนต์ภายนอก และแรงเฉือนภายนอก ทั้งหมด

จะได้กราฟดังรูปที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แปลน อาคารสูง 30 ชั้น

typical Floor Plan of 30 story building

บทที่ 3

การคำนวณออกแบบ

ในตัวอย่างการคำนวณออกแบบของโครงงานพิเศษนี้ จะใช้อาคารสูง 30 ชั้น เป็นตัวอย่างการคำนวณออกแบบดังรูปที่ (11) อาคารนี้จะใช้ Shear core ร่วมกับ Frame 6 ตัว รับแรงลมในทิศทางแกน x หรือด้านยาวของอาคาร เนื่องจากเป็นด้านที่มีพื้นที่ปะทะลมมาก และโมเมนต์อีเนอร์เชียของโครงสร้างมีค่าน้อยมากในการรับแรงในแกนนี้ โดยอาคารจะมีความสูงจากฐานถึงยอด 105 เมตร แรงลมใช้จากมาตรฐานของกรุงเทพมหานคร ซึ่งใช้ค่าสูงสุดเท่ากับ 160 kg/m^2

ในการคำนวณออกแบบ จะสมมติขนาดขององค์อาคารต่างๆ ขึ้นมาก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ เมื่อทราบขนาดแรงกระทำทั้งหมดก็จะย้อนกลับมาสมมติขนาดใหม่ เพื่อที่จะหาขนาดที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ประหยัดและรับแรงได้อย่างปลอดภัย แต่ในที่นี้จะเน้นถึงวิธีการคำนวณหาแรงเท่านั้น จึงไม่มีการย้อนกลับไปหาขนาดใหม่

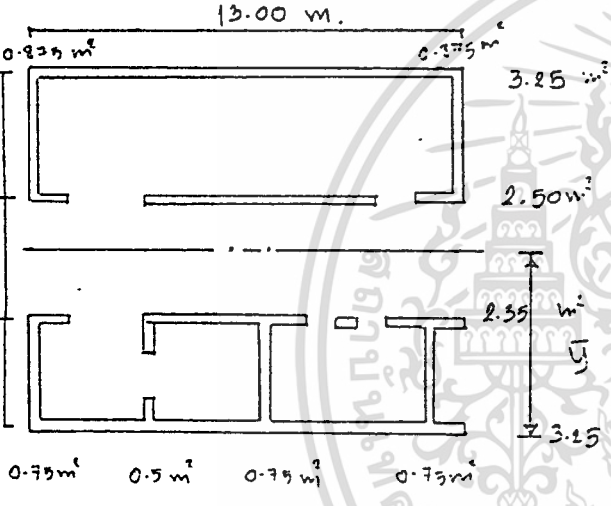
ในส่วนแรกจะคำนวณออกแบบโดยใช้สมการ Differential ตามที่ได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ 2 ในการหาคำตอบสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกใช้การประมาณจากกราฟดังรูป (10) ซึ่งสามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว แต่ค่าจะไม่ละเอียดเท่าที่ควร วิธีที่สอง จะใช้โปรแกรมภาษา Basic ในการคำนวณหาคำตอบ ซึ่งจะทำได้โดยใช้เครื่องคำนวณทั่วไปที่สามารถป้อนโปรแกรมได้ ผลคำตอบจะให้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น

ในส่วนที่สองจะคำนวณออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยจะใช้การคำนวณในระนาบ 2 มิติเช่นกัน แต่จะคิดผลของ Axial Deformantion ด้วย โดยผลที่จะได้จากทั้งสองส่วน จะนำมาเปรียบเทียบกันในรูปของตาราง และกราฟ เพื่อให้เห็นความใกล้เคียงของการคำนวณโดยใช้สมการ Differential และการใช้คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frame type 1	Interior Colum Ixx	Exterior Coum Ixx	Grider Ixx
	(100x100 cm^2) 0.083 m^4	(100x100 cm^2) 0.083 m^4	(30x80 cm^2) 0.0128 m^4

Core Inertia (I_{xx}) (thickness = 25 cm)



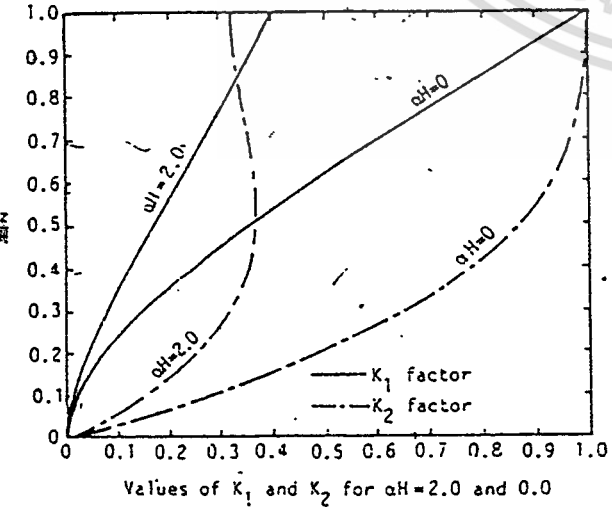
$A = 15.85\ m^2$

$$y = \frac{1}{15.85}[3.25(9.5)+2.50(6.0)+2.35(3)+2(0.875)(7.75)+2.75(1.5)]$$

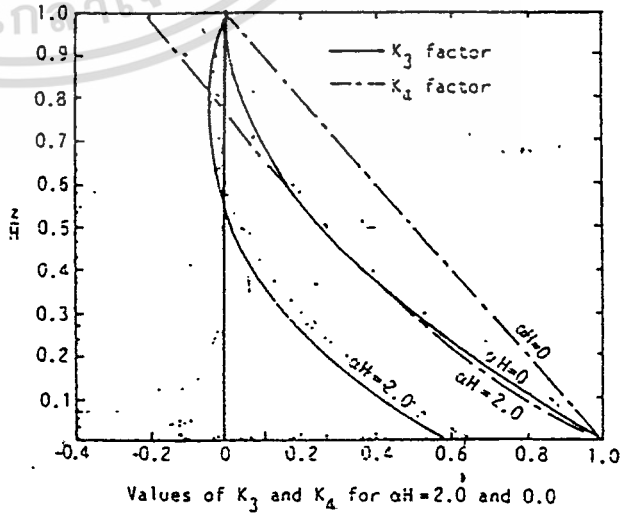
$= 4.45\ m$

$$I = 3.25(5.05)^2+2.50(1.55)^2+2.35(1.45)^2+3.25(4.45)^2+2(0.875)(7.75)^2+2.75(2.95)^2$$

$= 291\ m^4$



(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 10 แสดงค่า k_1, k_2, k_3, k_4 ณ Z/H ระดับต่าง ๆ

∴ Core Inertia = 291 m^4

Elastic Modulus (E) = 2.0×10^7 kn/m^2

Wind Pressure = 1.60 kn/m^2

hight = 150 m. (30 story)

ขั้นตอนการคำนวณ

1. หาค่า Paramiter αH

a) ทำการหาค่า flexural rigidity (EI) ของทั้งกำแพงและผนักรับแรงเฉือนทั้งหมดในกรณีนี้ หาเฉพาะของ Core

$I_{core} = 291 \ m^4$

$(EI)t = 2.0 \times 10^7 \times 291$

$= 5.82 \times 10^9 \ kn/m^2$

b) หาค่า Shear rigidity (GA) ของโครงข้อแข็งโดยใช้สมการ (2.26)(2.27) แล้วทำการรวมค่า GA ทั้งหมด คือ (GA)t ซึ่งในโครงสร้างนี้มี โครงข้อแข็ง 1 ชนิด

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

$$\text{Frame 1} \quad (GA) = \frac{12 \times 2.0 \times 10^7}{3.5\left[\frac{1}{\frac{3 \times 0.0128}{7.5}} + \frac{1}{\frac{[2(0.83+0.050]}{3.5}}\right]}$$

$$= 3.28 \times 10^5 \ kn$$

$$(GA)t = \Sigma(GA) = (6 \times 3.28) \times 10^5$$

$$(GA)t = 19.68 \times 10^5 \ kn$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c) ค่าที่ได้จาก a) และ b) ใช้นำมาหาค่า αH โดย

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

$$\alpha H = 105\sqrt{\frac{19.68x10^5}{5.82x10^9}}$$

$$\alpha H = 1.93$$

สำหรับการวิเคราะห์ซึ่งเกิดจาก แรงกระทำแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ (UniformlyLoad) จะกระทำในขั้นตอนต่อไป

2. ประมาณค่า Horizontal Displacement

การหา displacement ณ ความสูง Z จากฐานหาได้จากการแทนค่า αH และ Z/H ลงในสมการ (29) หรือจะดัดแปลงโดยหาค่า k1 ซึ่งหาได้จากค่า αH, Z/H โดยใช้รูป A2.1 และแทนในสมการ

$$y(Z) = \frac{WH^4}{8(EI)t}\, k1(\alpha H, Z/H)$$

แรงลม $W = 1.60 \times 48$

$= 76.8$ kn/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ จุดสูงสุดของโครงสร้าง

Z/H = 1.0 และ k1 = 0.42

ค่า deflection ณ จุดสูงสุดของโครงสร้าง

$$y(H) = \frac{76.8 \times (105)^4}{8 \times 5.42 \times 10^9}$$

$$= 0.0841 \text{ m.}$$

ค่า deflection ในชั้นอื่น ๆ จะแสดงได้ในตาราง และกราฟดังรูป (13)

3. ประมาณค่า Maximum Story Drift Index

หารหา Maximumn story drift Index จะใช้ค่า αH หาค่า k2 จากรูป 10 และแทนในสมการ

$$\frac{dy}{dz}(max) = \frac{WH^3}{6(EI)t} k2(max)$$

จากโครงสร้างนี้, k2(max) ~ 0.39 ที่ความสูง Z/H ประมาณ ~ 0.55

$$\frac{dy}{dz}(max) = \frac{76.8 \times (105)^3 \times 0.39}{6(5.42 \times 10^9)}$$

$$= 0.00098 \text{ หรือ } \frac{1}{1020}$$

4. ประมาณค่า Bending Moment ใน Wall และ Frame

a) โมเมนต์ทั้งหมดที่รับโดย Wall หาได้โดยใช้ค่า αH และ Z/H เพื่อหาค่า k3 และแทนลงในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Mb(z) = \frac{WH^2}{2} k3\ (\alpha H, Z/H)$$

ตัวอย่างเช่น , ที่จุดกึ่งกลางของชั้นที่ 9 (Z = 29.75 m. , Z/H , 0.283)
หาค่า K3 จากกราฟ ~ 0.19

$$Mb = \frac{76.8(105)^2 \times 0.19}{2}$$

$$Mg = 8.04 \times 10^4 \text{ knm.}$$

b) โมเมนต์ทั้งหมดที่รับโดยกลุ่ม Frame ณ ระดับ Z จากฐาน จะเท่ากับผลต่างของโมเมนต์ภายนอกทั้งหมด กับโมเมนต์รวมทั้งหมดใน Wall

$$Ms(z) = \frac{W(H-Z)^2}{2} - Mb(z)$$

∴ ณ จุดกึ่งกลางชั้นที่ 9 โมเมนต์ที่รับโดย Frame จะได้โดย

$$Ms = \frac{76.8(105-29.75)^2}{2} - 9.31 \times 10^4$$

$$= 1.37 \times 10^5 \text{ knm.}$$

โมเมนต์ใน Frame แต่ละตัว หาได้โดยกระจายโมเมนต์รวมของกลุ่ม Frame ทั้งหมดไปตามค่าของ Rigidity ของ Frame แต่ละตัว

โมเมนต์ใน Frame type 1

$$= \frac{1.37 \times 10^5}{5} = 2.74 \times 10^4 \text{ kn.m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย interior frame รับไว้ 2.74×10^4

Exterior frame รับไว้ 1.37×10^4

5 ประมาณค่าแรงเฉือนใน Wall และ Frame

a)แรงเฉือนรวมทั้งหมดในWall ณ ระดับความสูง Z จากฐาน หาได้จาก

$Qb(z) = WHk4(\alpha H, Z/H)$

เช่น ณ จุดกึ่งกลางชั้น 18 (Z = 61.25 m, Z/H = 0.583) k4 ~ 0.18

$Qb = 76.8 \times 105 \times 0.18$

$= 1.44 \times 10^3$ kn

b) แรงเฉือนรวมทั้งหมดใน Frame ณ ระดับความสูง Z จากฐาน จะหาได้จากผลต่างของแรงเฉือนรวมทั้งหมดจากภายนอก กับ แรงเฉือนใน Wall ณ ระดับนั่น

$Qs(z) = W(H-Z) - Qb(z)$

ณ จุดกึ่งกลางชั้น 18 (Z = 61.25 m , Z/H = 0.583)

$Qs = 76.8 (105 - 61.25) - 1.44 \times 0^3$

$= 1.92 \times 10^3$ kn

แรงเฉือนใน Frame แต่ละตัว หาได้โดยกระจายค่าแรงเฉือนไปตามค่า Rigidityของ Frame แต่ละตัว

แรงเฉือนใน Frame type 1 $\frac{1.92 \times 10^3}{} = 3.84 \times 10^2$ kn

Interior Frame รับไว้ 3.84×10^2 kn

Exterior Frame รับไว้ 1.92×10^2 kn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาษา Basic สำหรับเครื่องคำนวณ เพื่อใช้หาค่า k_1, k_2, k_3, k_4, y dy/dz, Mb Ms, Qb และ Qs

For Deflection

```
10  VAC
20  PRT "FOR K1"
30  IF  X$ = "Y" ; END
40  INP "ENTER A*H", A
50  INP "ENTER Z/H", Z
60  K = (A*HSN (A) + 1)/HCS(A) * (HCS(A*Z)-1)
70  K = K-A*HSN (A*Z) + (A) 12 * (Z-1/2 * Z12)
80  K = K*8/(A)14
90  PRT "k1 = : " ;k
100 INP "W", W
110 INP "H", H
120 INP "E", E
130 INP 'T, I
140 Y = W*H  4/(8*E*I) *K
150 PRT "Y(Z) = : ; Y
160 INP " DO YOU WANT TO COUT', X$ : GOTO 20
```

For story drift Index

```
10 VAC
20 PRT "FOR k2"
30      X$ = "Y" ;END
40 INP "ENTER A*H", A
50 INP "ENTER Z/H", Z
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
60  K =((A*HSN A+10/HCS A*HSN(A*HSN(A*Z) - A*HCS(A*Z)+A*(1-2)*6/(A) 3
70  PRT "k2 =:  " ;k
80  INP "W",W :INP "H" , H:INP "E",E:INP "I" ,I
90  D = W * (H 3)/(6*E*I) *k
100 PRT "D(Z) = : ";D
110 INP "DO YOU WANT TO CONT", X$ :GOTO 20
```

For Moment in shear core & frame

```
10  VAC
20  PRT "FOR k3"
30  IF  X$ = "Y" ; END
40  INP "ENTER A*H", A
50  INP "ENTER Z/H", Z
60  K = 2/A 2 * ((A*HSN A + 1)/HCS(A) * (HCS(A*Z)-A*HCS(A*Z)-1)
70  PRT "k3 = : " ;k
80  INP "W",W :INP "H" , H
90  M = W * (H 2)/2 *k
100 PRT "MB = : ";M
110 INP "Z",Z :M=W(H-Z) 2 - M :PRT" MS = : ";M
120 INP "DO YOU WANT TO CONT", X$ :GOTO 20
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fon Shear in shear core & frame

```
10  VAC
20  PRT "FOR k4"
30  IF  X$ = "Y" ; END
40  INP "ENTER A*H", A
50  INP "ENTER Z/H", Z
60  K = 1/A 2 * ((A*HSN A + 1)/HCS A * HCS(A*Z)-A*HCS(A*Z))
70  PRT "k4 = : " ;k
80  INP "W",W :INP "H" , H
90  Q = W * H *K
100 PRT "QB = : ";Q
110 INP "Z",Z :Q=W(H-Z) 2 - Q :PRT" QS = : ";Q
120 INP "DO YOU WANT TO CONT", X$ :GOTO 20
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

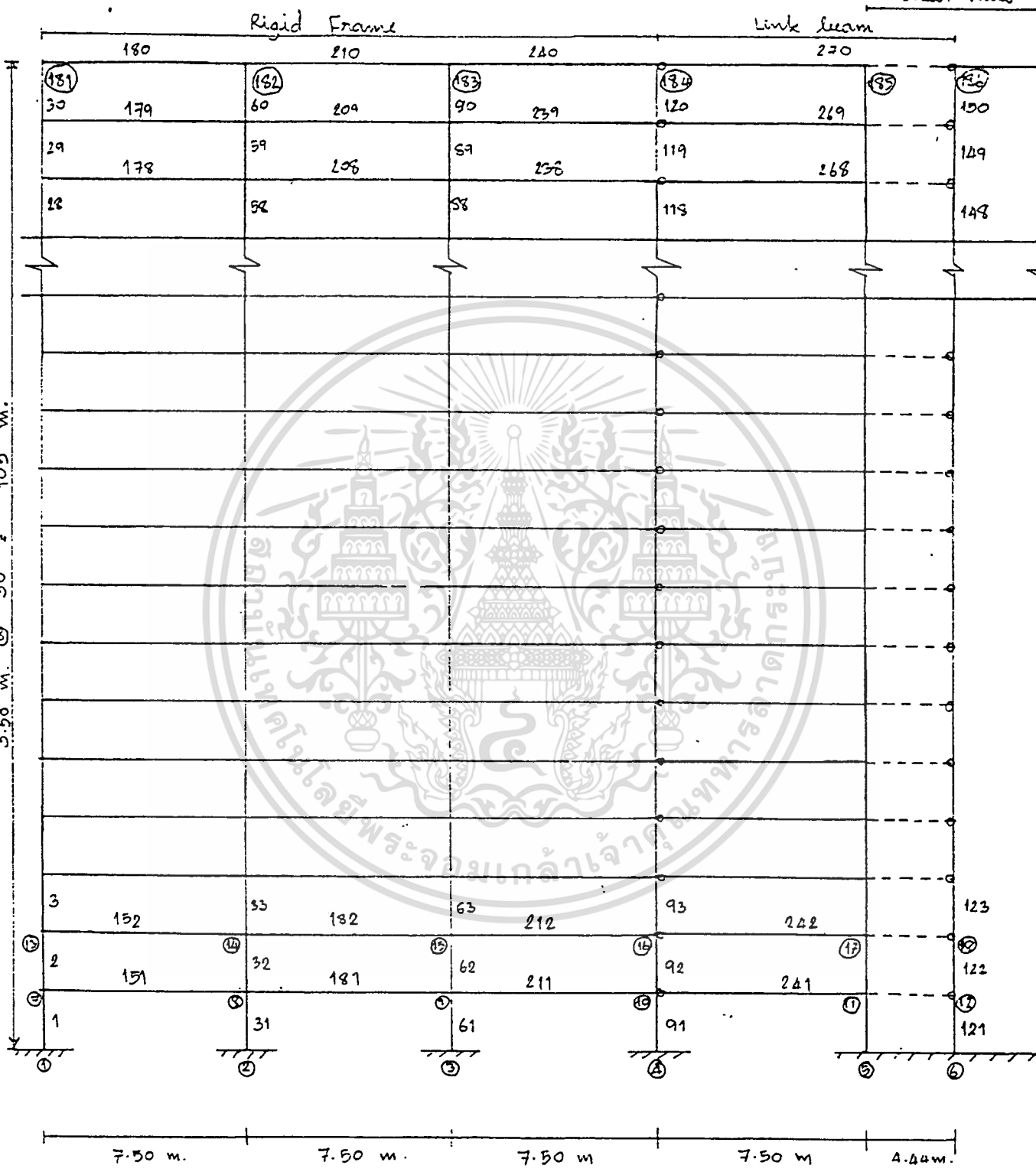
การคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์

ในที่นี้จะใช้โปรแกรม Micro Feap ในการวิเคราะห์ โดยจะใช้พฤติกรรมแบบ 2 มิติ (P-1 module plan Frame/truss/wall system) แต่จะใช้ค่า Axail Deformation ใน Wall ใช้ในการวิเคราะห์ด้วย ผลที่ได้จะมีค่าละเอียดกว่าสมการ Differential ที่ใช้ในตอนแรกในวิธีการวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์นี้ จะใช้ tri-diagonal Stiffness pmetrix ของ Frame แต่ละอันในโครงสร้างและทำการลดค่าและหาความสัมพันธ์กันเพื่อนำกลับมาเป็น Lateral Frame Stiffness และท้ายสุดใช้วิธี Superposition เพื่อทำเป็น Lateral Frame Stiffness ของโครงสร้างโดยสมบูรณ์ทั้งหมด และในที่นี้จะละค่าของ Axial deformation ของคาน

หลักการของโปรแกรม Micro Feap ทำได้โดยจะทำการหาสติฟเนสของส่วนโครงสร้างในหนึ่งชั้น โดยในขั้นแรกจะทำการหาสติฟเนสในแต่ละโครงเดี่ยว ๆ อันหนึ่งในโครงสร้างชั้นนั้น และทำการรวมสติฟเนสของแต่ละโครงเดี่ยวนี้ ๆ เป็น Stiffness Metrixs ที่สมบูรณ์ของโครงสร้างในชั้นนั้น ๆ ในส่วนของโครงสร้างในหนึ่งชั้น "n" ใด ๆ ของFrame ที่ต่อติดกับ Shear Wall ซึ่งจะแสดงถึงส่วนของโครงสร้างในชั้นหนึ่ง ๆ ของFrame ค่าdisplacement ที่เป็นบวกจะมีทั้งหมด 10 ค่า หรือมี degrees of freedom 2 ค่า คือการหมุนและการกระจัดในแนวดิ่ง และเพิ่ม degrees of freedom อีก 1 ค่าของการเคลื่อนที่ในแนวราบของ Shear Wall โดยปราศจากการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม Micro Feap



Material Property	E (kN/m²)	A (m²)	I (m⁴)	G (kN/m²)
Column	2×10^7	6(1) = 6	6(0.083) = 0.498	-
Beam	2×10^7	6(0.24) = 1.44	6(0.0128) = 0.0768	-
Link	2×10^7	$6(10^4) = 60{,}000$	$6(8.3\times10^5) = 5\times10^7$	-
Shear Wall	2×10^7	14.35	291	8.7×10^6

Total node = 186 ; Total Element 270

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 COORDINATE

NODE NO	1-COOR (X)	2-COOR (Y)	NODAL GEN	NODE NO	1-COOR (X)	2-COOR (Y)	NODAL GEN
1	0	0	6	4	22.5	0	6
181	0	105	0	184	22.5	105	0
2	7.5	0	6	5	30.0	0	6
182	7.5	105	0	185	30.0	105	0
3	15	0	6	6	34.4	0	6
183	15	105	0	186	34.4	105	0

NODE NO	1-BOUN (Ux)	2-BOUN (Uy)	3-BOUN (θz)	NODAL GEN
1	L	L	L	1
6	L	L	L	0

2.1 ELEMENT CONNECTIVITY

LEM NO.	1- NODE	2-NODE	NODAL GEN	ELEM NO.	1- NODE	2- NODE	NODAL GEN
1	1	7	6	151	7	8	6
31	2	8	6	181	8	9	6
61	3	9	6	211	9	10	6
91	4	10	6	241	10	12	6
121	6	12	6	270	184	186	0

2.2 HINGE

HINGE CODE	ELEMENT LIST
B	241/270

2.3 MATERIAL PROPERTY

SET NO.	TRUSS		BEAM	WALL	with rigid zone		Element
	E	A	I	G	1-LFT	2-LFT	list
1	2E7	6	0.498				1/120
2	2E7	1.44	0.0768				151/240
3	2E7	6E4	5E7				241/270
4	2E7	14.35	291	8.7E6			121/150

3.1 NODAL APPLIED FORCE

NODE NO	1-FORC (Fx)	2-FORC (FY)	3-FORC (Mz)	NODAL GEN

3.2 NODAL APPLIED DISPLACEMENT

NODE NO	1-DISP (Ux)	2-DISP (Vy)	3-DISP (θz)	NODAL GEN

3.3 ELEMENT LOAD

ELEMENT LIST	CONCENTRATE LOAD			UNIFORM LOAD	
	Px	Py	d	Wx	Wy
1/30				76.8	

Load case 1. Wind Load

use P_1 - MODULE

for the analysis of Plane frame truss/wall system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลคำตอบของค่า Displacement จากโปรแกรม MICRO FEAP

```
================================================================================
   MICROFEAP-P1          DATE: 03-30-1995          (DISP) P.1
PROJECT : 30 story building                      FILENAME: ken
AUTHORITY: CHAIRAT K.                          ENGINEER: athipat
================================================================================
```

****
* *
* DISPLACEMENTS *
* *
****

LOAD CASE #1 : wind load
NODAL DISPLACEMENT (2D-TRUSS/FRAME/WALL SYSTEM)

NODE	1-DISP (m)	2-DISP (m)	3-DISP (Rad)
6	0.0000D+00	0.0000D+00	0.0000D+00
12	4.7934D-04	0.0000D+00	-1.5212D-04
18	1.4708D-03	0.0000D+00	-2.8962D-04
24	2.9056D-03	0.0000D+00	-4.1276D-04
30	4.7343D-03	0.0000D+00	-5.2243D-04
36	6.9110D-03	0.0000D+00	-6.1955D-04
42	9.3943D-03	0.0000D+00	-7.0504D-04
48	1.2146D-02	0.0000D+00	-7.7974D-04
54	1.5130D-02	0.0000D+00	-8.4446D-04
60	1.8313D-02	0.0000D+00	-8.9995D-04
66	2.1666D-02	0.0000D+00	-9.4694D-04
72	2.5159D-02	0.0000D+00	-9.8612D-04
78	2.8767D-02	0.0000D+00	-1.0182D-03
84	3.2467D-02	0.0000D+00	-1.0437D-03
90	3.6237D-02	0.0000D+00	-1.0633D-03
96	4.0057D-02	0.0000D+00	-1.0776D-03
102	4.3911D-02	0.0000D+00	-1.0872D-03
108	4.7784D-02	0.0000D+00	-1.0926D-03
114	5.1661D-02	0.0000D+00	-1.0944D-03
120	5.5531D-02	0.0000D+00	-1.0930D-03
126	5.9384D-02	0.0000D+00	-1.0891D-03
132	6.3212D-02	0.0000D+00	-1.0831D-03
138	6.7009D-02	0.0000D+00	-1.0755D-03
144	7.0770D-02	0.0000D+00	-1.0668D-03
150	7.4493D-02	0.0000D+00	-1.0576D-03
156	7.8176D-02	0.0000D+00	-1.0483D-03
162	8.1819D-02	0.0000D+00	-1.0394D-03
168	8.5426D-02	0.0000D+00	-1.0315D-03
174	8.8997D-02	0.0000D+00	-1.0251D-03
180	9.2542D-02	0.0000D+00	-1.0209D-03
186	9.6068D-02	0.0000D+00	-1.0194D-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลคำตอบของค่าโมเมนต์คัดและแรงเฉือนจากโปรแกรม Micro Feap

```
**************************
*                        *
*  COMBINATION           *
*                        *
**************************
```

STRESS COMBINATION (2D-TRUSS/FRAME/WALL SYSTEM)
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (kn)	SHEAR (kn)	MOMENT (kn-m)
121	4		0.00	0.0000D+00	6.8592D+03	-2.6496D+05
			1.75	0.0000D+00	6.8592D+03	-2.5295D+05
			3.50	0.0000D+00	6.8592D+03	-2.4095D+05
122	4		0.00	0.0000D+00	7.0293D+03	-2.4095D+05
			1.75	0.0000D+00	7.0293D+03	-2.2865D+05
			3.50	0.0000D+00	7.0293D+03	-2.1635D+05
123	4		0.00	0.0000D+00	6.6187D+03	-2.1635D+05
			1.75	0.0000D+00	6.6187D+03	-2.0476D+05
			3.50	0.0000D+00	6.6187D+03	-1.9313D+05
124	4		0.00	0.0000D+00	6.1834D+03	-1.9313D+05
			1.75	0.0000D+00	6.1834D+03	-1.8236D+05
			3.50	0.0000D+00	6.1834D+03	-1.7154D+05
125	4		0.00	0.0000D+00	5.7353D+03	-1.7154D+05
			1.75	0.0000D+00	5.7353D+03	-1.6150D+05
			3.50	0.0000D+00	5.7353D+03	-1.5147D+05
126	4		0.00	0.0000D+00	5.3196D+03	-1.5147D+05
			1.75	0.0000D+00	5.3196D+03	-1.4216D+05
			3.50	0.0000D+00	5.3196D+03	-1.3285D+05
127	4		0.00	0.0000D+00	4.9289D+03	-1.3285D+05
			1.75	0.0000D+00	4.9289D+03	-1.2422D+05
			3.50	0.0000D+00	4.9289D+03	-1.1560D+05
128	4		0.00	0.0000D+00	4.5593D+03	-1.1560D+05
			1.75	0.0000D+00	4.5593D+03	-1.0762D+05
			3.50	0.0000D+00	4.5593D+03	-9.9638D+04
129	4		0.00	0.0000D+00	4.2073D+03	-9.9638D+04
			1.75	0.0000D+00	4.2073D+03	-9.2275D+04
			3.50	0.0000D+00	4.2073D+03	-8.4912D+04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRESS COMBINATION <2D-TRUSS/FRAME/WALL SYSTEM>
LOAD FACTOR : 1

ELEM	NA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (kn)	SHEAR (kn)	MOMENT (kn-m)
130	4		0.00	0.0000D+00	3.8712D+03	-8.4912D+04
			1.75	0.0000D+00	3.8712D+03	-7.8137D+04
			3.50	0.0000D+00	3.8712D+03	-7.1363D+04
131	4		0.00	0.0000D+00	3.5497D+03	-7.1363D+04
			1.75	0.0000D+00	3.5497D+03	-6.5151D+04
			3.50	0.0000D+00	3.5497D+03	-5.8939D+04
132	4		0.00	0.0000D+00	3.2413D+03	-5.8939D+04
			1.75	0.0000D+00	3.2413D+03	-5.3266D+04
			3.50	0.0000D+00	3.2413D+03	-4.7594D+04
133	4		0.00	0.0000D+00	2.9450D+03	-4.7594D+04
			1.75	0.0000D+00	2.9450D+03	-4.2440D+04
			3.50	0.0000D+00	2.9450D+03	-3.7287D+04
134	4		0.00	0.0000D+00	2.6594D+03	-3.7287D+04
			1.75	0.0000D+00	2.6594D+03	-3.2633D+04
			3.50	0.0000D+00	2.6594D+03	-2.7979D+04
135	4		0.00	0.0000D+00	2.3834D+03	-2.7979D+04
			1.75	0.0000D+00	2.3834D+03	-2.3808D+04
			3.50	0.0000D+00	2.3834D+03	-1.9638D+04
136	4		0.00	0.0000D+00	2.1155D+03	-1.9637D+04
			1.75	0.0000D+00	2.1155D+03	-1.5935D+04
			3.50	0.0000D+00	2.1155D+03	-1.2233D+04
137	4		0.00	0.0000D+00	1.8553D+03	-1.2233D+04
			1.75	0.0000D+00	1.8553D+03	-8.9859D+03
			3.50	0.0000D+00	1.8553D+03	-5.7389D+03
138	4		0.00	0.0000D+00	1.6014D+03	-5.7390D+03
			1.75	0.0000D+00	1.6014D+03	-2.9367D+03
			3.50	0.0000D+00	1.6014D+03	-1.3438D+02
139	4		0.00	0.0000D+00	1.3524D+03	-1.3425D+02
			1.75	0.0000D+00	1.3524D+03	2.2326D+03
			3.50	0.0000D+00	1.3524D+03	4.5994D+03
140	4		0.00	0.0000D+00	1.1080D+03	4.5995D+03
			1.75	0.0000D+00	1.1080D+03	6.5387D+03
			3.50	0.0000D+00	1.1080D+03	8.4779D+03
141	4		0.00	0.0000D+00	8.6673D+02	8.4776D+03
			1.75	0.0000D+00	8.6673D+02	9.9943D+03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRESS COMBINATION (2D-TRUSS/FRAME/WALL SYSTEM)
LOAD FACTOR : 1

ELEM	MA	HINGE	SECTION (m)	AXIAL F. (kn)	SHEAR (kn)	MOMENT (kn-m)
141	4		3.50	0.0000D+00	8.6673D+02	1.1511D+04
142	4		0.00	0.0000D+00	6.2770D+02	1.1511D+04
			1.75	0.0000D+00	6.2770D+02	1.2610D+04
			3.50	0.0000D+00	6.2770D+02	1.3708D+04
143	4		0.00	0.0000D+00	3.9034D+02	1.3708D+04
			1.75	0.0000D+00	3.9034D+02	1.4391D+04
			3.50	0.0000D+00	3.9034D+02	1.5074D+04
144	4		0.00	0.0000D+00	1.5396D+02	1.5074D+04
			1.75	0.0000D+00	1.5396D+02	1.5344D+04
			3.50	0.0000D+00	1.5396D+02	1.5613D+04
145	4		0.00	0.0000D+00	-8.1891D+01	1.5613D+04
			1.75	0.0000D+00	-8.1891D+01	1.5470D+04
			3.50	0.0000D+00	-8.1891D+01	1.5326D+04
146	4		0.00	0.0000D+00	-3.2297D+02	1.5325D+04
			1.75	0.0000D+00	-3.2297D+02	1.4761D+04
			3.50	0.0000D+00	-3.2297D+02	1.4197D+04
147	4		0.00	0.0000D+00	-5.7874D+02	1.4196D+04
			1.75	0.0000D+00	-5.7874D+02	1.3183D+04
			3.50	0.0000D+00	-5.7874D+02	1.2171D+04
148	4		0.00	0.0000D+00	-8.8283D+02	1.2171D+04
			1.75	0.0000D+00	-8.8283D+02	1.0626D+04
			3.50	0.0000D+00	-8.8283D+02	9.0804D+03
149	4		0.00	0.0000D+00	-1.1665D+03	9.0809D+03
			1.75	0.0000D+00	-1.1665D+03	7.0393D+03
			3.50	0.0000D+00	-1.1665D+03	4.9976D+03
150	4		0.00	0.0000D+00	-1.4280D+03	4.9978D+03
			1.75	0.0000D+00	-1.4280D+03	2.4990D+03
			3.50	0.0000D+00	-1.4280D+03	2.5000D-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่า Deflection ของโครงสร้าง ณ ชั้นต่าง ๆ เปรียบเทียนผลจากการคำนวณโดยใช้สมการ differential และผลจากโปรแกรม Micro Feap

ชั้น	Z (m)	Z/H	k1	Deflection (m.)	Deflection using Micro Feap (m)
30	105.0	1.000	0.4196	0.08413	0.09606
29	101.5	0.966	0.4041	0.08102	0.09254
28	98.0	0.933	0.3890	0.07799	0.08899
27	94.5	0.900	0.3737	0.07493	0.08542
26	91.0	0.866	0.3579	0.07175	0.08182
25	87.5	0.833	0.3423	0.06864	0.07817
24	84.0	0.800	0.3266	0.06548	0.07449
23	80.5	0.766	0.3102	0.06219	0.07077
22	77.0	0.733	0.2940	0.05815	0.03007
21	73.5	0.700	0.2777	0.05226	0.06321
20	70.0	0.666	0.2606	0.04891	0.05938
19	67.5	0.633	0.2439	0.04554	0.05553
18	63.0	0.600	0.2271	0.04205	0.05166
17	59.5	0.566	0.2097	0.03865	0.04778
16	56.0	0.533	0.1927	0.03526	0.04390
15	52.5	0.500	0.1758	0.03179	0.04005
14	49.0	0.466	0.1565	0.03179	0.03653
13	45.5	0.433	0.1419	0.02846	0.03246
12	42.0	0.400	0.1256	0.02518	0.02877
11	38.5	0.366	0.1091	0.02189	0.02515
10	35.0	0.333	0.0.937	0.01879	0.02166
9	31.5	0.300	0.0788	0.01581	0.01831
8	28.0	0.266	0.0643	0.01290	0.01513

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น	Z (m)	Z/H	k1	Deflection (m.)	Deflection using Micro Feap (m)
7	24.5	0.233	0.0512	0.01027	0.01215
6	21.0	0.200	0.0391	0.00784	0.00939
5	17.5	0.166	0.0279	0.00561	0.00691
4	14.0	0.133	0.0186	0.00373	0.00473
3	10.5	0.100	0.0109	0.00218	0.002905
2	7.0	0.066	0.0049	0.0049	0.00147
1	3.5	0.033	0.00128	2.56×10^{-4}	4.79×10^{-4}
Ground	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าโมเมนต์คัดของโครงสร้าง ณ ชั้นต่าง ๆ เปรียบเทียบผลจากการคำนวณโดยใช้สมการ differential และผลจากโปรแกรม Micro Feap

ชั้น	Z (m.)	Z/H	k3	External bending Moment	bending Moment by using Equation		bending Moment by using Micro Feap	
					Wall	Frame	Wall	Frame
30	105	1	0	0	0	0	0	0
29	101.5	0.966	-0.0133	470	-5,631	6,101	-4,997	5467
28	98.0	0.933	-0.0241	1,882	-10,183	12,064	-9,080	10962
27	94.5	0.9	-0.0327	4,234	-13,853	18,087	-12,171	16405
26	91.0	0.866	-0.0395	7,526	-16,730	24,256	-14,197	21723
25	87.5	0.833	-0.0411	11,760	-18,654	30,414	-15,613	27,086
24	84.0	0.8	-0.0466	16,934	-19,731	36,665	-15,613	32,547
23	80.5	0.766	-0.0471	23,050	-19,960	43,009	-15,074	38,124
22	77.0	0.733	-0.0457	30,106	-19,327	49,443	-13,708	43,814
21	73.5	0.7	-0.042	38,102	-17,852	55,955	-11,511	49,613
20	70.0	0.666	-0.037	47,040	-15,443	62,483	-8,478	55,518
19	67.5	0.633	-0.0289	56,918	-12,231	66,231	-4.599	61,517
18	63.0	0.6	-0.0192	67,738	-8,147	75.885	134	67,604
17	59.5	0.566	-5.4×10^{-5}	79,498	-22.73	79,520	5,739	73,759
16	56.0	0.533	0.0068	92,198	2,902	89,296	12,233	79,895
15	52.5	0.5	0.023	105,840	9,748	96,093	19,637	86,203
14	49.0	0.466	0.042	120,422	17,807	102,615	27,979	92,443
13	45.5	0.433	0.063	135,946	26,638	109,308	37,287	98,659
12	42.0	0.4	0.086	152,410	36,500	115,910	47,594	104,816

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น	Z (m.)	Z/H	k3	External bending Moment	bending Moment by using Equation		bending Moment by using Micro Feap	
					Wall	Frame	Wall	Frame
11	38.5	0.366	0.113	169,814	47,780	122,034	58,959	110,875
10	35.0	0.333	0.141	188,160	59,862	128,298	71,363	116,797
9	31.5	0.3	0.173	207,446	73,108	134,337	84,912	122,534
8	28.0	0.266	0.208	227,674	88,033	139,641	99,638	128,036
7	24.5	0.233	0.245	248,842	103,816	145,025	115,600	133,424
6	21.0	0.2	0.287	270,950	120,944	150,007	132,850	138,100
5	17.5	0.166	0.331	294,000	140,068	153,931	151,470	142,530
4	14.0	0.133	0.378	317,990	160,143	157,846	171,540	146,450
3	10.5	0.1	0.429	342,922	181,790	161,130	193,180	149,810
2	7.0	0.066	0.486	368,794	205,831	162,962	216,350	152,444
1	3.5	0.033	0.546	397,308	230,947	164,659	240,950	156,358
Ground	0	0	0.609	423,360	257,923	165,436	264,960	158,400

(Bending Moment หน่วยเป็น K.N.M.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าแรงเฉือนของโครงสร้าง ณ ชั้นต่าง ๆ

ชั้น	Z (m.)	Z/H	k4	External Shear Force	Shear Force by using Equation		Shear Force by using Micro Feap	
					Wall	Frame	Wall	Frame
30	105	1	0.212	0	-1713	-1713	-1,428	1428
29	101.5	0.966	0.179	269	-1442	1711	-1,428	1697
28	98.0	0.933	0.147	537	-1186	1723	-1,165	1702
27	94.5	0.9	0.166	806	-934	1740	-829	1635
26	91.0	0.866	0.084	1,075	-678	1753	-578	1653
25	87.5	0.833	0.054	1,344	-432	1776	-323	1657
24	84.0	0.8	0.024	1,613	-189	1802	-82	1695
23	80.5	0.766	0.007	1,877	+61	1816	152	1723
22	77.0	0.733	0.0038	2,146	304	1842	390	1756
21	73.5	0.7	0.0679	2,415	548	1876	627	1788
20	70.0	0.666	0.0995	2,684	802	1882	867	1817
19	67.5	0.633	0.130	2,953	1052	1901	1,108	1845
18	63.0	0.6	0.1619	3,222	1306	1916	1,352	1870
17	59.5	0.566	0.195	3,491	1573	1918	1,601	1890
16	56.0	0.533	0.228	3,760	1839	1821	1,855	1905
15	52.5	0.5	0.262	4,029	2112	1917	2,155	1914
14	49.0	0.466	0.298	4,298	2403	1895	2,383	1915
13	45.5	0.433	0.334	4,567	2695	1872	2,659	1908
12	42.0	0.4	0.372	4,836	3000	1836	2,945	1891
11	38.5	0.366	0.12	5,105	3323	1782	3,241	1964
10	35.0	0.333	0.453	5,374	3652	1722	3,549	1780

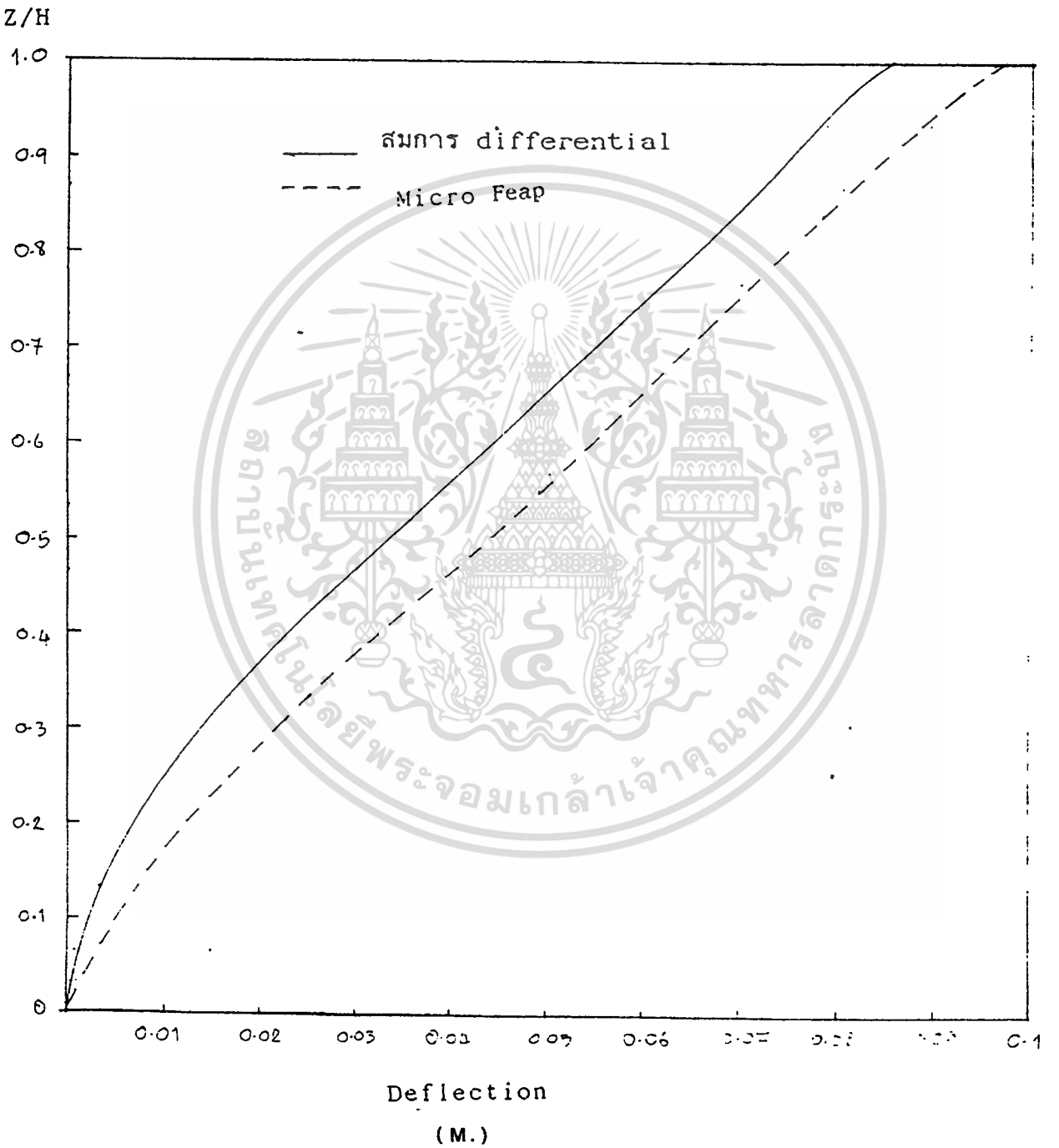
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น	Z (m.)	Z/H	k4	External Shear Force	Shear Force by using Equation		Shear Force by using Micro Feap	
					Wall	Frame	Wall	Frame
9	31.5	0.3	0.500	5,634	3996	1638	3,817	1817
8	28.0	0.266	0.52	5,912	4367	1545	4,207	1705
7	24.5	0.233	0.589	6,181	4375	1446	4,559	1622
6	21.0	0.2	0.674	6,450	5143	1307	4,929	1521
5	17.5	0.166	0.691	6,719	5574	1145	5,319	1400
4	14.0	0.133	0.746	6,988	6016	972	5,735	1253
3	10.5	0.1	0.80	7,257	6482	775	6,183	1074
2	7.0	0.066	0.866	7,526	6990	536	6,618	908
1	3.5	0.033	0.932	7,795	7511	284	7,029	766
Ground	0	0	1	8,064	8064	0	6,859	1205

(Shear Force หน่วยเป็น kn.)

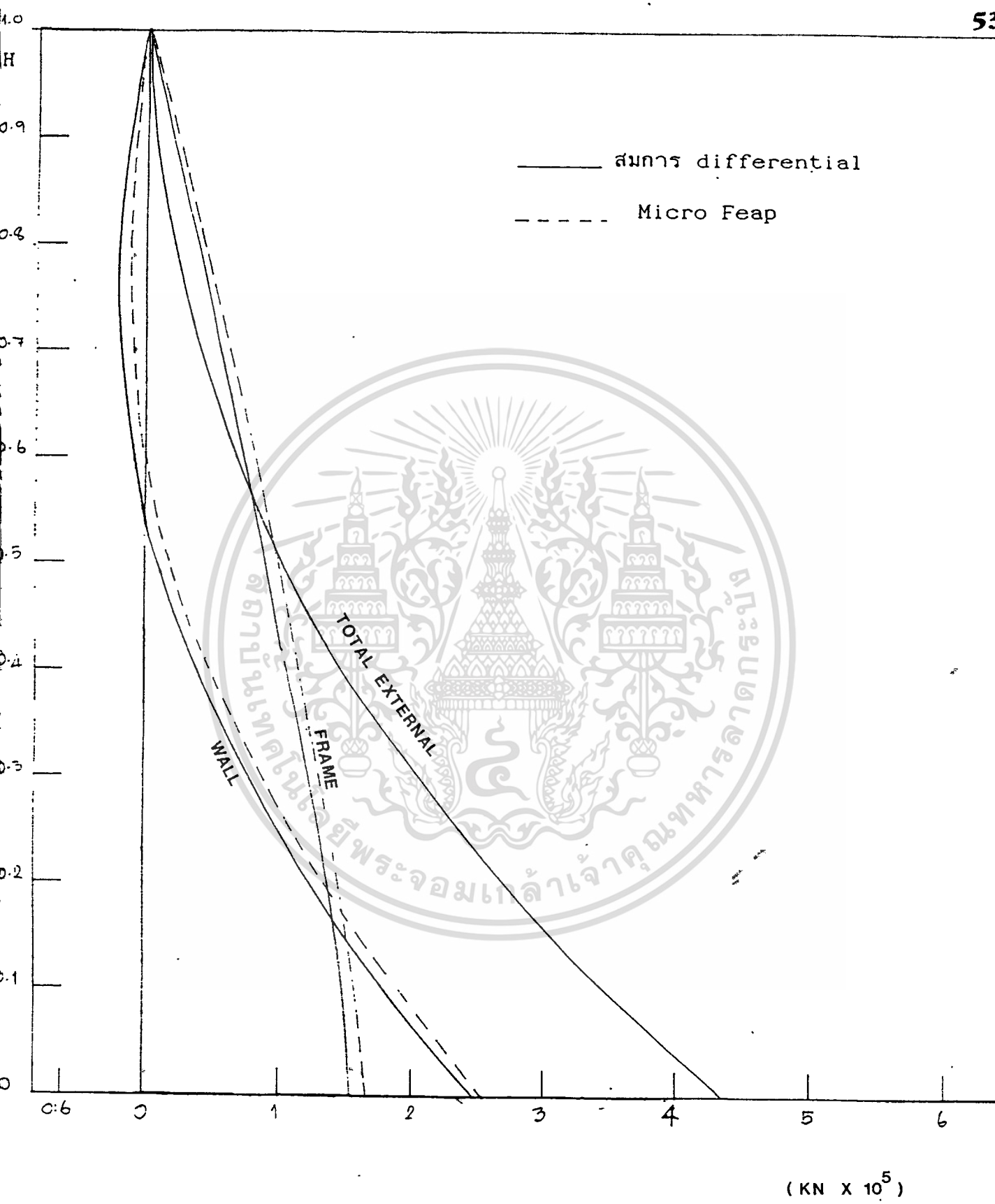
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่า Deflection เปรียบเทียบการใช้สมการ differential และโปรแกรม Micro Feap



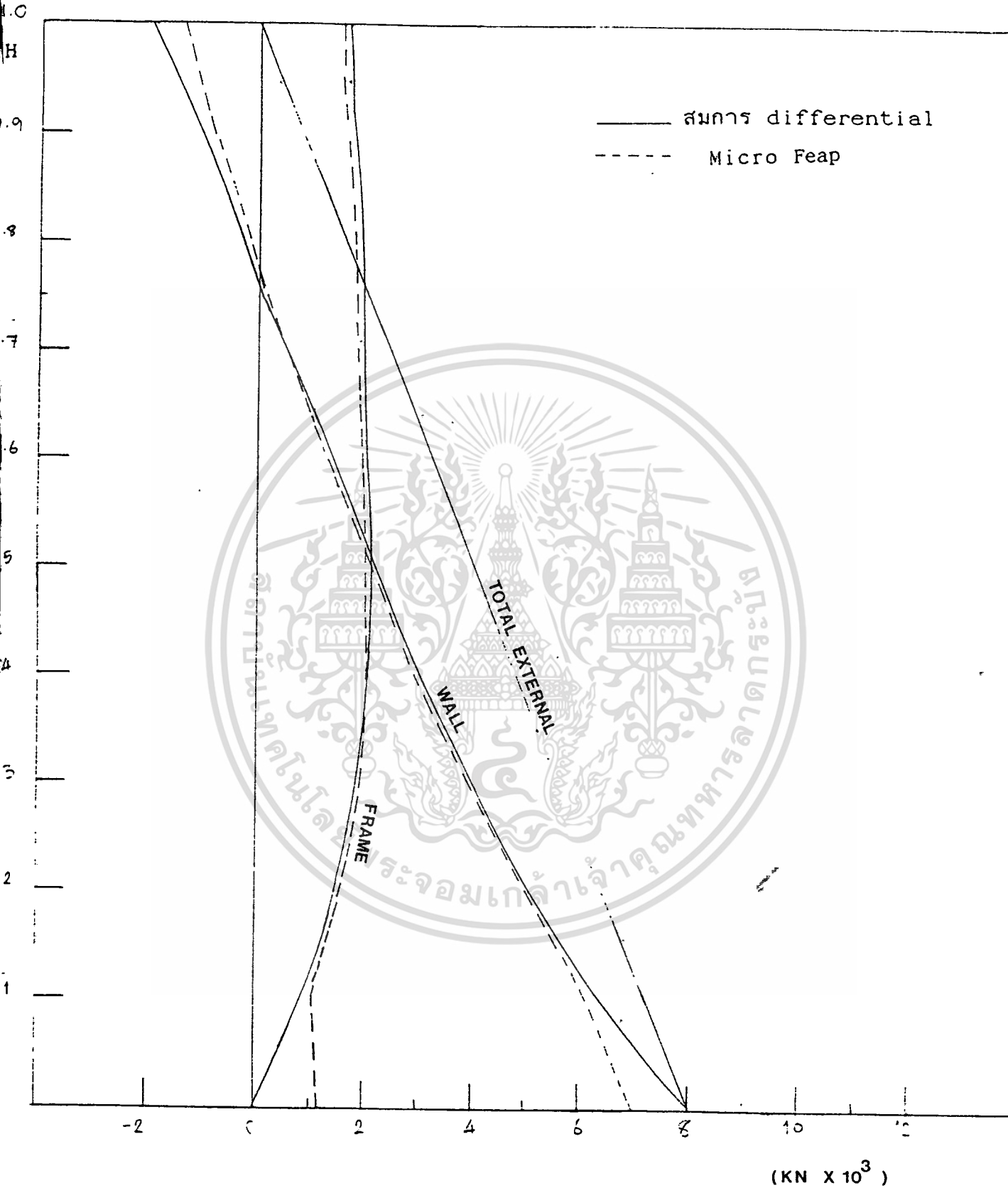
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดเปรียบเทียบการใช้สมการ differential และโปรแกรม Micro



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงค่าแรงเฉือนเปรียบเทียบการใช้สมการ differential และโปรแกรม Micro Feap



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สรุปและวิจารณ์

โครงอาคารสูงเมื่อใช้ระบบ Shear-Wall and Frame Inteeraction ร่วมกันในโครงสร้างเพื่อรับแรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงลม, แรงแผ่นดินไหว จะให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นกว่าการสมมติให้ Shear-Wall รับแรงด้านข้างทั้งหมด โดยในระบบนี้ โครงข้อแข็งในโครงสร้างจะช่วยแบ่งรับแรงจากภายนอกทั้งหมด ซึ่งส่วนใดจะรับแรงเท่าใดขึ้นอยู่กับค่าสติฟเนสของแต่ละส่วน ดังนั้นในอาคารสูงทั่วไปจนถึงอาคารสูงขนาด 50 ชั้น จะนิยมใช้ระบบนี้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ร่วมกันในการรับแรงของทั้งสองระบบ จะทำการหาสติฟเนส โดยที่ Shear-Wall จะประพฤติตนคล้ายกับคานยื่นขนาดใหญ่ จึงเกิดการโก่งตัวแบบคานโค้งเนื่องจากโมเมนต์ดัด (bending mode) ส่วนโครงข้อแข็งจะเกิดการโก่งตัวเนื่องจากแรงเฉือนเป็นสำคัญ (Shear mode) เมื่อทราบความสัมพันธ์ดังกล่าว จะทำการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำทั้งสองระบบมาหาความสัมพันธ์กันในรูปฟังก์ชันของ y (2) คือค่าฟังก์ชันของการโก่งตัว จากนั้นก็จะสามารถหาค่าแรงต่าง ๆ ในโครงสร้างได้ การหาค่าแรงจากวิธีข้างต้นอาจทำการประมาณได้อย่างรวดเร็วด้วยการใช้กราฟ หรือถ้าให้ละเอียดยิ่งขึ้นอาจใช้การคำนวณจากเครื่องคำนวณตามสมควรผลที่ได้ทั้งหมดจะนำมาเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยใช้โปรแกรม Micro Feap เพื่อเปรียบเทียบผลของทั้ง 2 ค่า

ผลของการวิเคราะห์โครงสร้างซึ่งมีความสมมาตรทั้งสองแกน และผลลิดเฉพาะจากแรงลมเพียงกรณีเดียว ผลจากการคำนวณโดยใช้สมการ จะให้ค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ โมเมนต์ดัดในแต่ละระบบ จะมีค่าต่างกันที่ชั้นกลาง ๆ และใกล้เคียงกันในชั้นล่าง ๆ และชั้นบนส่วนค่าแรงเฉือนจะมีค่าเกือบเท่ากันโดยตลอด ส่วน Defleetion ที่จุดบนสุดจะมีค่าต่างกันประมาณ 10% สาเหตุที่ทำให้ผลแตกต่างกันเนื่องจากการใช้สมการไม่ได้คิดค่า Axial defirmation ในเสา ซึ่งในอาคารที่มีความสูงชลูดมากเช่นในอาคารตัวอย่างในที่นี้ ผลมาจาก Axial deformation จะมีมาก เนื่อง tension และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(point of contraflexure) ในสมการสมมติให้เกิดที่กึ่งกลางเสา ซึ่งตามความเป็นจริงอาจจะไม่ได้เกิดที่จุดนี้

และในความเป็นจริง พารามิเตอร์ที่สำคัญอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างได้แก่ การเคลื่อนตัวของฐานราก (Foundation Movement) การกระจายของคุณสมบัติวัสดุความสูง (Variation of properties with height, การโก่งของคานที่เชื่อม Shear Wall เข้าด้วยกัน (Bending of beams adjacent to Shear Wall) ตลอดจนการโก่งตัวในแนวดิ่งของ Shear Wall (Vertical displaclment of Shear Wall) ล้วนมีผลกระทบต่อโครงสร้างทั้งสิ้น แต่การจะศึกษาให้ครอบคลุมทั้งหมด จำเป็นต้องใช้ความรู้ในขั้นที่สูงขึ้น แต่จากผลการคำนวณตามวิธีที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้นับว่าเป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากให้ค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ จึงมีประโยชน์อย่างมากในการออกแบบเบื้องต้นเพราะให้ความรวดเร็วในการออกแบบมาก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

References :

1) Clough, R.W., King, I.P., and Wilson, E.L. "Structural Analysis of Multistory Buildings," Journal of the Structural division, ASCE, Vol 90, ST3, 1964, pp 19-34.

2) Goldberg, J.E., "Analysis of Multistorey Buildings Considering Shear Wall and Floor Deformations", in Tall Building, edited by A.Coull and B.Stafford Smith, Pergamon Press, New York, 1967, pp 349-373.

3) Khan, F.R. and Sbarounis, J.A., "Interaction of Shear Walls and Frames," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol 90, ST3, 1964, pp285-335.

4) Parme, A.L. "Design of Combined Frames and Shear Walls", in Tall Buildings, edited by A.Coull Pergamon Press, New York, 1967, pp 291-320.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้