

การวิเคราะห์และศึกษาโดยการทดลองของโครงสร้างเรซินดีล



นาย อติสร บรรเท็งไพบูลย์

006304

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

i 18174164

ANALYSIS AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION
OF VIERENDEEL TRUSS STRUCTURES

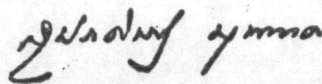
Mr. Adisorn Bunternpipiboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1981

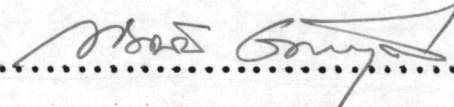
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และศึกษาโดยการทดลองของโครงสร้างเวียเรนดีล
โดย นาย อติสร บรรเทิงไพบูลย์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ ปุณนาค)

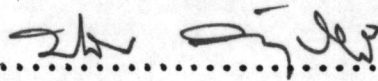
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



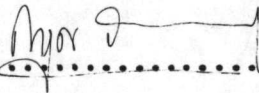
..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทักสิน เทพชาตรี)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวีเชียร)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และศึกษาโดยการทดลองของโครงสร้างเวีย เรนดิล
ชื่อนิสิต นาย อติศร บรรเทิงไพบูลย์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2524

บทคัดย่อ



งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเวีย เรนดิลและตรวจสอบผลการวิเคราะห์ด้วยการทดลอง วิธีการวิเคราะห์ทางทฤษฎีที่ใช้ คือ วิธีการกระจายโมเมนต์ วิธีพลังงานเสมือนและวิธีวิเคราะห์โดยแมทริก โครงสร้างที่ทดลองเพื่อตรวจสอบพฤติกรรม เป็นโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีต เสริม เหล็กและ โครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก

การวิเคราะห์ทั้งสามวิธีให้ค่า โมเมนต์สมมูลย์ในส่วนของโครงสร้างและระยะ เคลื่อนที่ของจุดต่อใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับผลการทดลองสำหรับโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก ส่วนโครงสร้างที่เป็นคอนกรีต เสริม เหล็กให้ค่าแตกต่างจากการวิเคราะห์อยู่บ้างทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นทำให้คอนกรีตเกิดรอยแตกกว้างจึงทำให้ประสิทธิภาพของจุดต่อของโครงสร้างลดลง แต่ส่วนของโครงสร้างที่ไม่เกิดรอยแตกกว้างให้ค่าโมเมนต์สมมูลย์ใกล้เคียงกับทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์

การวิบัติของโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีต เสริม เหล็ก เกิดที่บริเวณจุดต่อของโครงสร้าง เนื่องจาก เหล็ก เสริมรับแรงดึงถึงจุดคดฉาก ส่วนโครงสร้างที่ทำด้วย เหล็ก เกิดวิบัติ เนื่องจากจุดต่อของส่วนโครงสร้างเกิดข้อหมุนพลาสติกและการเข้านข้างของ โครงสร้าง

สรุปได้ว่าทฤษฎีการวิเคราะห์ที่ได้ศึกษาสามารถบรรยายพฤติกรรมในช่วงอีลาสติกของโครงสร้างเวีย เรนดิลได้เป็นอย่างดี

2

Thesis Title	Analysis and Experimental Investigation of Vierendeel Truss Structures
Name	Mr. Adisorn Bunternngpiboon
Thesis Advisor	Assistant Professor Karoon Chandrangsu, Ph.D.
Department	Civil Engineering
Academic Year	1981

ABSTRACT

This research reviews the method of analysis for the vierendeel structures and compares the results with the experiments. Three methods of analysis, namely, the moment distribution method, the virtual work method, and the matrix displacement method, were investigated. Experiments on reinforced concrete and steel models of the vierendeel structure were performed and the results compared with these theoretical analyses

It was concluded that test results are in good agreement with the methods of analysis in terms of the bending moments. However, considerable discrepancy occurred for the joint displacements in the case of reinforced concrete structure, which is due to partial loss of joint rigidity after concrete cracking.

Failure of the reinforced concrete model started at the joint resulting from yielding of reinforcement while the failure of the

steel model was induced from the plastic hinge forming at the joint accompanying with lateral instability.

Thus, those methods of analysis can well predict the elastic behaviour of the vierendeel structure.

กิตติกรรมประกาศ



ในการเขียนวิทยานิพนธ์นี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. การุญ
จันทรางศู ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบแก้ไข
วิทยานิพนธ์จนจบ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วินิต
ช่อวิเชียร, รองศาสตราจารย์ ดร. ปณิตาน ลักคุณะประสิทธิ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ
เทพชาตรี ที่กรุณาตรวจวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาของผู้เขียน บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้เงินอุดหนุนการ
วิจัยและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี, รองศาสตราจารย์ ดร. ปณิตาน ลักคุณะประสิทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ ภาควิชา
วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือสำหรับ
การทดลอง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมโยธาและเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือใน
การวิจัยครั้งนี้

อดิศร บรรเทิงไพบูลย์

บทคัดย่อภาษาไทย -----	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ -----	จ
กิตติกรรมประกาศ -----	ช
สารบัญ -----	ช
รายการตารางประกอบ -----	ญ
รายการรูปประกอบ -----	ฎ
สัญลักษณ์ -----	ด
นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค -----	ด
บทที่	
1. บทนำ -----	1
1.1 ความ เป็นมาของปัญหา -----	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย -----	1
1.3 ขอบ เขตของการวิจัย -----	2
2. ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา -----	3
3. ทฤษฎี -----	6
3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีการกระจายโมเมนต์ -----	6
3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีพลังงานเสมือน -----	15
3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีแมทริก -----	25
3.4 การวิเคราะห์หาค่าระยะโก่งสำหรับโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีต เสริมเหล็ก -----	32
4. การตรวจสอบพฤติกรรมของโครงสร้างเวีย เรนติลด้วยการทดลอง ---	34
4.1 วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติการทดลอง -----	34
4.2 การออกแบบโครงสร้างจำลอง -----	35
4.3 วิธีการทดลอง -----	35
4.4 ผลการทดลอง -----	38



	หน้า
4.5 ลักษณะการวิบัติของโครงสร้าง -----	39
5. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และการทดลอง -----	40
5.1 เปรียบเทียบค่าของโมเมนต์สมดุ่ยระหว่างการวิเคราะห์ ทางทฤษฎีและการทดลอง -----	40
5.2 เปรียบเทียบค่าของแรงเฉือนระหว่างการวิเคราะห์ทาง ทฤษฎีทั้งสาม -----	41
5.3 เปรียบเทียบค่าของแรงร่วมแกนจากการวิเคราะห์ทาง ทฤษฎีทั้งสาม -----	41
5.4 เปรียบเทียบค่าของระยะโก่งระหว่างการวิเคราะห์ทาง ทฤษฎีและการทดลอง -----	42
5.5 ลักษณะการวิบัติ -----	43
5.6 เปรียบเทียบค่าสถิติเนสของโครงสร้าง -----	44
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ -----	45
เอกสารอ้างอิง -----	50
ภาคผนวก -----	117
ประวัติ -----	153

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงอัตราส่วนย่อยระหว่างโครงสร้างจริงและโครงสร้างจำลอง	52
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีที่ 1 -----	53
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 2 -----	54
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเคียดและน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 3 -----	55
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 4 -----	57
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีต กรณีที่ 1 -----	59
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และน้ำหนักกระทำของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 2 -----	60
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 3 -----	61
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเคลื่อนที่และน้ำหนักของโครงสร้างเหล็ก กรณีที่ 4 -----	62
5.1 เปรียบเทียบโมเมนต์สมมูลยับนส่วนโครงสร้างจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี	63
5.2 เปรียบเทียบแรงเฉือนและแรงร่วมแกนบนส่วนของโครงสร้างจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี -----	65
5.3 เปรียบเทียบระยะโก่งจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี -----	66

- 5.4 แสดงคุณสมบัติการรับแรงของคอนกรีตเสริมเหล็กโดย P คือน้ำหนัก
บรรทุก กรณีที่ 1 ----- 67
- 5.5 แสดงคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็กรูปตัว I ของส่วนโครงสร้าง 1,1'
และ 4,4' กรณีที่ 4 ----- 67
- 5.6 แสดงค่าอัตราส่วนของระยะเคลื่อนที่ของโครงสร้างเหล็กต่อโครงสร้าง
คอนกรีตเสริมเหล็กจากการวิเคราะห์โดยวิธีพลังงานเสมือน เมื่อน้ำหนัก
บรรทุก $P = 500$ กก. และมีลักษณะน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบกรณีที่ 1 -- 68
- 5.7 แสดงค่าอัตราส่วนของระยะโก่งของโครงสร้างเหล็กต่อโครงสร้าง
คอนกรีตเสริมเหล็กจากผลการทดลองเมื่อน้ำหนักบรรทุก $P = 500$ กก.
และมีลักษณะน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบกรณีที่ 1 ----- 68

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงลักษณะโครงสร้างเวียเรนคัล -----	69
2.1 แสดงการหาค่าสถิติเฟเนสของส่วนโครงสร้างกรณีต่าง ๆ -----	69
3.1.1 ลักษณะของโครงสร้างเวียเรนคัลที่สมมาตรตามเส้นแบ่งครึ่งความสูง ----	70
3.1.2 ลักษณะของโครงสร้างเปิด -----	70
3.1.3 แสดงลักษณะการแยกส่วนโครงสร้างเมื่อมีแรงมากกระทำ -----	70
3.1.4 ชนิดของจุดต่อในโครงเปิด -----	71
3.1.5 แสดงขั้นตอนในการหาค่าโมเมนต์จากความสัมพันธ์ของการหมุน -----	72
3.1.6 แสดงการหาค่าแรงเฉือนเพื่อหาค่าโมเมนต์ปลายยึด -----	72
3.1.7 แสดงการรวมของการหาระยะโก่งโดยการแยกรูปของส่วนของโครงสร้าง	73
3.1.8 แสดงการหมุนของส่วนของโครงสร้างที่จุดต่อ i ของโครงสร้าง -----	73
3.1.9 แสดงความต่อเนื่องของระยะโก่ง -----	74
3.2.1 แสดงการเป็น Three-hinged frame -----	74
3.2.2 แสดงโมเมนต์ diagram ที่เกิดขึ้นเมื่อใส่ redundant X_i -----	74
3.2.3 แสดงการหาค่าแรงเฉือน $V_{i,0}$ และโมเมนต์ $M_{i,0}$ -----	75
3.2.4 แสดงการเกิดของโมเมนต์จากน้ำหนักกระทำ -----	75
3.2.5 แสดงการเปลี่ยนให้อยู่ในแนวแกนและตั้งฉากกับคอร์ดเมื่อคอร์ดเอียงใน panel $i, i-1$ -----	75
3.2.6 แสดงการเคลื่อนที่ของส่วนโครงสร้าง $i, i-1$ เป็นแบบปลายยึดเมื่อมีแรง เฉือน V_i กระทำ -----	76
3.2.7 แสดงการใส่แรง $P = 1$ หน่วยเมื่อต้องการหาค่าระยะโก่งที่จุดต่อ 3 และฟังก์ชันของ \bar{M} เมื่อใส่แรง -----	76

	หน้า
3.2.8 แสดงค่าโมเมนต์ไตอะแกรมของน้ำหนักกระทำและค่าโมเมนต์ไตอะแกรม ของน้ำหนักระทำหนึ่งหน่วย -----	77
3.2.9 แสดงค่าแรงเฉือนและแรงในแนวแกน เพื่อหาค่าระยะโก่งที่จุดกึ่งกลาง ---	78
3.2.10 แสดงโมเมนต์ไตอะแกรมที่ได้จากน้ำหนักระทำใด ๆ -----	78
3.2.11 แสดงโมเมนต์ไตอะแกรมที่ได้จากน้ำหนักระทำหนึ่งหน่วย เพื่อหาระยะ โก่งที่จุดต่อ 2 -----	78
3.3.1 แสดงการหาค่าสตีเฟนสมทริกในกรณีที่ไม่คิดผลจากแรงในแนวแกน -----	79
3.3.2 แสดงทิศทางใน local coordinate เมื่อคิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงใน แนวแกน -----	80
3.3.3 แสดงทิศทางใน global coordinate -----	80
3.3.4 Loading condition -----	80
3.3.5 System coordinates เมื่อไม่คิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงในแนวแกน ---	81
3.3.6 แสดงการหาค่า a เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ไป 1 หน่วยไม่คิดการเปลี่ยน แปรรูปทรงในแนวแกน -----	81
3.3.7 System coordinates เมื่อคิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงในแนวแกน -----	82
3.3.8 แสดงการหาค่า a เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ไป 1 หน่วย คิดการเปลี่ยนแปลงรูป ทรงในแนวแกน -----	82
4.1 แสดงตำแหน่งตีด เกจวัดความเครียดของโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีต เสริม เหล็กน้ำหนักรรทุกกรณีที่ 1 -----	83
4.2 แสดงตำแหน่งตีด เกจวัดระยะการเคลื่อนที่และตำแหน่งรับน้ำหนักรรทุก P ของโครงสร้างน้ำหนักรรทุกกรณีที่ 1 -----	83
4.3 แสดงตำแหน่งตีด เกจวัดความเครียดและตำแหน่งตีด เกจวัดระยะการเคลื่อน ที่ของโครงสร้างน้ำหนักรรทุกกรณีที่ 2 ถึง 4 -----	83

	หน้า
4.4 แสดงตำแหน่งน้ำหนักรรทก P กรณีที่ 2 ของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก รูปตัว I -----	84
4.5 แสดงตำแหน่งน้ำหนักรรทก P กรณีที่ 3 ของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก รูปตัว I -----	84
4.6 แสดงตำแหน่งน้ำหนักรรทก P กรณีที่ 4 ของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก รูปตัว I -----	84
4.7 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก -----	85
4.8 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กรูปตัว I -----	86
4.9 แสดงการติดเอกวัตความเครียดของโครงสร้างในกรณีที่ 1 -----	87
4.10 แสดงตำแหน่งและวิธีติดตั้งแม่แรงน้ำหนักรรทกของโครงสร้างกรณีที่ 1 -----	87
4.11 แสดงลักษณะการวิบัติของโครงสร้างกรณีที่ 1 -----	88
4.12 แสดงการโก่งตัวของโครงสร้างหลังจากเกิดการวิบัติของโครงสร้างกรณีที่ 1 -	89
4.13 แสดงตำแหน่งติดตั้งเอกวัตรระยะทาง -----	90
4.14 แสดงตำแหน่งแม่แรงน้ำหนักรรทกในกรณีที่ 2 -----	90
4.15 แสดงค่าน้ำหนักรรทก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของโครงสร้าง กรณีที่ 1 -----	91
4.16 แสดงค่าน้ำหนักรรทก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของโครงสร้าง เหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2 -----	91
4.17 แสดงค่าน้ำหนักรรทก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของโครงสร้าง เหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3 -----	92
4.18 แสดงค่าน้ำหนักรรทก P และอัตราการเพิ่มน้ำหนักแต่ละขั้นตอนของโครงสร้าง เหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4 -----	92
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กรูปตัว I ภายใต้แรงดัด -----	93

	หน้า	
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของ เหล็ก Ø 12 มม. ภายใต้แรงดึง -----	93
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างคอนกรีตเสริม เหล็กกรณีที่ 1 -----	94
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2 -----	95
4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบน ส่วนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3 -----	96
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำกับความเครียดที่เกิดขึ้นบน โครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4 -----	97
4.25	แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำหนักต่อน้ำหนักวิบัติกับระยะโก่ง ต่อระยะโก่งตอนวิบัติของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก กรณีที่ 1 ----	99
4.26	แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำต่อน้ำหนักกระทำมากที่สุดกับ ระยะโก่งต่อระยะโก่งมากที่สุดของโครงสร้างเหล็กรูปตัว I ในกรณีที่ 2 --	100
4.27	แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำต่อน้ำหนักกระทำมากที่สุดกับ ระยะโก่งต่อระยะโก่งมากที่สุดของโครงสร้างเหล็กรูปตัว I ในกรณีที่ 3 --	101
4.28	แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำต่อน้ำหนักกระทำมากที่สุดกับ ระยะโก่งต่อระยะโก่งมากที่สุดของโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4 ---	102
4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะโก่งของจุดต่อที่เกิด ขึ้นบนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกรณีที่ 1 -----	103
4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะโก่งของจุดต่อที่เกิด ขึ้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 2 -----	104
4.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะโก่งของจุดต่อที่เกิด ขึ้นบนส่วนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 3 -----	105

4.32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและระยะโก่งของจุดต่อที่เกิด ชั้นบนโครงสร้างเหล็กรูปตัว I กรณีที่ 4 -----	106
4.33	แสดงขนาดและลักษณะการค้ำยันด้านข้าง -----	107
4.34	แสดงการแตกร้าวของจุดต่อและส่วนของโครงสร้างที่น้ำหนักบรรทุกใด ๆ --	108
4.35	แสดงการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่เกิดขึ้นสำหรับโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็ก ---	109
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และโมเมนต์สมมูลย์ของ ตำแหน่งที่ทำการวัดความเครียดของน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 1 -----	110
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และโมเมนต์สมมูลย์ของ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการวัดความเครียดของน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 2 ----	111
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์สมมูลย์ของ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการวัดความเครียดของน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 3 ----	112
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และโมเมนต์สมมูลย์ที่ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทำการวัดความเครียดของน้ำหนักบรรทุกกรณีที่ 4 ----	113
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก P และระยะเคลื่อนที่ทาง ด้านข้าง -----	114
6.1	แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์สมมูลย์บนส่วนของโครงสร้างเมื่อ น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดเท่ากันโดยกำหนดให้ความสูงของโครงสร้าง คงที่และระยะระหว่างจุดรองรับคงที่ -----	115
6.2	แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์สมมูลย์บนส่วนโครงสร้าง เมื่อน้ำหนัก บรรทุก P และระยะระหว่างจุดรองรับคงที่โดยที่มีความสูงแตกต่างกัน ---	115
6.3	แสดงลักษณะการจัดส่วนโครงสร้างในแนวตั้งให้ชิดกัน ในช่วงที่อยู่ใกล้จุด รองรับเพื่อให้โมเมนต์สมมูลย์ของคอร์ดแตกต่างกันน้อย -----	116
6.4	แสดงการรับแรงทางด้านข้างของโครงสร้างที่ประกอบจากโครงสร้าง เวีย เรนดิลซึ่งจะประมาณการ เกิดจุดข้อหมุนที่กึ่งกลางความสูงของชั้น ----	116

สัญลักษณ์

h	=	ความสูงของโครงสร้าง
l_n	=	ความยาวของแพแนลที่ n
K	=	สติฟเนส
M_{AB}	=	โมเมนต์ของส่วนโครงสร้าง AB
θ_i	=	มุมที่จุดต่อ i หมุนไป
Δ_{i0}	=	ระยะโก่งที่จุดต่อ i
$\delta_{i,i}$	=	มุมสัมพัทธ์ที่เกิดที่จุดต่อ i เมื่อให้แรง 1 หน่วยกระทำที่จุดต่อ i
M_o	=	โมเมนต์เมื่อโครงสร้างเป็นคานช่วงเดียวรับแรงกระทำภายนอกซึ่งเขียนได้ในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์
\bar{M}	=	ค่าของโมเมนต์ในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่เกิดจากการใช้น้ำหนัก 1 หน่วยกระทำที่จุดต่อที่ต้องการหาค่าระยะโก่ง
b	=	แมทริกของการเปลี่ยนแรงระบบโครงสร้างไปเป็นแรงในส่วนโครงสร้าง
a	=	แมทริกที่ใช้เปลี่ยนระยะการเคลื่อนที่ในระบบโครงสร้างไปเป็นระยะการเคลื่อนที่ในส่วนโครงสร้าง
r	=	เวกเตอร์ของระยะเคลื่อนที่ของจุดต่อในระบบโครงสร้าง
v	=	เวกเตอร์ของการแปรเปลี่ยนรูปทรงของส่วนโครงสร้าง



นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค

Vierendeel Structure	= โครงสร้างแบบเวียเรนต์
Truss	= โครงข้อหมุน
Rigid Joint	= ข้อยึดแข็ง
Diagonal Member	= ส่วนโครงสร้างในแนวทะแยง
Span length	= ช่วงระหว่างเสา
Indeterminate	= อินดีเทอร์มิเนท
Degree of Indeterminacy	= ดีกรีของอินดีเทอร์มิแนนซี
panel	= แผง
Cantilever Moment Distribution	= การกระจายโมเมนต์ของแคนติลิวเวอร์
Cantilever beam	= คานยื่น
Member	= ส่วนของโครงสร้าง
Chord	= คอร์ด
Distribution factor	= แฟคเตอร์ของการกระจาย
fixed end moment	= โมเมนต์ปลายยึด
Carry-Over factor	= แครรี่โอเวอร์แฟคเตอร์
rotation contribution	= การหมุนต่อเนื่อง
Slope-shear equation	= สมการความลาดและแรงเฉือน
Open frame	= แบบโครงสร้างเปิด
Load	= น้ำหนักบรรทุก
deformations of this member	= การเปลี่ยนรูปของส่วนโครงสร้างนี้
Statically Indeterminate	= สะแตติคอลอินดีเทอร์มิเนท
Three hinged frame	= ระบบโครงข้อหมุนสามข้อหมุน
Translation	= การเคลื่อนที่

- force transformation matrix = แมทริกของการ เปลี่ยนแรงระบบโครงสร้าง
ไปเป็นแรงในส่วนโครงสร้าง
- Displacement transformation matrix = แมทริกที่ใช้เปลี่ยนระยะการ เคลื่อนที่ในระบบ
โครงสร้างไปเป็นระยะการ เคลื่อนที่ในส่วน
โครงสร้าง
- Member Stiffness Matrix = สติฟเนสแมทริกของส่วนโครงสร้าง