

การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาเหล็กที่มีแผ่นเอวเป็นลอน
ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

STUDY ON LOADING BEHAVIOUR OF CORRUGATED WEB STEEL COLUMN
USING FINITE ELEMENT ANALYSIS

ชยสิทธิ์ สีหะโสภณ

CHAYASIT SIHSOBHON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อม

และการจัดการงานก่อสร้าง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M-097-171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON LOADING BEHAVIOUR OF CORRUGATED WEB STEEL COLUMN
USING FINITE ELEMENT ANALYSIS

CHAYASIT SIHSOBHON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING PROGRAM IN CIVIL ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION MANAGEMENT
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

KMITL-2023-EN-M-097-171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
แบบรับรองความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาเหล็กที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ด้วย
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

THESIS TITLE

STUDY ON LOADING BEHAVIOUR OF CORRUGATED WEB STEEL
COLUMN USING FINITE ELEMENT ANALYSIS

นักศึกษา

นายชยสิทธิ์ สีหไสภณ

รหัสประจำตัว

63601136

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อมและการจัดการงานก่อสร้าง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

หมายเลขวิทยานิพนธ์

KMITL-2023-EN-M- 097-171

ข้าพเจ้าในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ขอรับรองความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ตามข้อบังคับ
สถาบันว่าด้วย การศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ปี พ.ศ. ๒๕๖๕

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

()

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

วันที่ 23 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



คำสั่งคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่ 1019 /2566

เรื่อง แต่งตั้งกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ นายชยสิทธิ์ สีห์โสภณ

ตามที่ นายชยสิทธิ์ สีห์โสภณ รหัสประจำตัว 63601136 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อมและการจัดการงานก่อสร้าง เรื่อง “การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาเหล็กที่มีแผ่นเอวเป็นลอนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (STUDY ON LOADING BEHAVIOUR OF CORRUGATED WEB STEEL COLUMN USING FINITE ELEMENT ANALYSIS)” โดยมี ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้ตามที่ประชุมคณะกรรมการประจำส่วนงานวิชาการ โดยผ่านการเวียนตามบันทึกข้อความที่ อว 7002(4)/e1518 ในวันที่ 10 ตุลาคม 2566 มีมติแต่งตั้งกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดังนี้

- | | | | |
|------------------|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| 1. ผศ.ดร.ลัดดา | ต้นวาณิชกุล | ประธานกรรมการ | (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกสถาบัน) |
| 2. รศ.ดร.ปรีดา | จาตุรพงศ์ | กรรมการ | |
| 3. ผศ.ดร.อำพน | จรัสจรุงเกียรติ | กรรมการ | |
| 4. ผศ.ดร.ณัฐดนัย | สินสมุทรผดุง | กรรมการ | |
| 5. ผศ.ดร.อาทิตย์ | เพชรศศิธร | กรรมการและเลขานุการ | |

ทั้งนี้ ให้ดำเนินการจัดสอบในวันพุธที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 เวลา 10.00 – 12.00 น. ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมโยธา (แบบ onsite และแบบออนไลน์ Video Call)

สั่ง ณ วันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2566

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาเหล็กที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
นักศึกษา	นายชยสิทธิ์ สีโสมณ
รหัสประจำตัว	63601136
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา สิ่งแวดล้อมและการจัดการงานก่อสร้าง
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นลอน (corrugated-web I-section column) ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยในขั้นตอนแรกแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกตรวจสอบความสามารถต่อผลการทดสอบจริงและผลของแบบจำลองเชิงตัวเลข ในเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง (flat-web I-section column) จากงานวิจัยที่ถูกอ้างอิง ในขั้นตอนที่สองแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของของเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอนจะถูกสร้างและถูกนำมาเปรียบเทียบกับเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง หลังจากนั้นการศึกษาทางพารามิเตอร์ ผ่านความขรุขระของแผ่นเอว, ความขรุขระของแผ่นปีก และหน้าตัดที่มีแนวโน้มจะเกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด ได้ถูกดำเนินไปเพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของค่าอัตราส่วนพารามิเตอร์ต่างๆ ของหน้าตัด ต่อพฤติกรรมการโก่งเดาะ (buckling behaviour) และกำลังรับน้ำหนักสูงสุด (Ultimate load capacity) จากการศึกษาพบว่าในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอนจะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา (overall buckling) จนกระทั่งผ่านจุดรับน้ำหนักสูงสุดของเสา การโก่งเดาะเฉพาะที่ (local buckling) จะเกิดขึ้นในแผ่นปีก และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่ามากกว่าเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ขณะที่ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอนจะยังคงถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่ามากกว่าเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอนอยู่เล็กน้อย จากการศึกษาทางพารามิเตอร์พบว่าในเสาที่เกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอนสามารถให้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดมากกว่าเสาน้ำตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงได้ในบางกรณี

Thesis	Study on Loading Behaviour of Corrugated Web Steel Column using Finite Element Analysis
Student	Mr. Chayasit Sihsobhon
Student ID.	63601136
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering Environmental Engineering and Construction Management
Year	2566
Thesis Advisor	Assistant Professor Arthit Petchsasithon

ABSTRACT

This paper presents the study on the loading behaviour of the corrugated-web I-section column using a finite element model. Firstly, the finite element models were validated against the experimental and numerical results of flat-web I-section column from the reference journal. Secondly, the finite element models of sinusoidal or corrugated web I-section column were created and compared with the results of flat-web I-section column. Then parametric studies through web slenderness, flange slenderness and the cross-section that tends to have an effect of lateral torsional buckling were performed to investigate the influence of different proportions of the section on the buckling behaviour and the ultimate load capacity. It was found that in the column that bending about major axis; the buckling mechanism of corrugated-web I-section columns are controlled by the overall buckling until after the ultimate load, local buckling of the flanges will occur and the ultimate load capacity of flat-web I-section columns are higher than corrugated-web I-section columns, in the column that bending about minor axis; the buckling mechanism of corrugated-web I-section columns are still controlled by the overall buckling and the ultimate load capacity of flat-web I-section columns are slightly higher than corrugated-web I-section columns. In parametric studies, it was found that in the columns under the effect of lateral torsional buckling; the ultimate load capacity of corrugated-web I-section columns can be higher than flat-web I-section columns in some cases.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ให้คำชี้แนะแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อำพน จรัสจรวงเกียรติ และ ผศ.ดร.ณัฐดนัย สิ้นสมุทรผดุง กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์

ขยสิทธิ์ สีหิโสภณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 เสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน.....	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 Flange compactness effects on the behavior of steel beams with corrugated webs [2].....	5
2.1.2 Local buckling of compression flanges of H-beams with corrugated webs [5].....	6
2.1.3 Behavior of steel beams with different web profiles along beam length [3].....	7
2.1.4 Experimental study on lateral-torsional buckling of triangular web profile steel section [10].....	8
2.1.5 Assessment of the suitability of Eurocode design model for corrugated web girders with slender flanges [4]...	9
2.1.6 On the out-of-plane stiffness of I-section girders with corrugated webs using elastic finite element analyses [6].....	10
2.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	10
2.2.1 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การตรวจสอบงานวิจัยอ้างอิง Flexural buckling behaviour and design of duplex and ferritic stainless steel I-section columns [7].....	13
2.2.3 เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน.....	13
2.2.4 การศึกษาทางพารามิเตอร์ (Parametric studies).....	14
2.3 ผลการวิจัย.....	14
2.3.1 การตรวจสอบต่องานวิจัยอ้างอิง Flexural buckling behaviour and design of duplex and ferritic stainless steel I-section columns [7].....	14
2.3.2 เสาหน้าตัดรูปตัวไอ ที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน.....	16
2.3.3 การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านความขะลุขของแผ่นปีก.....	18
2.3.4 การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านความหนาของแผ่นเอว.....	22
2.3.5 การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด.....	24
2.4 สรุปผลการวิจัย.....	28

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณสมบัติของวัสดุ ที่ใช้ใน แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด [9].....	12
2 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา.....	15
3 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง และเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน.....	17
4 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่อความหนาของแผ่นปีกเท่ากับ 15 มม.....	20
5 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่อความ หนาของแผ่นปีกเท่ากับ 20 มม.....	21
6 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่อความหนาของแผ่นเอวเท่ากับ 10 มม.....	23
7 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่ออัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:1.8 1.8, 1:3 และ 1:3.75 และมีระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างจุดรับแรงกับจุดกึ่งกลางเสาเท่ากับ 35 มม.....	27

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1 เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอน (Corrugated web I-section column) [1]	1
2 เสาและคานหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอนในโครงข้อแข็ง (Corrugated web I-section portal frame) [1].....	1
3 การวิบัติในคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน.....	2
4 การโค้งเดาะทั้งเสาและการโค้งเดาะเฉพาะที่ในเสา [7].....	3
5 การทดสอบคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ในการทดสอบแบบ four-point bending test [2].....	5
6 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักและการเสียรูป ในคานที่มีแผ่นปีกแผ่นปีก ชะลุดและไม่ชะลุด [2].....	6
7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงการโค้งเดาะในแผ่นปีกที่รับแรงอัด และอัตราส่วนของหน่วยแรงในแผ่นปีกกลางต่อหน่วยแรงในแผ่นปีกบน [5].....	7
8 คานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง, คานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน และคานที่มีทั้งแผ่นเอวที่เป็น เส้นตรงและแผ่นเอวเป็นลอน ในการทดสอบแบบ four-point bending test [3].....	8
9 คานที่มีแผ่นเอวรูปทรงสามเหลี่ยม ในการทดสอบแบบ four-point bending test [10].....	9
10 การโค้งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีก และการโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด [4]...	9
11 out-of-plane stiffness ในคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและคานที่มีแผ่นเอวเป็น ลอน [6].....	10
12 จุดต่อและเอลิเมนต์ในเสา.....	11
13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	12
14 รูปการทดสอบจริงและทดสอบด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มี แผ่นเอวเป็นเส้นตรง [7].....	13
15 รูปทรงคลื่นไซนในเสา.....	14
16 ฟังก์ชันของรูปทรงคลื่นไซน.....	14
17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักและการเสียรูปในเสาที่รับแรงอัดใน แนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลัก.....	15
18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักและการเสียรูปในเสาที่รับแรงอัดใน แนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง.....	16
19 พฤติกรรมการโค้งเดาะของเสายาว 2.04 เมตร.....	16
20 พฤติกรรมการโค้งเดาะของเสายาว 2.04 เมตร เมื่อแผ่นปีกหนาเท่ากับ 20 มม.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21 พฤติกรรมการโค้งเดาะของเสายาว 2.04 เมตร เมื่อแผ่นเอวหนาเท่ากับ 10 มม.....	23
22 eigenmode ที่มีค่าน้อยที่สุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง.....	25
23 eigenmode ที่มีค่าน้อยที่สุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์.....	25
24 ระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างจุดรับแรงกับจุดกึ่งกลางเสา.....	25
25 การโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1:1.8 ความยาวเสา 2.04 เมตร.....	26
26 การโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1:3 ความยาวเสา 2.04 เมตร.....	26
27 การโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1:3.75 ความยาวเสา 2.04 เมตร.....	27



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงสร้างแผ่นเอวเป็นลอน (Corrugated web profile structure) คือโครงสร้างที่มีรูปทรงของแผ่นเอวเป็นลอน โดยรูปทรงลอนของแผ่นเอวมีหลายแบบ ได้แก่ รูปทรงคลื่นไซน์ (Sinusoidal wave profile), รูปทรงคางหมู (Trapezoidal profile) และรูปทรงสามเหลี่ยม (Triangular profile) โดยทั่วไปโครงสร้างที่มีแผ่นเอวเป็นลอนจะพบเห็นได้น้อยและจะอยู่ในโครงสร้างเสา (รูปที่ 1) และในโครงข้อแข็ง (รูปที่ 2) [1]



รูปที่ 1 เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอน
(Corrugated web I-section column) [1]



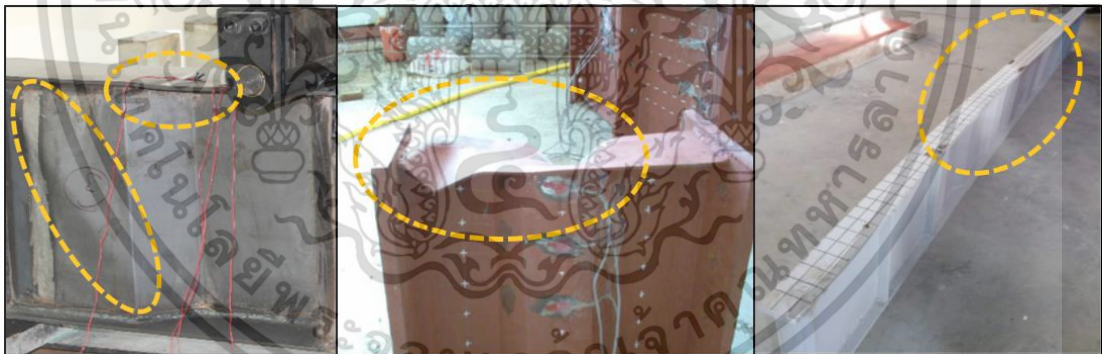
รูปที่ 2 เสาและคานหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นลอนในโครงข้อแข็ง
(Corrugated web I-section portal frame) [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างแผ่นเอวเป็นลอนถูกนำมาเปรียบเทียบกับโครงสร้างแผ่นเอวที่เป็นเส้นตรง (Flat web profile structure) โดยเฉพาะในคาน โดยคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน (Corrugated web beam) จะมีแผ่นเอวที่บางและไม่มีเหล็กเสริมตั้งข้างคาน (Stiffener) ทำให้น้ำหนักโดยรวมของคานน้อยกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง (Flat web beam) ในบางกรณี [2]

คานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน แม้จะมีกำลังรับแรงดัดในแนวแกนน้อยกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง [2,3] แต่ก็ได้มาด้วยซึ่งกำลังในการรับแรงเฉือนที่มากกว่า [3] นอกจากนี้ยังพบว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน มีค่า out-of-plane stiffness ที่สูงกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงในบางกรณี [6,10] ซึ่งค่า out-of-plane stiffness เป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญ ของกำลังต้านการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด (lateral torsional buckling)

คานที่มีแผ่นเอวเป็นลอนจะมีพฤติกรรมการรับแรงคล้ายคลึงกับ Lattice girder กล่าวคือ ภายใต้แรงอัดในแนวแกน (Normal force) หรือแรงดัดในแนวแกน (In-plane bending moment) แผ่นปีก (Flange) จะเป็นส่วนที่รับแรงเป็นหลัก เหมือนกับ Top และ Bottom chord ของ Lattice girder และภายใต้แรงเฉือน (Shear force) แผ่นเอว (Web) จะเป็นส่วนที่รับแรงเป็นหลัก เหมือนกับ Diagonal chord ของ Lattice girder [1] ทำให้พฤติกรรมการวิบัติของคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ได้แก่ การโก่งเดาะในแผ่นเอว (web buckling) และการโก่งเดาะในแผ่นปีก (flange buckling) [3] นอกจากนี้ยังมีการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด [4] (รูปที่ 3)



(ก) การโก่งเดาะในแผ่นเอว (ข) การโก่งเดาะในแผ่นปีก (ค) การโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด
รูปที่ 3 การวิบัติในคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปัจจุบันได้มีงานวิจัยมากมาย ที่ศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะและกำลังรับน้ำหนักสูงสุด (Ultimate load) ของคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ในขณะที่การศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นลอน (Corrugated web column) ยังไม่ได้รับการศึกษาเท่าที่ควร งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะและกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน ในเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลัก (in-plane) และเสาที่รับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง (out-of-plane) นอกจากนั้นจะศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความขรุขระของแผ่นปีกและความขรุขระของแผ่นเอว และโดยเฉพาะการโก่งเดาะทางด้านข้าง เนื่องจากการบิดในเสา ผ่านการปรับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัด

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

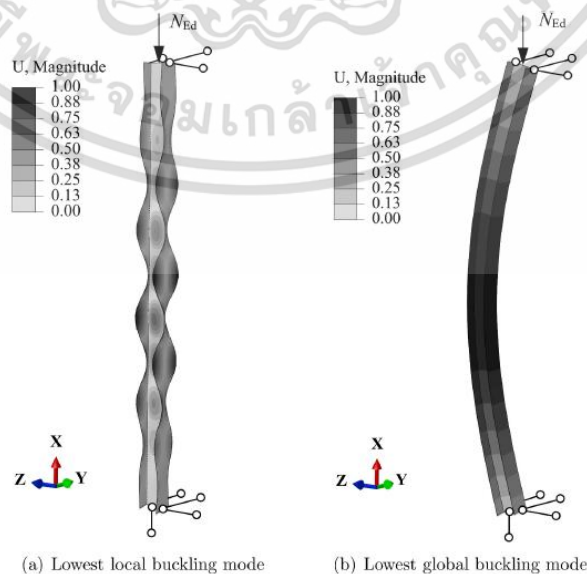
ในเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง แผ่นเอวและแผ่นปีกจะร่วมกันรับแรงอัดในแนวแกน แต่ในเสาที่มีแผ่นเอวเป็นลอน จะมีแค่แผ่นปีกที่ทำหน้าที่ในการรับแรงอัดและแผ่นปีกจะมีความขรุขระเพิ่มขึ้น จากความเป็นลอนของแผ่นเอว ทำให้กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสามีค่าลดลง แต่ก็จะแลกมาด้วยค่า out-of-plane stiffness และกำลังในการต้านทานการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดที่สูงขึ้น การลดความขรุขระของแผ่นปีก นอกจากจะเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงอัดในแนวแกนโดยตรงแล้ว ยังเพิ่มกำลังในการต้านทานการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีกอีกด้วย

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การโก่งเดาะในเสาจะเกิดขึ้นเมื่อเสาได้รับแรงอัดในแนวแกน การโก่งเดาะมีทั้งหมดสองชนิด หลักๆ คือ การโก่งเดาะทั้งเสา (overall buckling) และการโก่งเดาะเฉพาะที่ (local buckling)

การโก่งเดาะทั้งเสาเกิดจากโครงสร้างเสายาวถูกแรงอัดในแนวแกนเพียงอย่างเดียวและเกิดการโก่งเดาะตลอดความยาวเสาไปในทิศทางของแกนหมุนที่ไม่มีตัวรองรับ (support) ทั้งในทิศทางรอบแกนหลักและทิศทางรอบแกนรอง

เมื่ออัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของแผ่นปีกและแผ่นเอวมีค่าสูงเกินค่าที่กำหนด จะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวที่แผ่นปีกหรือแผ่นเอว ในขณะที่เสายังอยู่ในสภาพที่ไม่เกิดการโก่งเดาะทั้งเสา สามารถเรียกได้ว่าการโก่งเดาะเฉพาะที่ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การโก่งเดาะทั้งเสาและการโก่งเดาะเฉพาะที่ในเสา [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะและกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน โดยนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง ผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS โดยเสาที่ศึกษาจะมีทั้งเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลักและเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง นอกจากนี้จะทำการศึกษาทางพารามิเตอร์ต่อความชะลุดของแผ่นปีก, ความหนาของแผ่นเอว และการเกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในเสา

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนในการวิจัยจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ในขั้นแรกโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS จะถูกตรวจสอบความสามารถกับงานวิจัยอ้างอิงของ Kucukler M. [7] ในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง ขั้นตอนที่สองเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์แบบต่างๆ จะถูกสร้างขึ้นเพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง หลังจากนั้นการศึกษาดังกล่าวจะดำเนินการต่อไปเพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของความชะลุดของแผ่นปีก, ความหนาของแผ่นเอว และการเกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในเสา

บทที่ 2

เสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

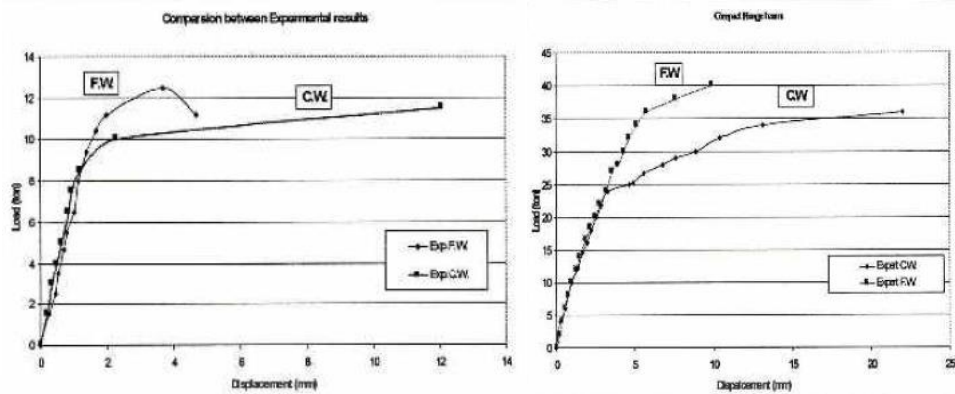
2.1.1 Flange compactness effects on the behavior of steel beams with corrugated webs [2]

Dabon, M. และ Elamary, A. [2] ได้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอนและคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง ภายใต้แรงดัดในแนวแกน ผ่านการทดสอบแบบ four-point bending test เพื่อให้ตัวคานรับแรงดัดเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 5) โดยพิจารณาคานที่มีแผ่นปีกชะลูดและคานที่มีแผ่นปีกไม่ชะลูด ซึ่งจำแนกด้วยค่าอัตราส่วนความยาวที่ยื่นออกมาของแผ่นปีกต่อความหนาของแผ่นปีก



รูปที่ 5 การทดสอบคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ในการทดสอบแบบ four-point bending test [2]

งานวิจัยพบว่ากำลังรับแรงดัดของคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงมีค่าสูงกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ทั้งในคานที่มีแผ่นปีกชะลูดและคานที่มีแผ่นปีกไม่ชะลูด (รูปที่ 6) และกำลังรับแรงดัดของคานที่มีแผ่นปีกไม่อัดแน่นมีค่าต่ำกว่าคานที่มีแผ่นปีกอัดแน่น โดยความชะลูดของแผ่นปีก มีส่วนสำคัญต่อการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีกที่รับแรงอัด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงดัดของคาน



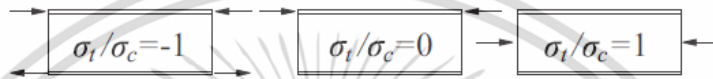
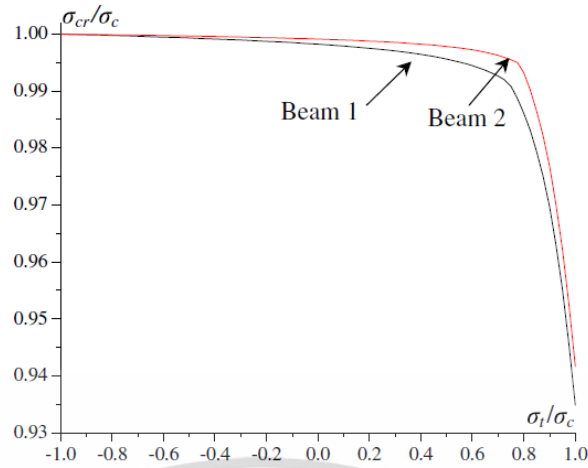
รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับน้ำหนักและการเสียรูป ในคานที่มีแผ่นปีกแผ่นปีกชะลูดและ
ไม่ชะลูด [2]

2.1.2 Local buckling of compression flanges of H-beams with corrugated webs [5]

โดยทั่วไปคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง จะมีค่าขีดจำกัดของค่าอัตราส่วนความยาวที่ยื่นออกมาของแผ่นปีกต่อความหนาของแผ่นปีก ในการจำแนกจะเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีกที่รับแรงอัด ก่อนที่แผ่นปีกจะมีหน่วยแรงถึงจุดคราก (yield) หรือไม่

Li G.-Q., Jiang J. และ Zhu Q. [5] ได้ศึกษากำลังของการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีกที่รับแรงอัด/แผ่นปีกบน (Compression flange/top flange) ภายใต้อิทธิพลของหน่วยแรงในแผ่นปีกล่าง (bottom flange) ในแบบต่างๆ คือในขณะที่แผ่นปีกบนรับหน่วยแรงอัด และแผ่นปีกล่างรับหน่วยแรงที่แตกต่างกัน คือจากหน่วยแรงดึงมาเป็น ไม่มีหน่วยแรง และหน่วยแรงอัด (อัตราส่วนของหน่วยแรงในแผ่นปีกล่างต่อหน่วยแรงในแผ่นปีกบนเท่ากับ 1, 0 และ 1 ตามลำดับ) ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างเปลี่ยนการรับแรงดัดในแนวแกน มาเป็นแรงอัดที่แผ่นปีกบน และแรงอัดที่จุดกึ่งกลางหน้าตัดตามลำดับ

งานวิจัยพบว่าหน่วยแรงการโก่งเดาะในแผ่นปีกที่รับแรงอัด (compression flange buckling stress) มีค่าลดลงประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 7) เมื่ออัตราส่วนของหน่วยแรงในแผ่นปีกล่างต่อหน่วยแรงในแผ่นปีกบน เปลี่ยนจาก -1 มาเป็น 1 และพบว่ายิ่งอัตราส่วนความยาวที่ยื่นออกมาของแผ่นปีกต่อความหนาของแผ่นปีกมีค่าสูงขึ้น แผ่นปีกจะยิ่งเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงการโก่งเดาะในแผ่นปีกที่รับแรงอัด และอัตราส่วนของหน่วยแรงในแผ่นปีกกลางต่อหน่วยแรงในแผ่นปีกบน [5]

2.1.3 Behavior of steel beams with different web profiles along beam length [3]

Elamary A., Alharthi Y. และ Sharaky I. [3] ได้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง, คานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน และคานที่มีทั้งแผ่นเอวที่เป็นเส้นตรงและแผ่นเอวเป็นลอน ภายใต้แรงดัดในแนวแกนและแรงเฉือน ผ่านการทดสอบแบบ four-point bending test (รูปที่ 8)

การทดสอบแบบ four-point bending test จะแบ่งความยาวคานออกเป็นสามช่วง ช่วงที่หนึ่งและช่วงที่สาม คานจะรับแรงเฉือนที่มีค่าคงที่และรับแรงดัด ในขณะที่ช่วงกลางของคานจะรับแรงดัดที่มีค่าคงที่แล้วไม่มีแรงเฉือน ทำให้ในคานที่มีทั้งแผ่นเอวที่เป็นเส้นตรงและแผ่นเอวเป็นลอน ส่วนที่เป็นลอนจะถูกกำหนดให้อยู่ในช่วงที่มีแรงเฉือน เนื่องจากส่วนลอนรับแรงเฉือนได้ดีกว่า และส่วนที่เป็นเส้นตรงจะถูกกำหนดให้อยู่ในช่วงกลางของคาน เนื่องจากส่วนที่เป็นเส้นตรงจะรับแรงดัดได้ดีกว่า

งานวิจัยพบว่ากำลังรับแรงดัดของคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง มีค่าสูงกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน และกำลังรับแรงเฉือนของคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน มีค่าสูงกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง โดยพฤติกรรมการวิบัติในคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงคือการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นเอว และในคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอนคือการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีก

งานวิจัยยังได้ศึกษาคานที่มีทั้งแผ่นเอวที่เป็นเส้นตรงและแผ่นเอวเป็นลอน ภายใต้ตัวแปรต่างๆคือ ความหนาของแผ่นปีก และพบว่าเมื่อความหนาของแผ่นปีกลดลงในพื้นที่ที่มีแต่แรงดัดจะทำให้

ให้คานรับน้ำหนักได้ลดลง, เมื่อความหนาของแผ่นปีกเพิ่มขึ้นในพื้นที่ที่มีทั้งแรงดัดและแรงเฉือน คานจะรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ



รูปที่ 8 คานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง, คานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน และคานที่มีทั้งแผ่นเอวที่เป็นเส้นตรงและแผ่นเอวเป็นลอน ในการทดสอบแบบ four-point bending test [3]

2.1.4 Experimental study on lateral -torsional buckling of triangular web profile steel section [10]

De'nan F., Hasan H. และ Choong K. [10] ได้ศึกษากำลังในการต้านทานการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง และคานที่มีแผ่นเอวรูปทรงสามเหลี่ยม (รูปที่ 9) ผ่านการทดสอบแบบ four-point bending test เพื่อหาโมเมนต์โก่งเดาะ (Buckling moment) ในช่วงกึ่งกลางคานที่แรงดัดในแนวแกนมีค่าคงที่

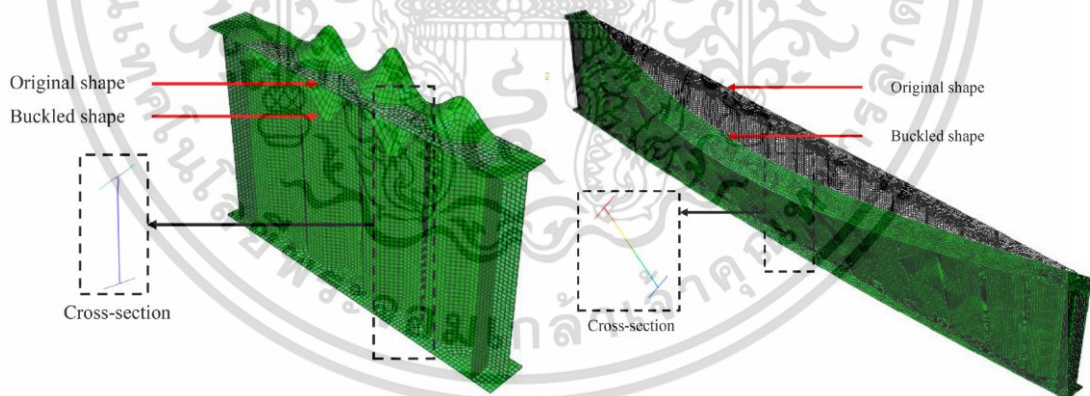
งานวิจัยพบว่าคานที่มีแผ่นเอวรูปทรงสามเหลี่ยมมีกำลังต้านทานการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด มากกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง ในช่วงร้อยละ 10.38 ถึงร้อยละ 17.37 และความหนาของแผ่นปีกและแผ่นเอวเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อกำลังในการต้านทานการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด



รูปที่ 9 คานที่มีแผ่นเอวรูปทรงสามเหลี่ยม ในการทดสอบแบบ four-point bending test [10]

2.1.5 Assessment of the suitability of Eurocode design model for corrugated web girders with slender flanges [4]

Hassanein M.F., Elkawas A.A. และ Shao Y.-B. [4] ได้ศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะในแผ่นปีกและการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดภายใต้แรงดัดในแนวแกน ในคานที่มีแผ่นปีกชะลูดและมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดต่ำ (deep beam) ผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (รูปที่ 10)

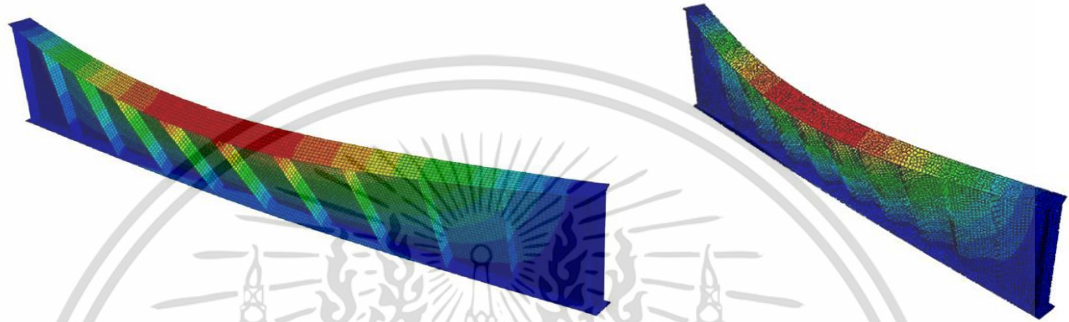


รูปที่ 10 การโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีก และการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด [4]

งานวิจัยพบว่าพบว่าการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีกจะเกิดขึ้นในคานที่มีความยาวสั้น และเมื่อความยาวคานสูงขึ้นการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดจะเข้ามามีอิทธิพลร่วมกับการโก่งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีก จนกระทั่งเกิดแต่การโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด ในคานที่มีความยาวสูง

2.1.6 On the out-of-plane stiffness of I-section girders with corrugated webs using elastic finite element analyses [6]

โดยทั่วไป ค่า out-of-plane stiffness ของคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ส่งผลให้กำลังในการต้านการโก่งเดาะด้านข้างเนื่องจากการบิดสูงขึ้น Shao Y.-B., Elsisy A.R. และ Hassanein M.F. [6] ได้ศึกษาค่า out-of-plane stiffness ในคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ภายใต้แรงดัดในแนวแกน ผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 out-of-plane stiffness ในคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน [6]

พบว่าค่า out-of-plane stiffness ของคานที่มีแผ่นเอวเป็นลอน ไม่ได้สูงกว่าคานที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเสมอไป โดยตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อค่า out-of-plane stiffness คือค่าความลึกของระยะลอน (corrugation depth) และความกว้างของแผ่นปีก

2.2 ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนในการวิจัยจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ในขั้นแรกโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS จะถูกตรวจสอบความสามารถต่อผลการทดสอบจริงและผลของแบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical result) ในโครงสร้างเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง (flat-web I-section column) ที่รับแรงดัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลักและรับแรงดัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง จากงานวิจัยอ้างอิงของ Kucukler M. [7]

ขั้นตอนที่สองจะสร้างแบบจำลองเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ แบบต่างๆ ผ่านโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS โดยคงเงื่อนไขการรับแรง, คุณสมบัติของวัสดุ, ขนาดของหน้าตัด, ความหนาของแผ่นปีก, ความหนาของแผ่นเอว และความยาวของเสา ให้เหมือนกับงานวิจัยอ้างอิงเพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง หลังจากนั้นการศึกษาทางพารามิเตอร์จะถูกดำเนินไปเพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลต่อพฤติกรรมการโก่งเดาะและกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็น

ลอน ผ่านความขรุขระของแผ่นปีก (ความหนาของแผ่นปีก), ความขรุขระของแผ่นเอว (ความหนาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุเพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังระบบออนไลน์การคำนวณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นเอว) และในเสาที่เกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด (อัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัด)

2.2.1 แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ ถูกสร้างจากโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ ANSYS โดยใช้เอลิเมนต์ชนิด Shell181 ในการสร้างทั้งแผ่นปีกและแผ่นเอว [8] โดยเอลิเมนต์ชนิด SHELL181 คือเอลิเมนต์ที่มี 4 จุดต่อ (node) และมี 6 Degree of freedom ในแต่ละจุดต่อ เอลิเมนต์ชนิด SHELL181 เหมาะกับการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความบางจนถึงหนาปานกลาง และเหมาะทั้งกับการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (linear analysis) และการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น (nonlinear analysis) โดยขนาดของเอลิเมนต์ที่เลือกใช้ในแผ่นเอวและแผ่นปีก มีความกว้าง 15 มิลลิเมตร โดยประมาณ และความยาว 15 มิลลิเมตร โดยประมาณ (รูปที่ 12)



รูปที่ 12 จุดต่อและเอลิเมนต์ในเสา

การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ ANSYS จะประกอบไปด้วยสองขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนแรก การวิเคราะห์แบบการโก่งเดาะแบบเชิงเส้น (Linear buckling analysis) ในการหา eigenmode และ eigenvalue เพื่อใช้หาความไม่สมบูรณ์ของหน้าตัดตั้งต้น (initial/geometric imperfection) โดยไม่คำนึงถึงหน่วยแรงคงค้างจากการเชื่อม (welded residual stress) ในขั้นตอนต่อมา การวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ที่คำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุและรูปร่าง (material nonlinearity & geometrical nonlinearity) คือให้มีการกำหนดกราฟความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดของวัสดุซึ่งมีรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear stress-strain relationship) และการสั่งให้โปรแกรมอัปเดต element stiffness matrix ไปตลอดการเสียรูปของโครงสร้าง

ความไม่สมบูรณ์ของหน้าตัดตั้งต้น จะใช้ eigenmode ที่มีค่าน้อยที่สุดในการกำหนดความไม่สมบูรณ์ของหน้าตัดตั้งต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปยังความไม่สมบูรณ์ของหน้าตัดตั้งต้นที่เป็นการ

โก่งเดาะทั้งเสา โดยกำหนดค่าการโก่งเดาะเท่ากับ $L/1000$ [7] โดย L คือความยาวของเสาส่วนที่อยู่ระหว่างจุดรับแรง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) จะถูกกำหนดไว้ที่ 0.3 ส่วนของความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ จะถูกกำหนดด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุ จะถูกกำหนดด้วยแบบจำลองวัสดุ two-stage Ramberg-Osgood แสดงในสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้

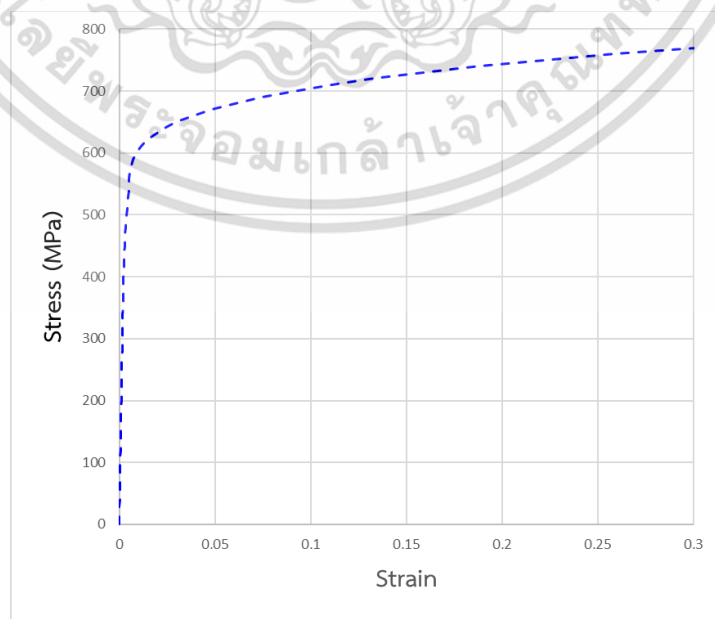
$$\varepsilon = \frac{f}{E} + 0.002 \left(\frac{f}{f_y} \right)^n \quad \text{เมื่อ } f \leq f_y \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{f-f_y}{E_{0.2}} + \left(\varepsilon_u - \varepsilon_{t,0.2} - \frac{f_u-f_y}{E_{0.2}} \right) \left(\frac{f-f_y}{f_u-f_y} \right)^m + \varepsilon_{t,0.2} \quad \text{เมื่อ } f_y < f \leq f_u \quad (2)$$

E คือมอดุลัสของยัง (Young's modulus), f_u คือความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress), ε_u คือความเครียดที่ความเค้นแรงดึงสูงสุด, f_y คือความเค้นที่จุดคราก (Yield stress), $E_{0.2}$ คือมอดุลัสของความชัน (tangent modulus) ที่ 0.2% proof stress และ $\varepsilon_{t,0.2}$ คือความเครียดรวมทั้งหมด (total strain) ที่ 0.2% proof stress โดยค่าของตัวแปรต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1 และได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ที่ใช้ในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ ดังรูปที่ 13

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ ที่ใช้ในแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด [9]

ชนิดของเหล็ก	f_y (MPa)	f_u (MPa)	ε_u	n	m
Duplex grade 2205	530	770	0.30	9.3	3.6

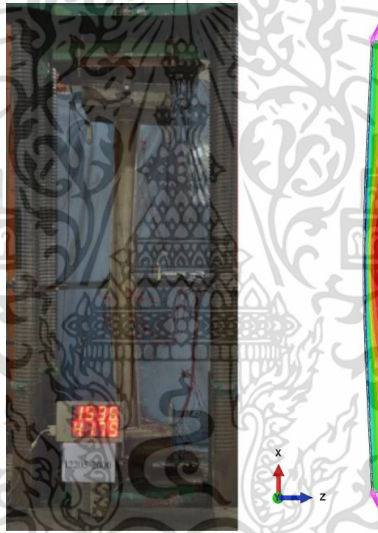


รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ชอบด้วยประการใดๆ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากเจ้าของลิขสิทธิ์ถือว่าผิดกฎหมาย

2.2.2 การตรวจสอบงานวิจัยอ้างอิง Flexural buckling behaviour and design of duplex and ferritic stainless steel I-section columns [7]

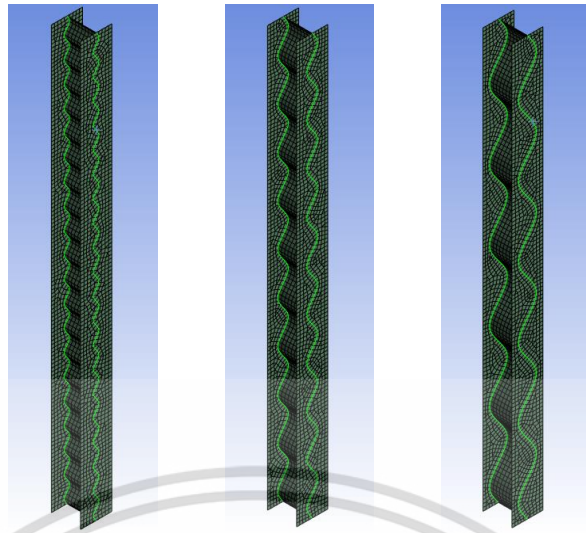
โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS จะถูกตรวจสอบความสามารถต่อผลการทดสอบจริงและผลของแบบจำลองเชิงตัวเลขจากงานวิจัยอ้างอิงโดย Kucukler M. [7] โดยเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง เป็นเสาเหล็กชนิด duplex stainless (grade 2205) ที่มีขนาดหน้าตัดคือ กว้าง 150 มิลลิเมตร, ลึก 150 มิลลิเมตร, ความหนาแผ่นปีก 10 มิลลิเมตร และความหนาแผ่นเอว 6 มิลลิเมตร รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลักทั้งหมด 4 ความยาว (2.04 เมตร, 3.04 เมตร, 3.54 เมตร และ 4.04 เมตร) และรับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรองทั้งหมด 4 ความยาว (2.04 เมตร, 3.04 เมตร, 3.54 เมตร และ 4.04 เมตร) โดยทิศทางของแรงดัดจะถูกกำหนดโดยทิศทางของจุดรับแรงแบบ pin-end ผ่านตัวถ่ายแรง knife edge ทั้งด้านบนและด้านล่างของเสา (รูปที่ 14)



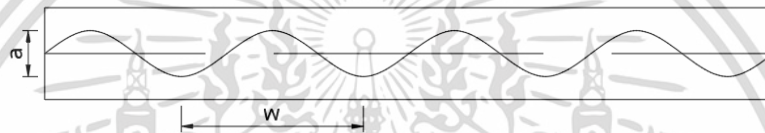
รูปที่ 14 รูปการทดสอบจริงและทดสอบด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข
ในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง [7]

2.2.3 เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน

เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน (รูปที่ 15) จะถูกสร้างด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS โดยคงเงื่อนไขการรับแรง, คุณสมบัติของวัสดุ, ขนาดของหน้าตัด, ความหนาของแผ่นปีก, ความหนาของแผ่นเอว และความยาวของเสา จากงานวิจัยของ Kucukler M. [7] เพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง โดยตัวแปรที่ใช้กำหนดรูปทรงคลื่นไซน์ของแผ่นเอว (รูปที่ 16) จะใช้ที่ค่าดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 15 รูปทรงคลื่นไซน์ในเสา



รูปที่ 16 ฟังก์ชันของรูปทรงคลื่นไซน์

2.2.4 การศึกษาทางพารามิเตอร์ (Parametric studies)

การศึกษาพฤติกรรมการโก่งเดาะและกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน ผ่านการศึกษาทางพารามิเตอร์ ได้แก่ ผ่านความขรุขระของแผ่นปีก ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5, ความขรุขระของแผ่นเอว ดังแสดงในตารางที่ 6 และในเสาที่เกิดการโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด ดังแสดงในตารางที่ 7

2.3 ผลการวิจัย

2.3.1 การตรวจสอบต่องานวิจัยอ้างอิง Flexural buckling behaviour and design of duplex and ferritic stainless steel I-section columns [7]

จากการตรวจสอบความสามารถของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS ต่อผลการทดสอบจริงและผลของแบบจำลองเชิงตัวเลขของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง จะได้ตารางแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาที่มีเงื่อนไขการรับแรงสองแบบ คือรับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลัก และรับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดใกล้เคียงกับทั้งการทดสอบจริงและผลของแบบจำลองเชิงตัวเลข โดยในเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลัก จะได้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนต่อกำลังรับน้ำหนักจากการทดสอบจริงและค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนต่อ

กำลังรับน้ำหนักจากแบบจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 0.99 และ 1.00 ตามลำดับ ส่วนในเสาที่รับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นแบบฉบับหรือเขียนต้นฉบับไว้

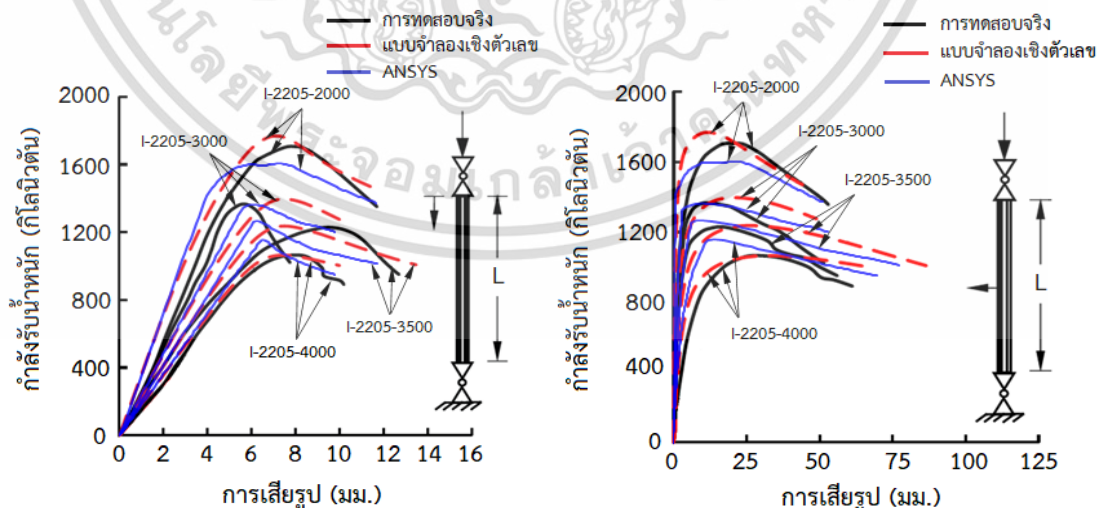
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง จะได้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนต่อกำลังรับน้ำหนักจากการทดสอบจริงและค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนต่อกำลังรับน้ำหนักจากแบบจำลองเชิงตัวเลขเท่ากับ 1.00 และ 0.90 ตามลำดับ

รูปที่ 17 และ 18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักและการเสีรูป ในเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลักและเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรองตามลำดับ พบว่ากราฟมีลักษณะใกล้เคียงกัน จึงสรุปว่าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS มีความสามารถในการจำลองการเสีรูปและกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาได้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา

เงื่อนไขการรับแรง	ความยาวเสา (ม.)	(1) กำลังรับน้ำหนักของเสา จากการทดสอบจริง (กิโลนิวตัน)	(2) กำลังรับน้ำหนักของเสา จากแบบจำลองเชิงตัวเลข (กิโลนิวตัน)	(3) กำลังรับน้ำหนักของเสา จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS (กิโลนิวตัน)	(1) / (3)	(2) / (3)
แรงอัดและแรงดัดรอบแกนหลัก	2.04	1705	1768	1610	1.06	1.10
	3.04	1366	1395	1368	1.00	1.02
	3.54	1228	1236	1272	0.97	0.97
	4.04	1065	1064	1163	0.92	0.91
				ค่าเฉลี่ย	0.99	1.00
แรงอัดและแรงดัดรอบแกนรอง	2.04	1128	1098	1233	0.91	0.89
	3.04	751	696	790	0.95	0.88
	3.54	677	578	625	1.08	0.92
	4.04	524	464	502	1.04	0.92
				ค่าเฉลี่ย	1.00	0.90



(ก) การเสีรูปในทิศของแรงอัด

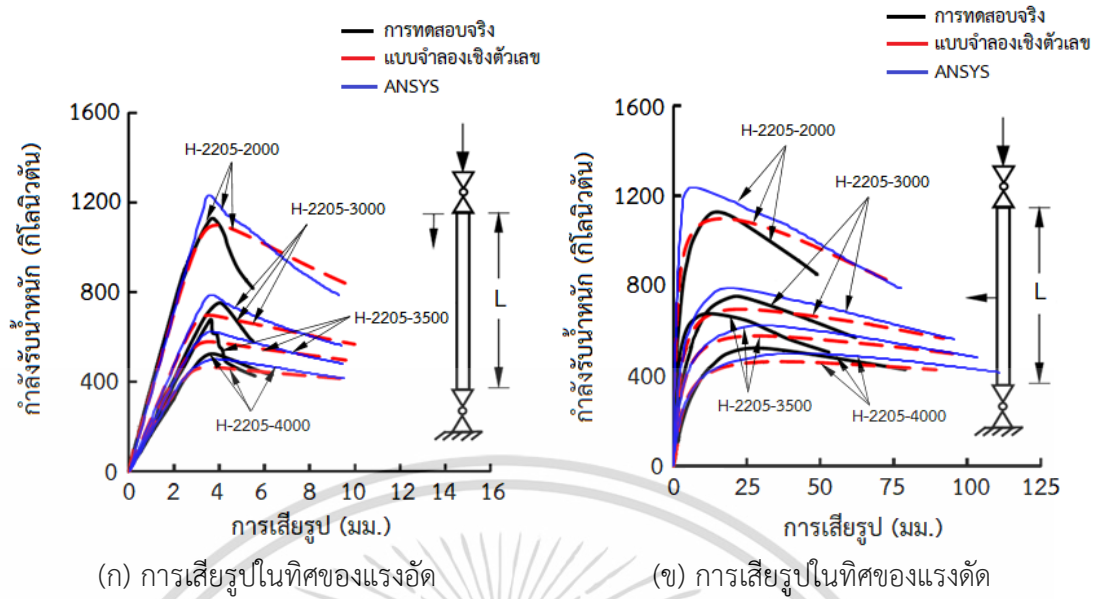
(ข) การเสีรูปในทิศของแรงดัด

รูปที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักและการเสีรูป

ในเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

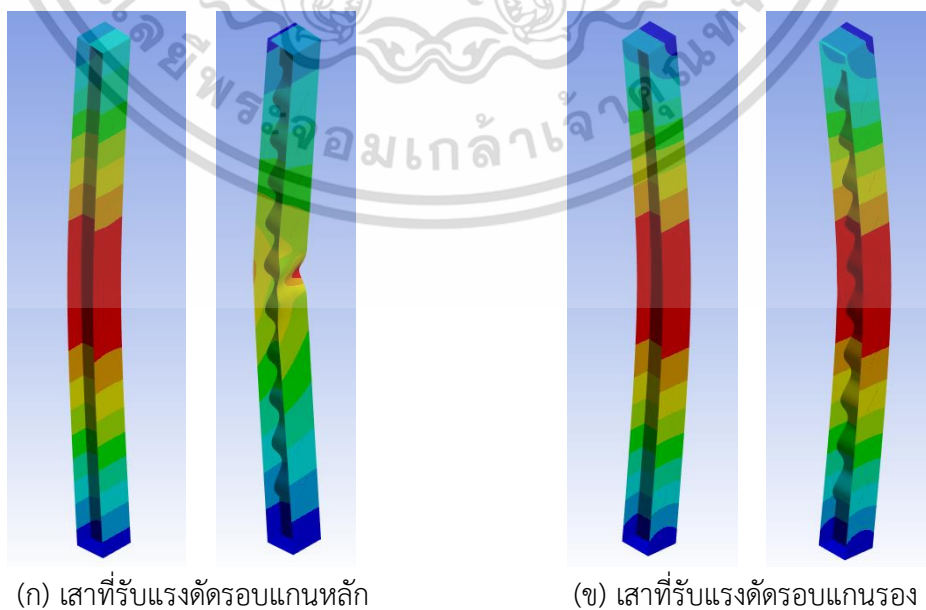
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักและการเสียรูป
ในเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง

2.3.2 เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน

จากการสร้างเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS จะได้ตารางแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา โดยเปรียบเทียบกับกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ ในเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลักและเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง ในตารางที่ 3



รูปที่ 19 พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสายาว 2.04 เมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา ในขณะที่เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสาจนกระทั่งผ่านจุดรับน้ำหนักสูงสุดของเสา การโก่งเดาะเฉพาะที่จะเกิดในแผ่นปีกฝั่งที่รับแรงอัดที่สูงกว่าโดยเฉพาะในแผ่นปีกที่มีความขะลุดสูงหรือมีความลึกของระยะลอนและความยาวคลื่นสูง (รูปที่ 19) และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ โดยค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 0.85

ขณะที่ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง พฤติกรรมการโก่งเดาะของทั้งเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ จะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา (รูปที่ 19) และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์อยู่เล็กน้อย โดยค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 0.96 โดยกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะมีค่าเข้าใกล้เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงมากขึ้นเมื่อเสามีความยาวมากกว่า 3.04 เมตร โดยค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่าเท่ากับ 0.99

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน

เงื่อนไขการรับแรง	ความยาวเสา (ม.)	ค่าฟังก์ชันรูปทรงคลื่นไซน์ (มม.)		กำลังรับน้ำหนักของเสา (กิโลนิวตัน)		(2) / (1)
		ความลึกของลอน, a	ความยาวคลื่น, w	(1) แผ่นเอวเป็นเส้นตรง	(2) แผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์	
แรงอัดและแรงดัดรอบแกนหลัก	2.04	-		1610	-	-
		25	102	-	1364	0.85
		50	204	-	1358	0.84
		85	340	-	1335	0.83
	3.04	-		1368	-	-
		25	95	-	1144	0.84
		50	190	-	1142	0.83
		80	304	-	1141	0.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	3.54	-		1272	-	-	
		25	110.625	-	1076	0.85	
		50	221.25	-	1077	0.85	
		80	354	-	1075	0.84	
	4.04	-		1163	-	-	
		25	101	-	1000	0.86	
		50	202	-	999	0.86	
		83.33	336.66	-	997	0.86	
					ค่าเฉลี่ย	0.85	
	แรงอัด และแรง ดัดรอบ แกนรอง	2.04	-		1233	-	-
			25	102	-	1081	0.88
			50	204	-	1080	0.88
			85	340	-	1085	0.88
3.04		-		790	-	-	
		25	95	-	762	0.96	
		50	190	-	765	0.97	
		80	304	-	771	0.98	
3.54		-		625	-	-	
		25	110.625	-	616	0.99	
		50	221.25	-	619	0.99	
		80	354	-	624	1.00	
4.04		-		502	-	-	
		25	101	-	498	0.99	
		50	202	-	500	1.00	
		83.33	336.66	-	505	1.01	
					ค่าเฉลี่ย	0.96	

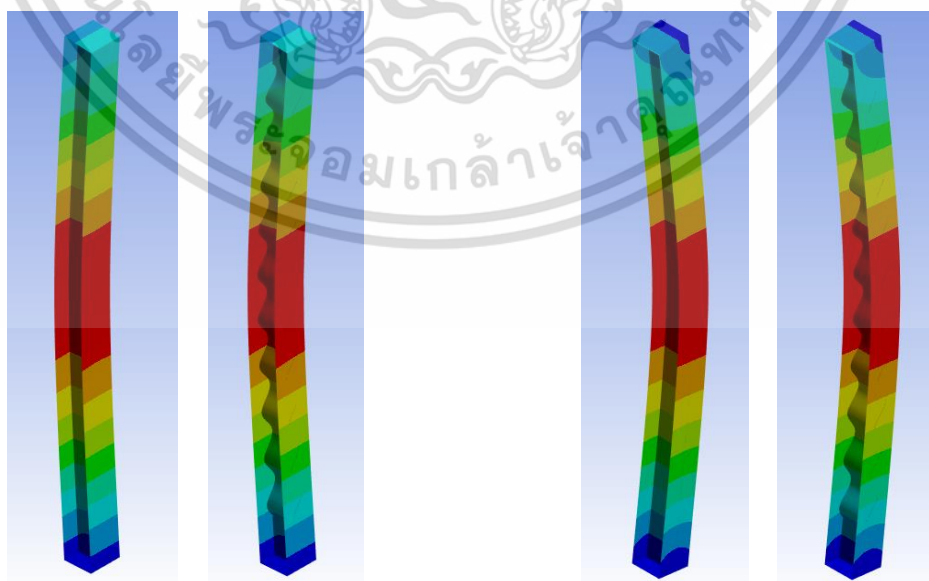
2.3.3 การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านความขรุขระของแผ่นปีก

การโค้งเดาะเฉพาะที่ในแผ่นปีกส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านการลดความขรุขระของแผ่นปีก ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS โดยเพิ่มความหนาของแผ่นปีกจาก 10 มม. เป็น 15 มม. และ 20 มม. จะได้ตารางแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา โดยเปรียบเทียบกับกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน ในเสาที่รับแรงอัดในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลักและเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง เมื่อแผ่นปึกมีความหนา 15 มม. และ 20 มม. ในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ

พบว่าในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาจะยังเป็นเหมือนเดิม แต่การโก่งเดาะเฉพาะที่ในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะถูกพบเห็นได้น้อยลง (รูปที่ 20) และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังให้ค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ แต่อัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังมีค่าที่สูงขึ้น เมื่อความหนาของแผ่นปึกเปลี่ยนจาก 10 มม. เป็น 15 มม. และ 20 มม. (ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.85, 0.89, 0.92 ตามลำดับ)

ขณะที่ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง พฤติกรรมการโก่งเดาะของทั้งเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะยังถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา (รูปที่ 20) และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังคงมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ด้วยอัตราส่วนที่ไม่ต่างจากเดิม โดยความหนาของแผ่นปึกไม่มีผลทางนัยยะสำคัญต่ออัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง คือเมื่อความหนาของแผ่นปึกเปลี่ยนจาก 10 มม. เป็น 15 มม. และ 20 มม. (ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.96, 0.97, 0.98 ตามลำดับ)



(ก) เสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก

(ข) เสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง

รูปที่ 20 พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสายาว 2.04 เมตร เมื่อแผ่นปึกหนาเท่ากับ 20 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นชอบหรือเห็นว่าการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่อความหนาของแผ่นปีกเท่ากับ 15 มม.

เงื่อนไขการรับแรง	ความยาวเสา (ม.)	ค่าฟังก์ชันรูปทรงคี่ไซน์ (มม.)		กำลังรับน้ำหนักของเสา (กิโลนิวตัน)		(2) / (1)	
		ความลึกของลอน, a	ความยาวคลื่น, w	(1) แผ่นเอวเป็นเส้นตรง	(2) แผ่นเอวรูปทรงคี่ไซน์		
แรงอัดและแรงดัดรอบแกนหลัก	2.04	-		2258	-	-	
		25	102	-	2017	0.89	
		50	204	-	2015	0.89	
		85	340	-	2008	0.89	
	3.04	-		1919	-	-	
		25	95	-	1697	0.88	
		50	190	-	1696	0.88	
		80	304	-	1699	0.89	
	3.54	-		1792	-	-	
		25	110.625	-	1595	0.89	
		50	221.25	-	1598	0.89	
		80	354	-	1600	0.89	
	4.04	-		1650	-	-	
		25	101	-	1486	0.90	
		50	202	-	1487	0.90	
		83.33	336.66	-	1486	0.90	
					ค่าเฉลี่ย	0.89	
	แรงอัดและแรงดัดรอบแกนรอง	2.04	-		1768	-	-
			25	102	-	1606	0.91
			50	204	-	1609	0.91
85			340	-	1618	0.92	
3.04		-		1170	-	-	
		25	95	-	1144	0.98	
		50	190	-	1144	0.98	
		80	304	-	1151	0.98	
3.54		-		932	-	-	
		25	110.625	-	921	0.99	
		50	221.25	-	925	0.99	
		80	354	-	932	1.00	
4.04		-		750	-	-	
		25	101	-	746	0.99	
		50	202	-	749	1.00	
		83.33	336.66	-	755	1.01	
					ค่าเฉลี่ย	0.97	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่อความหนาของแผ่นปีกเท่ากับ 20 มม.

เงื่อนไขการรับแรง	ความยาวเสา (ม.)	ค่าฟังก์ชันรูปทรงคลื่นไซน์ (มม.)		กำลังรับน้ำหนักของเสา (กิโลนิวตัน)		(2) / (1)	
		ความลึกของลอน, a	ความยาวคลื่น, w	(1) แผ่นเอวเป็นเส้นตรง	(2) แผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์		
แรงอัดและแรงดัดรอบแกนหลัก	2.04	-		2903	-	-	
		25	102	-	2668	0.92	
		50	204	-	2667	0.92	
		85	340	-	2662	0.92	
	3.04	-		2470	-	-	
		25	95	-	2243	0.91	
		50	190	-	2248	0.91	
		80	304	-	2252	0.91	
	3.54	-		2310	-	-	
		25	110.625	-	2112	0.91	
		50	221.25	-	2118	0.92	
		80	354	-	2119	0.92	
	4.04	-		2134	-	-	
		25	101	-	1967	0.92	
		50	202	-	1968	0.92	
		83.33	336.66	-	1970	0.92	
					ค่าเฉลี่ย	0.92	
	แรงอัดและแรงดัดรอบแกนรอง	2.04	-		2303	-	-
			25	102	-	2133	0.93
			50	204	-	2137	0.93
85			340	-	2147	0.93	
3.04		-		1552	-	-	
		25	95	-	1523	0.98	
		50	190	-	1525	0.98	
		80	304	-	1532	0.99	
3.54		-		1238	-	-	
		25	110.625	-	1228	0.99	
		50	221.25	-	1232	1.00	
		80	354	-	1240	1.00	
4.04		-		998	-	-	
		25	101	-	994	1.00	
		50	202	-	998	1.00	
		83.33	336.66	-	1005	1.01	
					ค่าเฉลี่ย	0.98	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

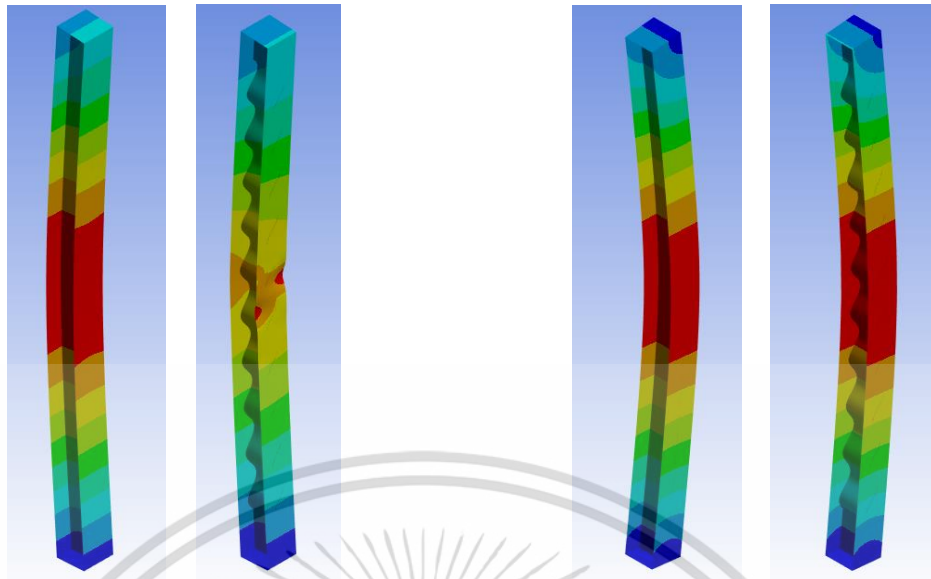
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านความขรุขระของแผ่นเอว

การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านความขรุขระของแผ่นเอว ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS โดยเพิ่มความหนาของแผ่นเอวจาก 6 มม. เป็น 10 มม. จะได้ตารางแสดงการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา โดยเปรียบเทียบกับกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน ในเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนหลักและเสาที่รับแรงอัดในแนวแกนและแรงดัดรอบแกนรอง เมื่อแผ่นเอวมีความหนา 10 มม. ในตารางที่ 6

พบว่าในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาจะยังเป็นเหมือนเดิม (รูปที่ 21) และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังให้ค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ โดยอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่าที่ลดลงเมื่อความขรุขระของแผ่นเอวเพิ่มขึ้น โดยเมื่อความหนาของแผ่นเอวเปลี่ยนจาก 6 มม. เป็น 10 มม. (ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.85, 0.78 ตามลำดับ) โดยความหนาของแผ่นเอวจะส่งผลโดยตรงไปที่กำลังรับแรงอัดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง และไม่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์

ขณะที่ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง พฤติกรรมการโก่งเดาะของทั้งเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะยังถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา (รูปที่ 21) และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังคงมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ด้วยอัตราส่วนที่ไม่ต่างจากเดิม โดยความหนาของแผ่นเอวไม่มีผลทางนัยยะสำคัญต่ออัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง คือเมื่อความหนาของแผ่นเอวเปลี่ยนจาก 6 มม. เป็น 10 มม. (ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.96, 0.95 ตามลำดับ)



(ก) เสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก

(ข) เสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง

รูปที่ 21 พฤติกรรมการโก่งตัวของเสายาว 2.04 เมตร เมื่อแผ่นเอวหนาเท่ากับ 10 มม.

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่อความหนาของแผ่นเอวเท่ากับ 10 มม.

เงื่อนไขการรับแรง	ความยาวเสา (ม.)	ค่าฟังก์ชันรูปทรงคลื่นไซน์ (มม.)		กำลังรับน้ำหนักของเสา (กิโลนิวตัน)		(2) / (1)
		ความลึกของลอน, a	ความยาวคลื่น, w	(1) แผ่นเอวเป็นเส้นตรง	(2) แผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์	
แรงอัดและแรงดัดรอบแกนหลัก	2.04	-	-	1815	-	-
		25	102	-	1448	0.80
		50	204	-	1412	0.78
		85	340	-	1381	0.76
	3.04	-	-	1538	-	-
		25	95	-	1198	0.78
		50	190	-	1174	0.76
		80	304	-	1168	0.76
	3.54	-	-	1422	-	-
		25	110.625	-	1126	0.79
		50	221.25	-	1109	0.78
		80	354	-	1100	0.77
	4.04	-	-	1278	-	-
		25	101	-	1040	0.81
		50	202	-	1023	0.80
		83.33	336.66	-	1015	0.79
					ค่าเฉลี่ย	0.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ต่าง การทำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

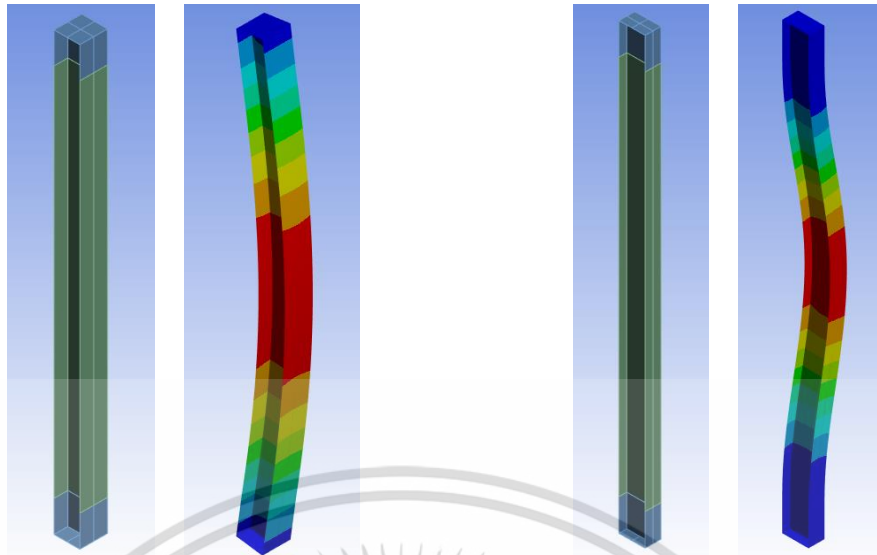
แรงอัด และแรง ดัดรอบ แกนรอง	2.04	-		1321	-	-
		25	102	-	1114	0.84
		50	204	-	1101	0.83
		85	340	-	1106	0.84
	3.04	-		805	-	-
		25	95	-	773	0.96
		50	190	-	772	0.96
		80	304	-	779	0.97
	3.54	-		631	-	-
		25	110.625	-	619	0.98
		50	221.25	-	622	0.99
		80	354	-	630	1.00
	4.04	-		505	-	-
		25	101	-	500	0.99
		50	202	-	503	1.00
		83.33	336.66	-	510	1.01
				ค่าเฉลี่ย	0.95	

2.3.5 การศึกษาทางพารามิเตอร์ผ่านการโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด

การศึกษาการโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอน ผ่านการปรับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัด โดยในการศึกษาก่อนหน้า เสาจะมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดมีค่าเท่ากับ 1:1 เมื่ออัตราส่วนความกว้างต่อความลึกนี้มีค่าลดลง eigenmode ที่มีค่าน้อยที่สุดที่เดิมที่แสดงถึงการโค้งเดาะทั้งเสาตามทิศทางของจุดรับแรงของเสา จะเปลี่ยนไปเป็นการโค้งเดาะทั้งเสาในทิศทางของแกนอ่อน (รูปที่ 22 และรูปที่ 23) ทำให้การโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดเข้ามามีอิทธิพลต่อการโค้งเดาะของเสาและส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา โดยในการศึกษานี้จะกำหนดระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างจุดรับแรงกับจุดกึ่งกลางเสา (รูปที่ 24) เพื่อให้เสารับแรงดัดในแนวแกนที่มีค่าคงที่และแสดงพฤติกรรมของการโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด

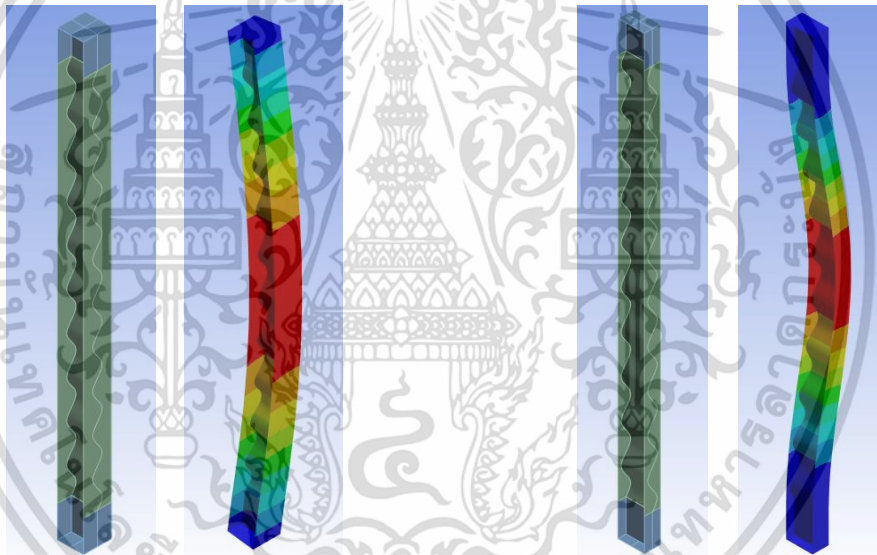
จากการศึกษาการโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดในเสา จะได้ตารางแสดงกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงและเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์หรือแผ่นเอวเป็นลอนเมื่ออัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:1.8, 1:3 และ 1:3.75 และมีระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างจุดรับแรงกับจุดกึ่งกลางเสาเท่ากับ 35 มม. ดังแสดงในตารางที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



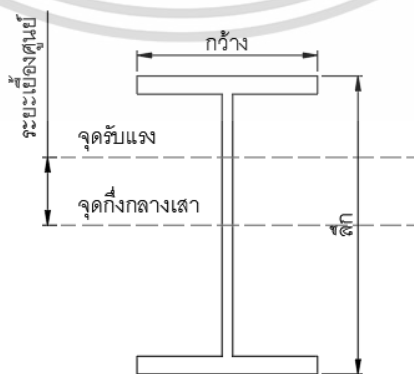
(ก) อัตราส่วนความกว้างต่อความลึก 1:1 (ข) อัตราส่วนความกว้างต่อความลึก 1:1.8

รูปที่ 22 eigenmode ที่มีค่าน้อยที่สุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง



(ก) อัตราส่วนความกว้างต่อความลึก 1:1 (ข) อัตราส่วนความกว้างต่อความลึก 1:1.8

รูปที่ 23 eigenmode ที่มีค่าน้อยที่สุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์

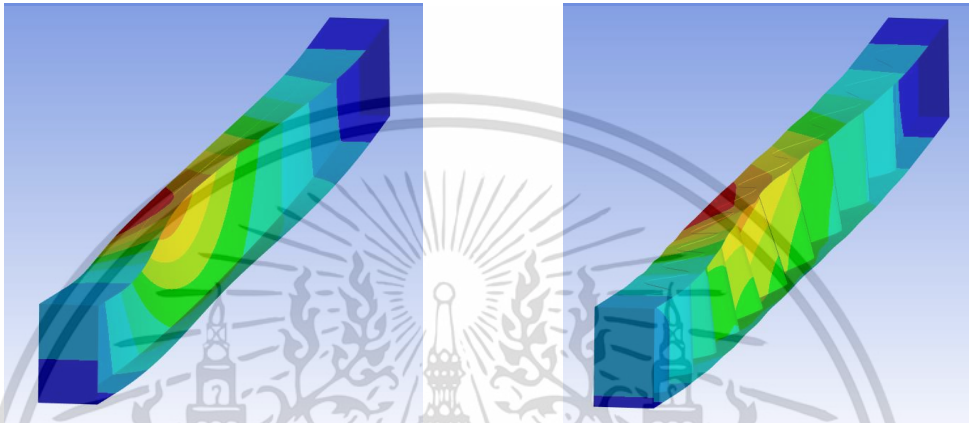


รูปที่ 24 ระยะเอียงศูนย์ระหว่างจุดรับแรงกับจุดกึ่งกลางเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:1.8 (รูปที่ 25) กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะมีค่าที่น้อยกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง โดยกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะมีค่าเข้าใกล้เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงมากขึ้นเมื่อเสามีความยาวมากขึ้น (ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเท่ากับ 0.83 ที่ความยาวเสา 2.04 เมตร และเท่ากับ 0.94 ที่ความยาวเสาอื่นๆ)

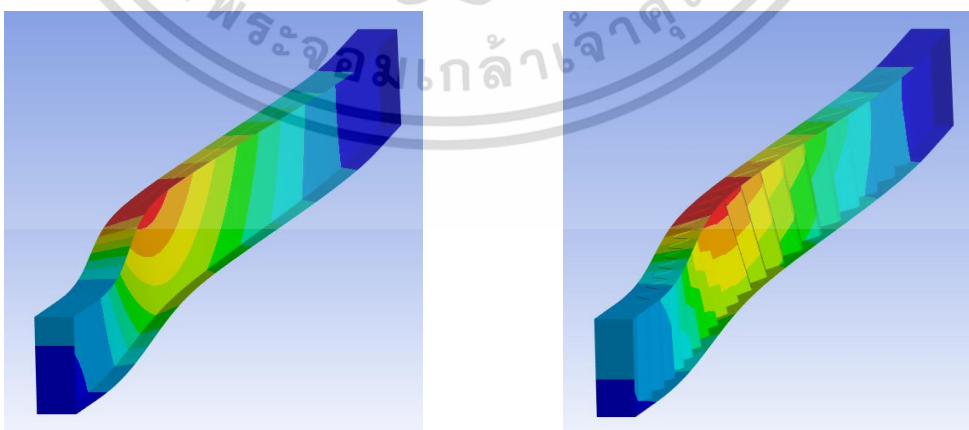


(ก) เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง (ข) เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์

รูปที่ 25 การโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด

ในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1:1.8 - ความยาวเสา 2.04 เมตร

ในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:3 (รูปที่ 26) กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเมื่อความยาวเสามีค่ามากกว่า 3.04 เมตร โดยยิ่งความลึกของระยะลอนและความยาวคลื่นมีค่าสูงขึ้นกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาจะมีค่าสูงขึ้น



(ก) เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง (ข) เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์

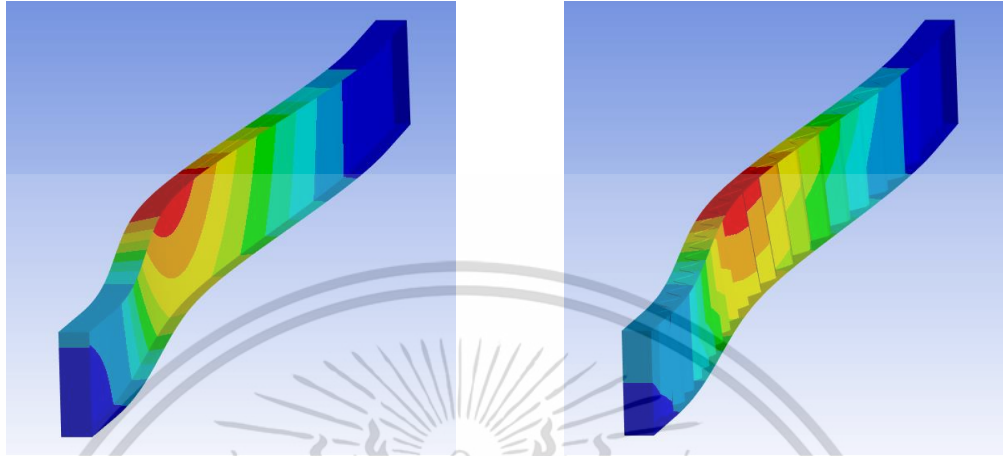
รูปที่ 26 การโค้งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด

ในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1:3 - ความยาวเสา 2.04 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:3.75 (รูปที่ 27) กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะให้ค่าที่มากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเมื่อความยาวเสามีค่ามากกว่า 3.04 เมตรเช่นกัน



(ก) เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง (ข) เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์

รูปที่ 27 การโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิด

ในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเท่ากับ 1:3.75 - ความยาวเสา 2.04 เมตร

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเมื่ออัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:1.8, 1:3 และ 1:3.75 และมีระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างจุดรับแรงกับจุดกึ่งกลางเสาเท่ากับ 35 มม.

อัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัด	ความยาวเสา (m)	ขนาดหน้าตัด (m)	ค่าฟังก์ชันรูปทรงคลื่นไซน์ (มม.)		กำลังรับน้ำหนักของเสา (กิโลนิวตัน)		(2) / (1)
			ความลึกของลอน, a	ความยาวคลื่น, w	(1) แผ่นเอวเป็นเส้นตรง	(2) แผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์	
1:1.8	2.04	85x150	-		593	-	-
			25	102	-	494	0.83
			50	204	-	493	0.83
			85	340	-	485	0.82
	3.04	80x150	-		403	-	-
			25	95	-	360	0.89
			50	190	-	363	0.90
			80	304	-	363	0.90
	3.54	80x150	-		338	-	-
			25	110.625	-	317	0.94
			50	221.25	-	320	0.95
			80	354	-	322	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	4.04	83.5x150	-		307	-	-
			25	101	-	296	0.96
			50	202	-	301	0.98
			83.33	336.66	-	304	0.99
1:3	2.04	85x150	-		264	-	-
			25	102	-	237	0.90
			50	204	-	241	0.91
	3.04	80x150	-		143	-	-
			25	95	-	147	1.03
			50	190	-	155	1.09
	3.54	80x150	-		109	-	-
			25	110.625	-	113	1.04
			50	221.25	-	123	1.12
	4.04	83.5x150	-		86	-	-
			25	101	-	90	1.05
			50	202	-	97	1.13
1:3.75	2.04	85x150	-		158	-	-
			25	102	-	158	1.00
	3.04	80x150	-		79	-	-
			25	95	-	85	1.08
	3.54	80x150	-		60	-	-
			25	110.625	-	64	1.07
	4.04	83.5x150	-		46	-	-
			25	101	-	50	1.08

2.4 สรุปผลการวิจัย

1. ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสาจนกระทั่งผ่านจุดรับน้ำหนักสูงสุดของเสา การโก่งเดาะเฉพาะที่จะเกิดในแผ่นปีกฝั่งที่รับแรงอัดที่สูงกว่าโดยเฉพาะในแผ่นปีกที่มีอัตราส่วนความกว้างที่ยื่นออกมาของแผ่นปีกต่อความหนาของแผ่นปีกสูงหรือมีความลึกของระยะลอนและความยาวคลื่นสูง และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ (ร้อยละ 85)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง พฤติกรรมการโก่งเดาะของทั้งเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์อยู่เล็กน้อย (ร้อยละ 96) โดยกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะมีค่าเข้าใกล้เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงมากขึ้นเมื่อเสามีความยาวมากขึ้น

3. เมื่อลดความขรุขระของแผ่นปีกด้วยการเพิ่มความหนาของแผ่นปีก ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสายังเป็นเหมือนเดิม แต่การโก่งเดาะเฉพาะที่ในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะถูกพบเห็นได้น้อยลง และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังให้ค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ แต่อัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่าที่สูงขึ้นเมื่อความขรุขระของแผ่นปีกลดลง และในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังคงมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ด้วยอัตราส่วนที่ไม่ต่างจากเดิม โดยความขรุขระของแผ่นปีกไม่มีผลทางนัยยะสำคัญต่ออัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง

4. เมื่อลดความขรุขระของแผ่นเอวด้วยการเพิ่มความหนาของแผ่นเอว ในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนหลัก พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสายังเป็นเช่นเดิม และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังให้ค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ โดยอัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะมีค่าที่ลดลง กล่าวคือความหนาของแผ่นเอวจะส่งผลโดยตรงไปที่กำลังรับแรงอัดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง และไม่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ และในเสาที่รับแรงดัดรอบแกนรอง พฤติกรรมการโก่งเดาะของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะถูกควบคุมด้วยการโก่งเดาะทั้งเสา และกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงจะยังคงมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ด้วยอัตราส่วนที่ไม่ต่างจากเดิม

5. เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดให้มีค่าลดลง การโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากการบิดจะเข้ามามีอิทธิพลต่อการโก่งเดาะของเสาและส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา ในเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์ที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดลดลงและมีระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างจุดรับแรงกับจุดกึ่งกลางเสาเท่ากับ 35 มม. สามารถให้กำลังรับน้ำหนักมากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงได้เมื่อเสามีค่าพารามิเตอร์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสม คือเสาที่มีอัตราส่วน 1:3 กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะมีค่ามากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเมื่อความยาวเสามีค่ามากกว่า 3.04 เมตร โดยยิ่งความลึกของระยะลอนและความยาวคลื่นมีค่าสูงขึ้นกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาจะมีค่าสูงขึ้น และในเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:3.75 กำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์จะให้ค่าที่มากกว่าเสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรงเมื่อความยาวเสามีค่ามากกว่า 3.04 เมตร

6. เมื่อต้องการเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดน้อย เพื่อให้สอดคล้องกับงานทางสถาปัตยกรรม การใช้เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวรูปทรงคลื่นไซน์แทนการใช้เสาหน้าตัดรูปตัวไอที่มีแผ่นเอวเป็นเส้นตรง สามารถทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสาสูงขึ้นได้ เช่นเมื่อเสาที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหน้าตัดเท่ากับ 1:3 และ 1:3.75 เป็นต้น และความลึกของระยะลอนและความยาวคลื่น เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสามีค่าสูงขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] Pasternak, H., & Kubieniec, G. (2010). Plate girders with corrugated webs. **Journal of Civil Engineering and Management**, 16, pp. 166-171.
- [2] Dabon, M., Elamary, A. (2006). Flange compactness effects on the behavior of steel beams with corrugated webs. **JES. Journal of Engineering Sciences**, 34 (No. 5), pp. 1507-1523.
- [3] Elamary A., Alharthi Y., Sharaky I. (2021). Behavior of steel beams with different web profiles along the beam length. **Journal of Constructional Steel Research**, 185, 106875.
- [4] Hassanein M.F., Elkawas A.A., Shao Y.-B. (2020). Assessment of the suitability of eurocode design model for corrugated web girders with slender flanges. **Structures**, 27, pp. 1551-1569.
- [5] Li G.-Q., Jiang J., Zhu Q. (2015). Local buckling of compression flanges of H-beams with corrugated webs. **Journal of Constructional Steel Research**, 112, pp. 69-79.
- [6] Shao Y.-B., Elsisy A.R., Hassanein M.F. (2021). On the out-of-plane stiffness of I-section girders with corrugated webs using elastic finite element analyses. **Structures**, 29, pp. 1242-1258.
- [7] Kucukler M. (2020). Flexural buckling behaviour and design of duplex and ferritic stainless steel I-section columns. **Thin-Walled Structures**, 156, 106953.
- [8] de Oliveira J.P.S., Calenzani A.F.G., Fakury R.H., Ferreira W.G. (2016) Elastic critical moment of continuous composite beams with a sinusoidal-web steel profile for lateral-torsional buckling. **Engineering Structures**, 113, pp. 121-132.
- [9] Afshan S., Zhao O., Gardner L. (2019) Standardised material properties for numerical parametric studies of stainless steel structures and buckling curves for tubular columns. **Journal of Constructional Steel Research**, 152, pp. 2-11.
- [10] De'nan F., Hasan H., Choong K. (2015) Experimental study on lateral torsional buckling of triangular web profile steel section. **Applied Mechanics and Materials**, 802, pp. 178-183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชยสิทธิ์ สีหิโสภณ
วัน เดือน ปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ 2538 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	16 รามคำแหง 60 แยก 1 (สวนสน 1) แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพ 10240
ประวัติการศึกษา	2560 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 2) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ความชำนาญเฉพาะด้าน	การออกแบบโครงสร้างสะพาน
ประสบการณ์การทำงานและผลการวิจัย	
พ.ศ.2560-2561	วิศวกรโครงสร้าง Aurecon Consulting (Thailand)
พ.ศ.2561-2566	วิศวกรโครงสร้าง TEAM Consulting Engineering and Management PCL
ปัจจุบัน	วิศวกรโครงสร้าง Aurecon Consulting (Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้