โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติ ด้วยภาษา Java

นายนัฐชา เพชรดี

นายวิชเญศ ศักดิ์ศรี

นายยุทธภูมิ พูลการชาย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 12 ก.ย. 2556
เลขทะเบียน 164327
เลขเรียกหนังสือ ฟร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2555

โครงงานวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมโยธา

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา : โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติ ด้วยภาษา Java

ผู้ดำเนินงาน : นายนัฐชา เพชรดี รหัสประจำตัว 52363950

นายวิชเญศ ศักดิ์ศรี รหัสประจำตัว 52364179

นายยุทธภูมิ พูลการขาย รหัสประจำตัว 52364735

ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมโยธา : ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา : 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิศวกรรมโยธาฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมโยธา

..... ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์บุญพล มีไชโย)

..... กรรมการ

(อาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์)

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา : โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติ ด้วยภาษา Java
ผู้ดำเนินงาน : นายนัฐชา เพชรดี รหัสประจำตัว 52363950
นายวิชเญศ ศักดิ์ศรี รหัสประจำตัว 52364179
นายยุทธภูมิ พูลการขาย รหัสประจำตัว 52364735
ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมโยธา : ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ
สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา : 2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์โครงข้อหมุน ในการเรียนของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา ในการดำเนินการวิจัยนี้ได้ศึกษาการเขียนซอฟแวร์ JLab ด้วยภาษา Java และสร้างโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java โดยวิธี Direct Stiffness จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับโปรแกรมคำนวณวิเคราะห์โครงสร้าง SUTStructor จากการพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์โครงสร้างจากซอฟต์แวร์ JLab ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ Direct Stiffness และ Method of Joint เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่แสดงออกมาจากโปรแกรม SUTStructor พบว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาสามารถแสดงผลการคำนวณและวิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับผลจากโปรแกรม SUTStructor ทำให้ เมื่อนักศึกษาต้องการการดึงโจทย์ตัวอย่างออกมาทำแบบฝึกหัดก็ทำได้สะดวก จากหลักการออกแบบนี้ยังช่วยให้นักศึกษาสามารถที่จะเปิดโจทย์ตัวอย่างจากโปรแกรมขึ้นมาเป็นตัวอย่างและดัดแปลงโจทย์ตัวอย่างเมื่อทำการวิเคราะห์บนโปรแกรมก็จะทำให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเรียนรู้จากการเปรียบเทียบได้ นอกจากนี้แล้วโปรแกรมได้รับการออกแบบให้สามารถเรียนรู้การใช้งานได้รวดเร็วและมีเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการป้อนโครงสร้าง ทำให้วิศวกรที่นำโปรแกรมไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างขนาดเล็ก สามารถลดเวลาในการทำงานวิเคราะห์โครงข้อหมุนได้

Civil Engineering research Project Topics : Analysis Program of 2D trusses by Java

Research Team : Nattacha Petchdee 52363950

Witchchayes Saksri 52364179

Yuttaphum Pullgarnkai 52364735

Project Advisor : Asst. Prof. Dr. Sasikorn Leungvichcharoen

Major : Civil Engineering

Department : Civil Engineering, Faculty of Engineer, Naresuan University

Academic Year : 2012

Abstract

This project has been made according to the objectives in program development in helping the truss calculation and analysis of civil engineering students' learning. For research conducting, there are study of JLab software writing with Java language and creating the program for the method of joint analysis by using Java language and by using direct stiffness method. Then, the result from the program should be taken to compare with the structural analysis program of SUTstructor. From developing the program in helping the structural calculation and analysis for the JLab software by using the Direct stiffness method and the Method of joint. After getting the result, it should be compared with the result shown from SUTstructor program. It was found that the program developed is able to show the calculation result and the analysis which are closed to the result from SUTstructor program. This study finding results in making students who would like to take out the sample questions to practice feel more convenient. From this design, it also helps students to be able to open up the sample questions from the program to be the model and to adjust the question. When students do the analysis on the program, they will see the differences of the rapid change which results in creating the learning from this comparison. However, the program has been designed to be able to facilitate the filling of structure. The engineers taking this program to apply in their analysis of the small structure are able to decrease their time consuming in the structural analysis more.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางและการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยนี้ ทำให้การดำเนินงานเป็นไปด้วยความราบรื่น

ขอขอบพระคุณท่านกรรมการอาจารย์บุณพล มีไชโย ,อาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์ และอาจารย์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และให้คำแนะนำที่ดีแก่คณะผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้อุปการคุณทางด้านจิตใจ และทางด้านการเงิน จนกระทั่งงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

นัฐชา เพชรดี
วิชเญศ ศักดิ์ศรี
ยุทธภูมิ พูลการชาย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งบประมาณที่ใช้	3

2 หลักการและทฤษฎี

2.1 ภาษาจาวา	4
2.2 ซอฟแวร์ JLab	9
2.3 โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ SUTStructor 3.50	16
2.4 โครงข้อหมุนหรือโครงถัก (Truss)	18

3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดเนื้อหาที่จะทำการวิจัย	34
3.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรม JLab ด้วยภาษา Java	34
3.3 การสร้างภาพโครงข้อหมุนโดยซอฟแวร์ JLab ด้วย Dwindow	36
3.4 การคำนวณโครงข้อหมุนด้วยโปรแกรม SUTStructor	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล	
	4.1 การสร้างแบบตัวอย่างการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate	34
	4.2 การสร้างแบบตัวอย่างวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate	43
	4.3 การสร้างโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java	63
5.	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการวิจัย	74
	5.2 ข้อจำกัด	74
	5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ	74
บรรณานุกรม		76
ภาคผนวก		77
ประวัติการศึกษา		80

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สร้างโปรแกรมซอร์สโค้ด	7
2	การรันโปรแกรม เพื่อดูผลลัพธ์ทางจอภาพโดยการรันไฟล์ไบต์โค้ด	8
3	การติดตั้งและแก้ไขโปรแกรม (Config) ด้วยโปรแกรม Editplus	9
4	วินโดว์ที่แสดงหลังการสั่งงานโปรแกรม JLab	10
5	เมนูการเริ่มเขียนโปรแกรม	10
6	กล่องโต้ตอบสำหรับใส่ชื่อโปรแกรม	10
7	โปรแกรมเริ่มต้นที่ระบบตั้งไว้ให้	11
8	เมนูสั่งให้โปรแกรมเริ่มทำงาน	11
9	ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการสั่งโปรแกรมทำงาน	11
10	โปรแกรมลากเส้นโดยเมท็อด drawLine ของ DWindow	13
11	โปรแกรมลากเส้นที่ปรับปรุงจากภาพที่ 10 ที่ใช้ตัวแปรเสริม	13
12	โปรแกรมลากเส้นที่กำหนดด้วยจุดเริ่ม ความยาวเส้น และมุม	14
13	ตัวแปลโปรแกรมพบข้อผิดพลาดทางไวยากรณ์ พร้อมแนะนำตำแหน่งที่พบ	14
14	ตัวแปลโปรแกรมแจ้งข้อผิดพลาดและตำแหน่งที่แจ้งอาจไม่ชัดเจนนัก	15
15	โปรแกรมนี้ไม่มีข้อผิดพลาดทางไวยากรณ์ แต่สั่งทำงานไม่ได้ เพราะเขียน main ผิด	16
16	คำที่สะกดผิดอาจตรวจสอบได้ด้วยการสังเกตสีของคำระหว่างการเขียนโปรแกรม	16
17	แสดงโครงถักแต่ละรูปทรงเมื่อมีแรงกระทำ	19
18	แสดงส่วนประกอบของโครงถัก	20
19	แสดงโครงถักแบบโครงหลังคา	21
20	แสดงโครงถักแบบสะพาน	22
21	เสถียรภาพภายนอก	23
22	เสถียรภาพภายใน	24
23	โครงข้อหมุนประกอบที่ขาดเสถียรภาพภายใน	24
24	แสดงแนวแรงของชิ้นส่วน	25
25	แผนผังขั้นตอนดำเนินการวิจัย	28
26	แสดง 4 ส่วนของโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วย JLab	29
27	ตัวอย่างการวาดภาพโครงข้อหมุนพร้อมคำอธิบาย	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ผลลัพธ์ตัวอย่างการวาดภาพโครงข้อหมุน (Truss)	32
29	แสดงแผนผังการวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยวิธี Direct Stiffness	33
30	ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate	34
31	Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (1)	35
32	Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (2)	36
33	Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (3)	37
34	Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (4)	38
35	Example 1 Determinate Truss Analysis	38
36	Example 1 Solution by JLab (1)	39
37	Example 1 Solution by JLab (2)	39
38	Example 1 Solution by JLab (3)	39
39	Example 1 Solution by SUTStructor (1)	40
40	Example 1 Solution by SUTStructor (2)	40
41	Example 1 Solution by SUTStructor (3)	41
42	ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate	43
43	Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (1)	44
44	Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (2)	45
45	Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (3)	46
46	Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (4)	47
47	Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (5))	48
48	Example 2 Indeterminate Truss Analysis	48
49	Example 2 Solution by JLab (1)	49
50	Example 2 Solution by JLab (2)	49
51	Example 2 Solution by JLab (3)	50
52	Example 2 Solution by SUTStructor (1)	50
53	Example 2 Solution by SUTStructor (2)	51
54	Example 2 Solution by SUTStructor (3)	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
55	ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate	53
56	Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (1)	54
57	Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (2)	55
58	Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (3)	56
59	Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (4)	57
60	Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (5)	58
61	Example 3 Indeterminate Truss Analysis	58
62	Example 3 Solution by JLab (1)	59
63	Example 3 Solution by JLab (2)	59
64	Example 3 Solution by JLab (3)	60
65	Example 3 Solution by SUTStructor (1)	60
66	Example 3 Solution by SUTStructor (2)	61
67	Example 3 Solution by SUTStructor (3)	61
68	Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (1)	63
69	Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (2)	64
70	Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (3)	65
71	Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (4)	66
72	Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (5)	67
73	Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (6)	68
74	Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (7)	69
75	Example 4 Direct Stiffness method	70
76	Example 4 Direct Stiffness method Solution by JLab (1)	70
77	Example 4 Direct Stiffness method Solution by JLab (2)	71
78	Example 4 Direct Stiffness method Solution by JLab (3)	71
79	Example 4 Solution by SUTStructor (1)	72
80	Example 4 Solution by SUTStructor (2)	72
81	Example 4 Solution by SUTStructor (3)	73

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงสัญลักษณ์และเครื่องหมายที่ใช้แทนแรง	26
2	แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 1	41
3	แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 1	41
4	แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 1 (ต่อ)	42
5	แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 2	52
6	แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 2	52
7	แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 3	62
8	แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 3	62
9	แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 4	73
10	แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 4	73

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

งานออกแบบโครงสร้างถือเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในสาขาวิศวกรรมโยธา โดยการออกแบบโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ (1) การคำนวณแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อองค์ประกอบของโครงสร้าง และ (2) การเลือกวัสดุและขนาดที่เหมาะสมขององค์ประกอบ ซึ่งในส่วนของการคำนวณนั้นถ้าโครงสร้างมีหลายองค์อาคาร (Member) และเป็นโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนตทางสถิต (Statically indeterminate) หากวิเคราะห์ด้วยมือก็จะมีขั้นตอนการคำนวณหลายขั้นตอน ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากแต่ละขั้นตอน ส่งผลกระทบให้งานส่วนอื่นเกิดความเสียหายได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์โครงสร้างจากซอฟต์แวร์ JLab ซึ่งเป็นซอฟแวร์ที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมที่ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ประสิทธ์จูตระกูล เป็นผู้เขียนพัฒนาขึ้น โดยมีคุณสมบัติที่สามารถใช้อ้างอิงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์โครงสร้างที่จะสามารถแสดงผลระหว่างขั้นตอนการวิเคราะห์และสามารถเลือกดูรายละเอียดแต่ละส่วนของการคำนวณแบบทันทีทันใดพร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์สุดท้ายออกมาและมีส่วนโต้ตอบกับผู้ใช้ (user interface) ที่ง่ายต่อการเรียนรู้และการนำไปใช้งานเพื่อให้ผู้เรียนสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการอ้างอิงการวิเคราะห์และสามารถตรวจสอบกระบวนการคิดของผู้เรียนด้วยตัวเองได้โดยเปรียบเทียบกับผลที่แสดงออกมาจากโปรแกรม SUTStructor และทำให้นักศึกษาได้เรียนรู้วิธีการวิเคราะห์แบบ Direct Stiffness และ Method of Joint เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการใช้งานจริงหรือสำหรับวิศวกรที่ต้องการจะหาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติเพื่อนำไปออกแบบ ผู้วิจัยจึงได้คิดพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อการเรียนการสอนขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติ ในระนาบ ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาจาวาด้วยซอฟแวร์ JLab

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์โครงถักด้วยภาษาจาวา นี้จะมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งวิชา Engineering Mechanics I , Mechanics of Materials I , Mechanics of Materials II , Structural Analysis I , Structural Analysis II และ Building Design ซึ่งการเขียนโปรแกรมภาษาจาวานี้เขียนโดยโปรแกรม JLab และใช้วิธี Method of Joint และ Direct Stiffness Method ในการคำนวณและวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติ ในระนาบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงาน

มีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดดังนี้

1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวา
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม JLab
3. ทำการเขียนโปรแกรม
4. ตรวจสอบและแก้ไข
5. เปรียบเทียบและสรุปผล

ระยะเวลาดำเนินการ / การดำเนินการ	พ.ศ. 2555 - 2556						
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาจาวา							
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม JLab							
3. ทำการเขียนโปรแกรม							
4. ตรวจสอบและแก้ไข							
5. เปรียบเทียบและสรุปผล							

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษาจาวานี้ จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจกับวิชาที่เรียนได้ง่าย และสะดวกรวดเร็วขึ้น ซึ่งจะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยตัวเอง ทำให้มีตัวช่วยในการคำนวณ จึงให้ความรู้สึกว่าการวิเคราะห์โครงข้อหมุนเป็นเรื่องที่ไม่ยาก สามารถทำได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นและเพื่อเสริมสร้างทักษะและความสนใจในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์แก่นิสิต และผู้ที่สนใจได้ศึกษาและนำไปพัฒนาต่อไป

1.6 งบประมาณที่ใช้ (รายการและวัสดุอุปกรณ์)

1. ค่าหมึกพิมพ์	1,000	บาท
2. ค่า CD-ROM	200	บาท
3. ค่าหนังสือและแผ่นโปรแกรม	900	บาท
4. ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	900	บาท
รวม	3,000	บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

การศึกษา "โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติ ด้วยภาษา Java" มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์ข้อหมุน ในการเรียนของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ภาษาจาวา

2.2 ซอฟแวร์ JLab

2.3 โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ SUTStructor 3.50

2.4 โครงข้อหมุนหรือโครงถัก (Truss)

2.1 ภาษาจาวา

2.1.1 ความหมายของ ภาษา Java

Summary (ที่มา: www.elearning.msu.ac.th/opencourse/1201104/documents/Ch03.doc) กล่าวว่า Java เป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนคำสั่งสั่งงานคอมพิวเตอร์ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท ซันไมโครซิสเต็มส์ จำกัด (Sun Microsystems Inc.) ในปี ค.ศ. 1991 เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ต่าง ๆ เช่นโทรทัศน์ โทรศัพท์มือถือ โดยมีเป้าหมายการทำงานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง และมีประสิทธิภาพ ใช้เวลาน้อย รวดเร็วในการพัฒนาโปรแกรม และสามารถเชื่อมต่อไปยังแพล็ตฟอร์ม (Platform) อื่น ๆ ได้ง่าย Java เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่งที่มีลักษณะสนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OOP : Object-Oriented Programming) ที่ชัดเจน โปรแกรมต่าง ๆ ถูกสร้างภายในคลาส (Class) โปรแกรมเหล่านั้นเรียกว่า Method หรือ Behavior โดยปกติจะเรียกแต่ละ Class ว่า Object โดยแต่ละ Object มีพฤติกรรมมากมาย โปรแกรมที่สมบูรณ์จะเกิดจากหลาย object หรือหลาย Class มารวมกัน โดยแต่ละ Class จะมี Method หรือ Behavior แตกต่างกันไป

Backup Webpages (ที่มา: www.thaiall.com/java/indexo.html) กล่าวว่า ภาษาจาวา (Java Language) คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท ซันไมโครซิสเต็มส์ เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมที่สนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OOP: Object-Oriented Programming) โปรแกรมที่เขียนขึ้นถูกสร้างภายในคลาส ดังนั้นคลาสคือที่เก็บเมทอด (Method) หรือพฤติกรรม (Behavior) ซึ่งมีสถานะ (State) และรูปพรรณ (Identity) ประจำพฤติกรรม (Behavior)

Summary (ที่มา: www.jhelp.net/article.aspx?id=10066) กล่าวว่า ความหมายที่เราคุ้นเคยก็คงจะเป็นภาษาจาวาและ Java platform ที่รันโปรแกรมจาวา แต่ถ้าเรามองจาวาในมุมกว้าง จาวาจะเป็น technology ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมแบบต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ application, applet, web application (servlet & JSP), EJB, และ midlet โดยโปรแกรมเหล่านี้จะมีลักษณะพิเศษที่ต่างจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นในภาษาอื่น อย่าง C หรือ C++ คือ สามารถทำงานได้หลาย platform (อย่างเช่น Windows, Solaris, Linux) โดยไม่จำเป็นต้องเขียนใหม่ หรือ compile ใหม่ ทำให้เราสามารถใช้โปรแกรมเดิมที่เคยพัฒนามาแล้วบน platform หนึ่งไปใช้งานบน platform อื่น ๆ ได้โดยง่าย ซึ่งช่วยประหยัดเวลาและทรัพยากรในการที่จะทำให้โปรแกรมหนึ่งทำงานได้มากกว่าหนึ่ง platform ตัวอย่างเช่น ถ้าเราเขียนโปรแกรมจาวาขึ้นมาบน Windows โปรแกรมที่เราเขียนขึ้นนี้ก็สามารถที่จะทำงานบน Solaris, Linux หรือ Mac ได้โดยไม่ต้องแก้ไขอะไรเลย ไม่ต้อง compile ใหม่ เราสามารถนำ class files ของโปรแกรมที่เราเขียนขึ้นไปใช้งานบน platform อื่น ๆ ได้ทันที

กล่าวโดยสรุป ภาษาจาวา คือ ภาษาที่เอาไว้สำหรับสร้างโปรแกรมขึ้นมาตามความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างหลากหลาย

2.1.2 **ข้อดีของภาษา** Java (ที่มา: สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล, 2553: หน้า 12)

1. ภาษา Java เป็นภาษาโปรแกรมที่ง่ายในการเรียนรู้ ภาษา Java มีคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ เช่น เชื่อมต่อข้ามแพล็ตฟอร์ม (Platforms) ต่าง ๆ ได้ สามารถเขียนโปรแกรมแบบ OOP (Object-Oriented Programming) ได้ง่ายมาก โปรแกรมมีขนาดเล็กและมีวิธีการเขียนไม่ยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษา Java จึงคอมไพล์ได้ง่ายตลอดจนตรวจสอบหาข้อผิดพลาดโปรแกรมได้ง่ายด้วย ภาษา java เป็นภาษาที่ทำความเข้าใจได้ง่ายมาก มีขนาดเล็กและยากที่จะเกิดข้อผิดพลาด เขียนคำสั่งได้ง่าย มีประสิทธิภาพในการทำงานและมีความยืดหยุ่นสูง

2. ภาษา Java เป็นการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ OOP (Object-Oriented Programming) การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ เป็นเทคนิคการเขียนโปรแกรมให้มีลักษณะเป็นโมดูล (Module) แบ่งโปรแกรมเป็นส่วน ๆ ตามสภาวะแวดล้อมการทำงานของโปรแกรมซึ่งเรียกว่า Method โดยทุก Method ก็คือ ระเบียบวิธีหรือการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยจะถูกรวบรวมอยู่ในคลาส ซึ่งหลักการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุจะมององค์ประกอบของโปรแกรมต่าง ๆ เป็นคลาสหรือวัตถุ เรียกว่า Object ตัวอย่างเช่น วัตถุที่มองเห็นได้ เช่น รถ สินค้า หรือ วัตถุที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น เหตุการณ์ต่าง ๆ ข้อมูลต่าง ๆ ของ Object จะถูกซ่อนไว้คลาสเรียกว่า Data Encapsulation ซึ่งมีประโยชน์ในการแก้ไขข้อมูลหรือ Method ใด ๆ ที่อยู่ในคลาส โยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานหรือ

เรียกใช้งานของ Object นั้น นอกจากนั้น Java ยังมีคุณสมบัติการสืบทอด (Inheritance) เพื่อส่งผ่านและถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ของคลาสแม่ไปยังคลาสลูก ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น และมีโครงสร้างการทำงานที่เข้าใจง่ายและมีความสัมพันธ์กัน

3. ภาษา Java เป็นอิสระต่อแพล็ตฟอร์ม (Java is Platform-Independent) ทั้งระดับซอร์สโค้ด (Source Code) และไบนารีโค้ด (Binary Code) ช่วยให้สามารถเคลื่อนย้ายโปรแกรมจากระบบคอมพิวเตอร์หนึ่งไปยังระบบคอมพิวเตอร์อื่นได้อย่างง่ายดาย เพราะว่าโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษา Java ได้รวบรวมคำสั่งต่าง ๆ ไว้ในไลบรารีคลาสพื้นฐานต่าง ๆ เป็น Java Packages ช่วยอำนวยความสะดวกในการเขียนคำสั่ง เมื่อย้ายโปรแกรมไปยังแพล็ตฟอร์มอื่น โดยไม่ต้องเขียนซอร์สโค้ด (Source Code) ขึ้นใหม่ทำให้ประหยัดเวลามาก เมื่อคอมไพล์ซอร์สโค้ด จะได้ไฟล์ไบนารีโค้ด ที่เรียกว่า Bytecode การรันโปรแกรมของ Java จะทำงานในลักษณะอินเทอร์พรีเตอร์ (Interpreter) ของไฟล์ Bytecode ซึ่งสามารถรันบนแพล็ตฟอร์มใด ๆ ก็ได้ รวมทั้งระบบปฏิบัติการต่าง ๆ เช่น ระบบ Windows, Solaris, Linux หรือ MacOS โดยการแปลคำสั่งทีละคำสั่ง แพล็ตฟอร์มที่ Java ทำงานได้จะต้องประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Java Virtual Machine (JVM) และ Java Application Programming Interface (Java API) โดย Java Virtual Machine คือเครื่องมือที่รวบรวมคำสั่งคอมไฟล์และรันโปรแกรม Java ส่วน Java API เป็นกลุ่มของคลาสและอินเตอร์เฟส (Interface) ที่รวมอยู่ในไลบรารีที่เรียกว่า Java Package เช่น java.awt, java.util หรือ java.io เป็นต้น ลักษณะการทำงานของ Java ที่เป็นอิสระต่อแพล็ตฟอร์มโดยการเขียนโปรแกรมเพียงครั้งเดียว แต่สามารถนำไปใช้ทำงานยังเครื่องอื่น ๆ ได้ นั้นเรียกว่า Write once, Run anywhere นั้นเอง

4. ภาษา Java มีระบบการทำงานและมีระบบความปลอดภัยที่ดี Java จะคำสั่งต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของ Java API โดยมีการรวบรวมเป็นคลาสต่าง ๆ ไว้มากมาย ช่วยอำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรม นอกจากนั้นยังมี Garbage Collector โดยมีระบบจัดการหน่วยความจำเพื่อเก็บขยะของโปรแกรมและคืนหน่วยความจำให้กับระบบ โปรแกรมที่เขียนด้วยภาษา Java มีระบบจัดการข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทำงานของโปรแกรมที่เรียกว่า Exception Handling ด้วยทำให้สามารถตรวจสอบโปรแกรม (Debug) โปรแกรมได้ง่ายขึ้น

Java มีระบบความปลอดภัยที่ดี เช่น โปรแกรม Java ที่ทำงานบนเว็บบราวเซอร์ (Web Browser) ที่เรียกว่า Java Applet นั้นจะทำงานเฉพาะบนเครื่องแม่ข่าย (Server) โดยไม่สามารถเข้าถึงเครื่องลูกข่าย (Client) ไปทำลายไฟล์ หรือไฟล์ระบบ (System file) ได้ ทำให้มีระบบความปลอดภัยที่ดี ป้องกันข้อมูลจากไวรัส และโปรแกรมที่เขียนด้วย Java ไม่มีพฤติกรรมเป็นไวรัสได้

2.1.3 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมด้วย Java

การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Java ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้

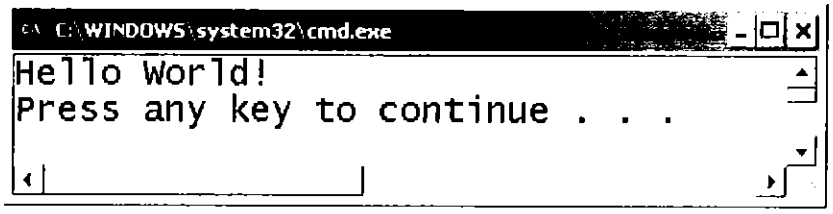
ขั้นตอนที่ 1 สร้างโปรแกรมซอร์สโค้ด โดยการพิมพ์คำสั่งต่าง ๆ ตามหลักการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Java โดยใช้เอดิเตอร์ (Editor) หรือโปรแกรมที่สามารถพิมพ์ข้อความ (Text Editor) และสามารถบันทึกไฟล์เป็นรหัสแอสกี (ASCII) ได้ เช่น โปรแกรม Notepad หรือ โปรแกรม Editplus เป็นต้น หลังจากเขียนโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องทำการบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ที่มีชื่อเดียวกันกับชื่อคลาสของ Java และใช้นามสกุลไฟล์เป็น java ตัวอย่างเช่น TestJava.java

ภาพที่ 1 สร้างโปรแกรมซอร์สโค้ด

ที่มา: สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล. 2553: หน้า 17

ขั้นตอนที่ 2 คอมไพล์โปรแกรมซอร์สโค้ด โดยการใช้คำสั่ง javac.exe ที่มากับการติดตั้ง JDK แล้ว มีรูปแบบคำสั่งคือ javac FileName.java เมื่อ FileName.java คือ ชื่อไฟล์ใด ๆ ที่มีนามสกุล java ถ้าไม่มีข้อผิดพลาดใด ๆ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคอมไพล์จะได้ไฟล์ไบต์โค้ดที่ชื่อเดียวกับชื่อคลาส ตัวอย่างเช่น javac TestJava.java หลังจากการคอมไพล์จะได้ไฟล์ TestJava.class ข้อสำคัญในการคอมไพล์ไฟล์ซอร์สโค้ดคือต้องพิมพ์ชื่อไฟล์พร้อมนามสกุลเป็น java เสมอ และต้องพิมพ์ชื่อไฟล์ด้วยตัวอักษรตัวใหญ่หรือตัวเล็กให้ถูกต้องตามการตั้งชื่อคลาส

ขั้นตอนที่ 3 ทำการรันโปรแกรม เพื่อดูผลลัพธ์ทางจอภาพโดยการรันไฟล์ไบต์โค้ด โดยการใช้คำสั่ง javac.exe ที่มากับการติดตั้ง JDK แล้วซึ่งมีรูปแบบคำสั่งคือ java FileName เมื่อ FileName คือ ชื่อไฟล์ใด ๆ ไม่ต้องมีนามสกุล ดังนั้นการรันโปรแกรมเพียงแค่พิมพ์ชื่อไฟล์ไม่ต้องพิมพ์นามสกุลของไฟล์ และต้องพิมพ์ชื่อไฟล์ด้วยตัวอักษรตัวใหญ่หรือตัวเล็กให้ถูกต้องตามชื่อคลาส ตัวอย่างเช่น java TestJava เมื่อ TestJava คือชื่อไฟล์ TeatJava.class



ภาพที่ 2 การรันโปรแกรม เพื่อดูผลลัพธ์ทางจอภาพโดยการรันไฟล์ไบต์โค้ด

ที่มา: สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล. 2553: หน้า 18

ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงก่อนเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Java จะต้องทำขั้นตอนดังนี้

1. ต้องตรวจสอบว่าในเครื่องคอมพิวเตอร์มี JDK (Java Development Kit) และโปรแกรมที่ใช้เขียนซอร์สโค้ด (SourceCode) เช่น โปรแกรม Notepad, โปรแกรม Editplus หรือไม่ ถ้าไม่มีโปรแกรมข้างต้น ต้องทำการติดตั้งและลงโปรแกรมดังกล่าวให้เรียบร้อยก่อน

2. ตรวจสอบโฟลเดอร์และไฟล์ของ JDK ที่ใช้ในการคอมไพล์ (compile) คือ javac.exe และรันโปรแกรม (run) คือ java.exe ตัวอย่าง โฟลเดอร์ของไฟล์ java เช่น C:\j2sdk1.4.1_03\bin

3. ทำการติดตั้งและแก้ไขโปรแกรม (Config) เครื่องมือในการเขียนโปรแกรม ด้วยโปรแกรม Editplus ได้ดังนี้

3.1 ไปที่เมนู Tools เลือก Preferences หรือไปที่เมนู Tools เลือก Configure User Tools...

3.2 ไปที่เมนู Tools เลือก User Tool Groups

3.3 ไปที่เมนู View เลือก Toolbars/Views เลือก User Toolbar

4. สร้างโฟลเดอร์ เพื่อบันทึกไฟล์ซอร์สโค้ด เช่น D:\work

5. เลือก Directory ในโปรแกรม Editplus ให้ถูกต้องเพื่อใช้อ้างอิงในการรันโปรแกรม

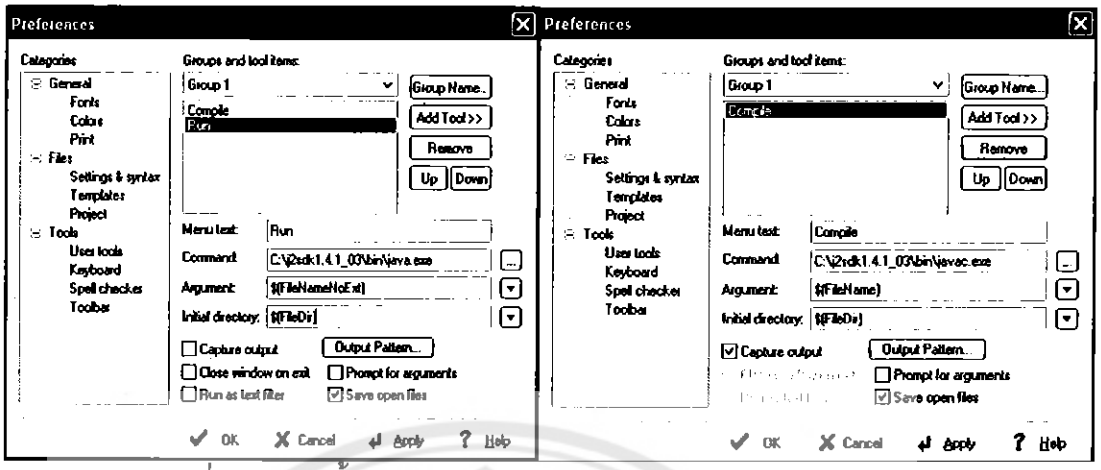
6. ทดสอบโปรแกรม Java โดย ไปที่เมนู File -> New -> Java

6.1 ตั้งชื่อ Class เช่น TestJava

6.2 บันทึกไฟล์ชื่อเดียวกับชื่อ Class เช่น TestJava.java

6.3 เลือก Tools -> Compile

6.4 เลือก Tools -> Run



ภาพที่ 3 การติดตั้งและแก้ไขโปรแกรม (Config) ด้วยโปรแกรม Editplus

2.2 ซอฟแวร์ JLab (ที่มา: สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล. 2553: หน้า 20)

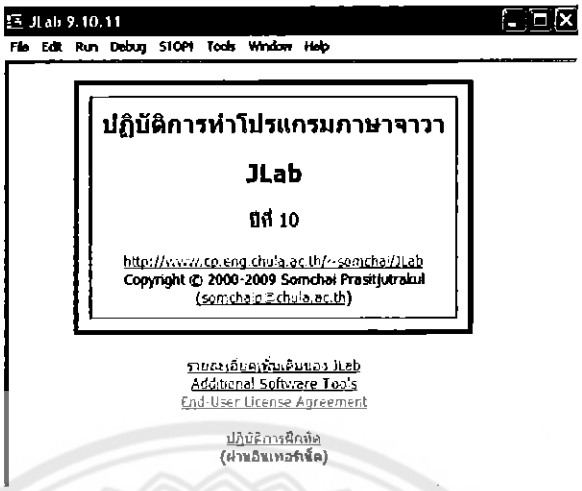
การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จำต้องอาศัยเครื่องมือช่วยเพื่อเส้นทางการปฏิบัติเป็นไปอย่างราบรื่น ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ช่วยเขียนโปรแกรมมากมาย ส่วนใหญ่เป็นของนักเขียนโปรแกรมอาชีพ มีคุณสมบัติมากมาย ทำให้ผู้หัดเขียนโปรแกรมใช้งานได้ลำบาก ซอฟต์แวร์ JLab เป็นซอฟต์แวร์ช่วยพัฒนาโปรแกรมที่ รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล เป็นผู้เขียนพัฒนาขึ้น มีคุณสมบัติเพียงพอสำหรับผู้หัดเขียนโปรแกรมใหม่ ซอฟต์แวร์ JLab เป็นซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งได้ง่าย เมื่อติดตั้งเสร็จสามารถเริ่มการใช้งานได้ทันที

2.2.1 วิธีติดตั้งโปรแกรม

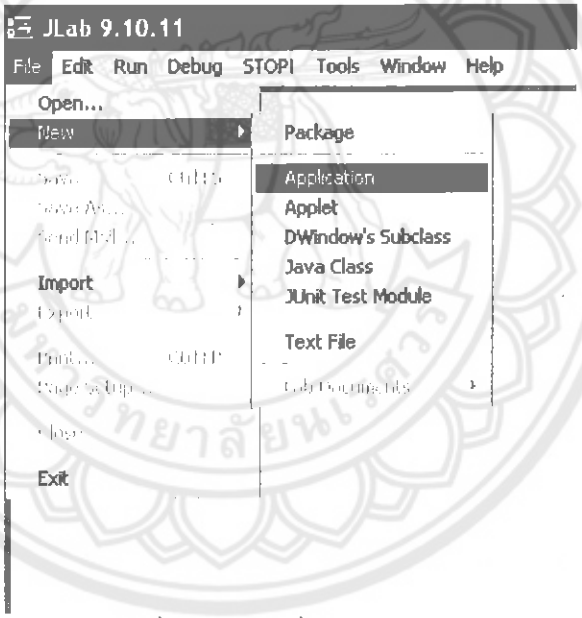
วิธีการติดตั้งโปรแกรม JLab ทำได้ง่ายเพียงแค่ผู้ใช้งานเปิดคอมพิวเตอร์ เข้าวินโดว์ให้เรียบร้อย ใส่แผ่นซีดีรอมโปรแกรมเข้าเครื่อง แล้วทำการติดตั้งตามขั้นตอนที่ขึ้นบอก

2.2.2 การเขียนโปรแกรม JLab ด้วยภาษา Java

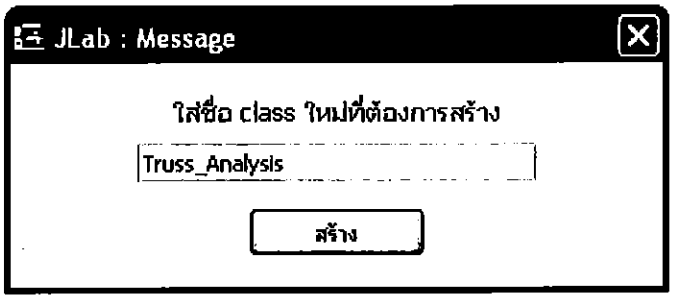
เริ่มการเขียนโปรแกรม JLab ด้วยการดับเบิ้ลคลิกที่รูป icon จะปรากฏวินโดว์ดังภาพที่ 4 จากนั้นเลือกเมนู File → New Application ดังภาพที่ 5 เพื่อให้ระบบเตรียมเนื้อที่สำหรับเขียนโปรแกรมใหม่ โดยระบบจะแสดงกล่องโต้ตอบ ดังภาพที่ 6 ให้ผู้ใช้กรอกชื่อโปรแกรม (ในรูป ผู้วิจัยกรอกคำว่า Truss_Analysis) แล้วกดปุ่มสร้าง ระบบจะจัดเตรียมเนื้อที่พร้อมทั้งเติมคำสั่งที่ต้องป้อนจำนวนหนึ่งให้อัตโนมัติ ดังภาพที่ 7 เริ่มพิมพ์คำสั่งต่าง ๆ แล้วสั่งให้โปรแกรมทำงาน โดยเลือกเมนู Run → Run Class "Truss_Analysis" หรือสามารถกดปุ่ม F5 ได้ ดังภาพที่ 8 หากพิมพ์คำสั่งโปรแกรมถูกต้อง จะแสดงผลที่ได้นั้นในส่วนล่างของวินโดว์ ดังภาพที่ 9



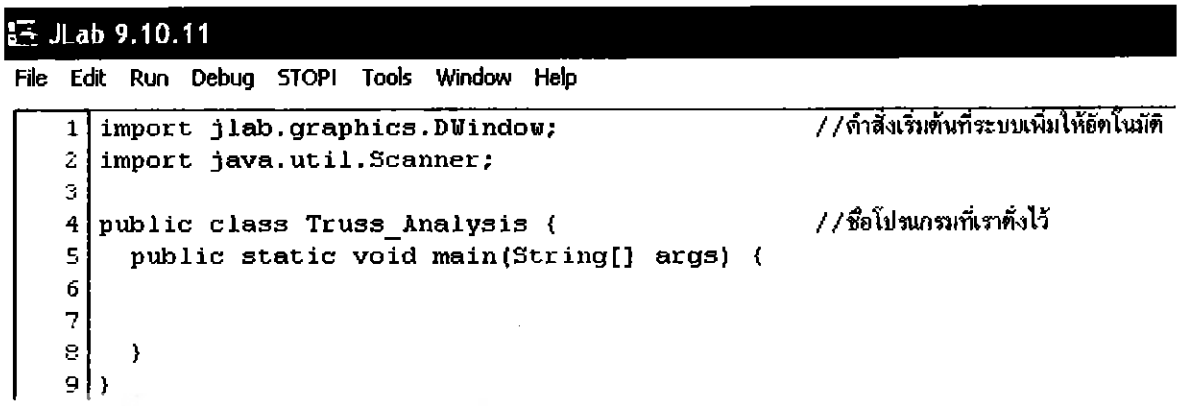
ภาพที่ 4 วินโดว์ที่แสดงหลังการสั่งงานโปรแกรม JLab



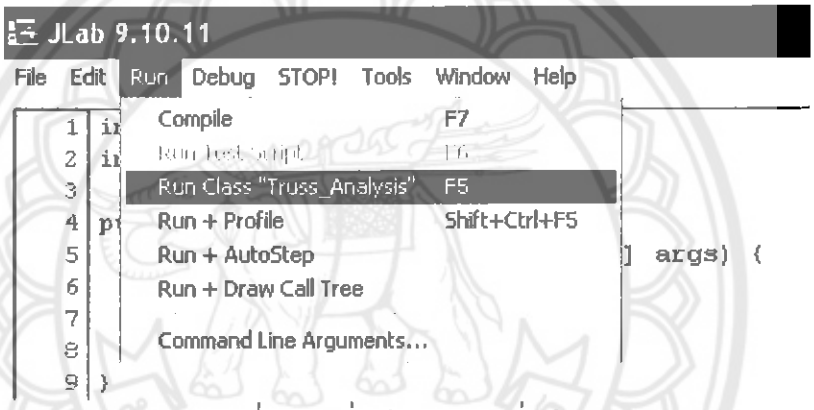
ภาพที่ 5 เมนูการเริ่มเขียนโปรแกรม



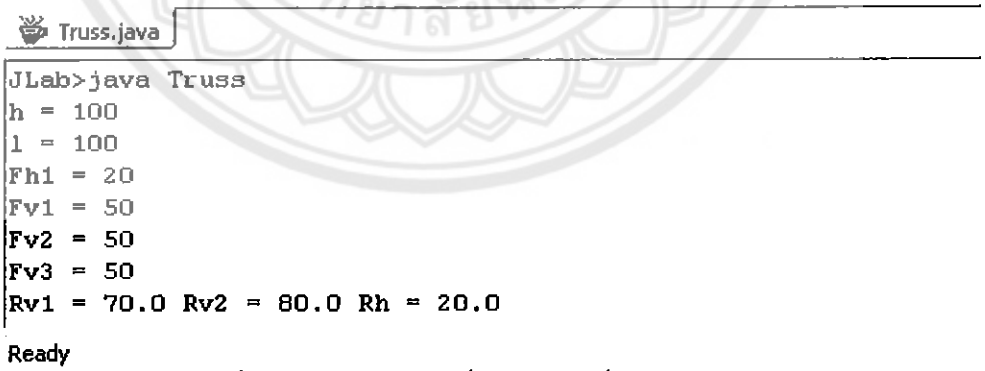
ภาพที่ 6 กล่องโต้ตอบสำหรับใส่ชื่อโปรแกรม



ภาพที่ 7 โปรแกรมเริ่มต้นที่ระบบตั้งไว้ให้



ภาพที่ 8 เมนูสั่งให้โปรแกรมเริ่มทำงาน



ภาพที่ 9 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการสั่งโปรแกรมทำงาน

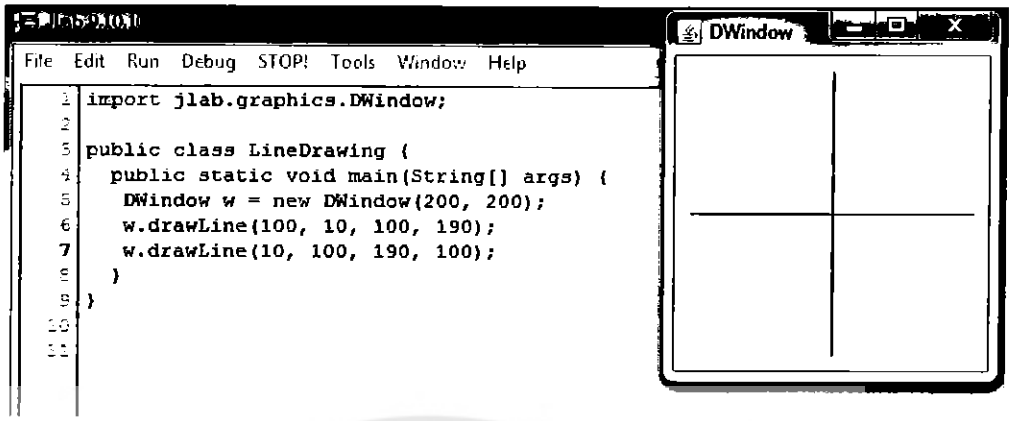
ผู้ใช้สามารถใช้เมนู File → Save As... เพื่อสั่งบันทึกโปรแกรมที่เขียน โดยจะบันทึกลงแฟ้มที่มีประเภทเป็น .jlab ซึ่งสามารถใช้เมนู File → Open เปิดกลับมาใช้ได้ในภายหลัง

2.2.3 วาดเส้นโครงข้อหมุน (Truss) ด้วยคำสั่ง DWindow

ซอฟต์แวร์ JLab มีคลาสพิเศษชื่อเต็มว่า jlab.graphics.DWindow เป็นคลาสที่อำนวยความสะดวกในการแสดงภาพ หรือรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานในวินโดว์ ผู้ใช้เพียงสั่ง new อ็อบเจกส์ DWindow จะได้วินโดว์ปรากฏบนจอภาพ พร้อมให้ลากเส้นตรง วาดสี่เหลี่ยม วาดวงรี อ่านภาพจากแฟ้มภาพมาแสดง ขอแผนที่จุดภาพของภาพที่วินโดว์ไปประมวลผล เปลี่ยนภาพโดยการตั้งแผนที่จุดภาพใหม่ รวมทั้งให้บริการบันทึกภาพที่ปรากฏบนวินโดว์ไว้ในแฟ้มภาพได้อีกด้วย ผู้ใช้สามารถใช้บริการตั้งสี ผสมสี แยกสี การทำภาพจาง การหยุดการทำงานชั่วขณะ เพื่อแสดภาพเคลื่อนไหวที่น่าสนใจได้ นอกจากนี้ยังมีบริการอ่านพิกัดของตัวชี้เมาส์ การให้โปรแกรมหยุดรอจนกว่าผู้ใช้จะคลิกเมาส์ด้วย ประเด็นที่ผู้ใช้ควรรู้เล็กน้อยก่อนใช้งานมีดังนี้

- พิกัด : มุมซ้ายบนของบริเวณที่ใช้วาดรูปมีพิกัดเป็น (0,0) และค่าพิกัด x เพิ่มขึ้นเมื่อไปทางขวา ในขณะที่พิกัด y เพิ่มขึ้นเมื่อลงด้านล่าง
- สี : ควรใช้สีที่ตั้งเป็นค่าคงตัวไว้แล้วในคลาส เช่น DWindow.RED, DWindow.BLACK เป็นต้น หรือใช้เมท็อดประจำคลาส DWindow.mixRGB (r, g, b) ในการผสมสีเอง
- ตัวชี้เมาส์ : พิกัดของตัวชี้เมาส์จะเป็นอ็อบเจกต์ประเภท DPoint ซึ่งมีเมท็อด getX () และ getY () ที่สามารถเรียกใช้เพื่อขอพิกัด x และ y ตามลำดับของตัวชี้เมาส์บนวินโดว์

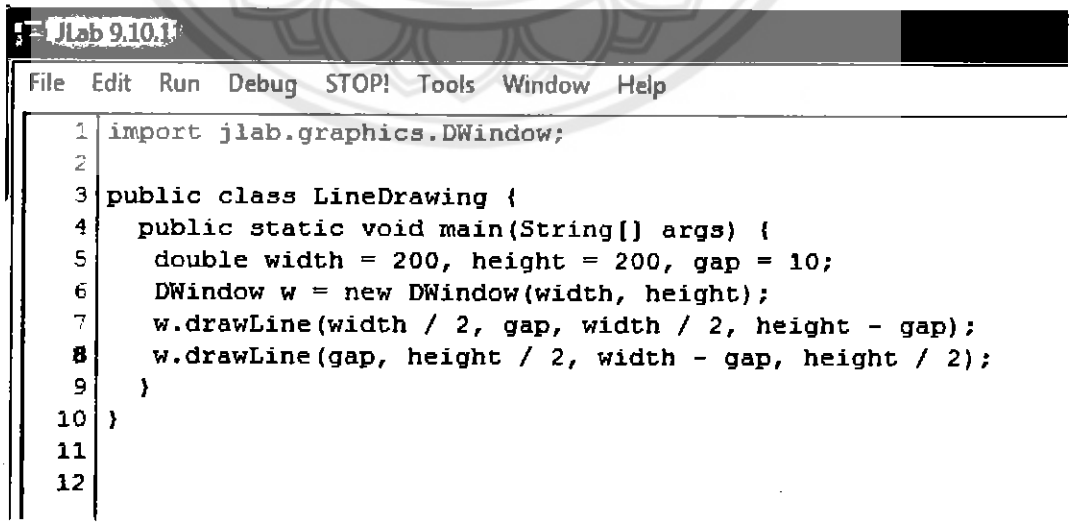
จากรูปที่ 10 บรรทัดที่ 5 ประกาศตัวแปร w ซึ่งมีไว้เก็บข้อมูลประเภท DWindow (ซึ่งเรา import ชื่อเต็มในบรรทัดที่ 1) คำสั่ง new DWindow (200,200) คือการสร้างวินโดว์ขนาดกว้าง 200 สูง 200 จุดภาพ (ขนาด 200x200 นี้เป็นขนาดของพื้นที่ภายในวินโดว์ไม่รวมกรอบและหัววินโดว์ด้านบน) เมื่อคำสั่งนี้ทำงาน จะปรากฏวินโดว์บนจอภาพทันที บรรทัดที่ 6 และ 7 ลากเส้นแนวนอน ด้วยคำสั่ง w.drawLine (x_0, y_0, x_1, y_1) เพื่อลากเส้นในวินโดว์ w เริ่มจากจุด (x_0 , y_0) ไปยังจุด (x_1 , y_1) ระบบพิกัดของวินโดว์จะแหลกเล็กน้อย มุมซ้ายบนของพื้นที่ในวินโดว์มีพิกัด (x , y) = (0 , 0) ค่า x เพิ่มขึ้นเมื่อไปทางขวา และค่า y เพิ่มขึ้นเมื่อลงล่างคำสั่งของบรรทัดที่ 6 จึงลากเส้นจากจุด (100,10) ไปยังจุด (100,190) ซึ่งเป็นเส้นแนวตั้ง ส่วนบรรทัดที่ 7 ลากเส้นจากจุด (10,100) ไปยังจุด (190,100) ซึ่งเป็นเส้นแนวนอน



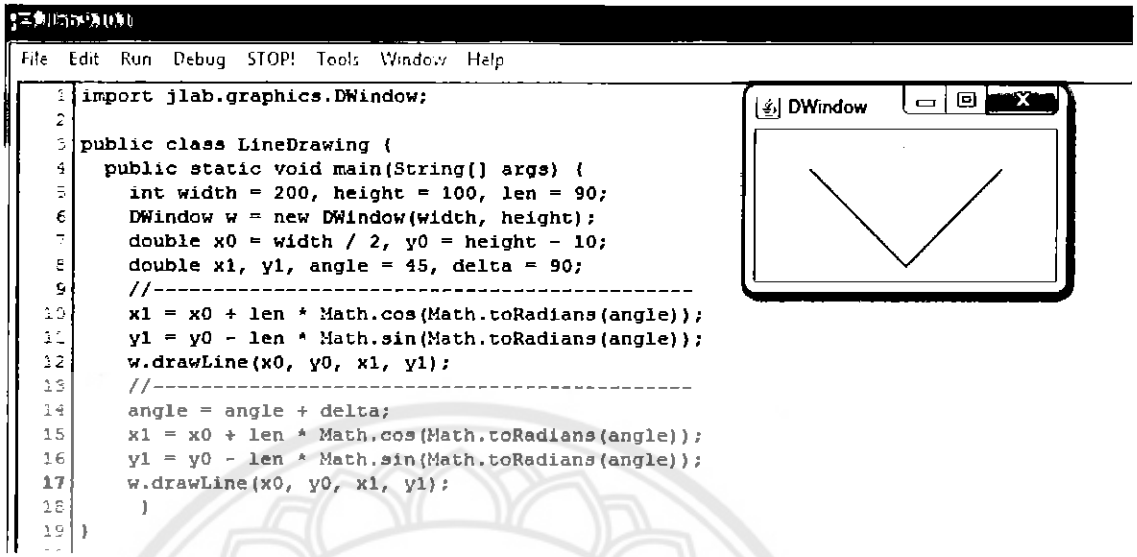
ภาพที่ 10 โปรแกรมลากเส้นโดยเมท็อด drawLine ของ DWindow

ปรับปรุงภาพที่ 10 ให้เขียนแบบสามรถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น ภาพที่ 10 วาดเส้นที่เว้นช่องว่างจากขอบไว้ 10 หากต้องการเปลี่ยนเป็น 20 ก็ต้องแก้ไขค่าคงตัวหลายที่ในโปรแกรม จึงขอปรับเปลี่ยนดังภาพที่ 11 โดยประกาศตัวแปร 3 ตัวคือ width กับ height ไว้เก็บขนาดของวินโดว์ และ gap ไว้เก็บช่องว่างที่เว้นจากขอบก่อนลากเส้น จากนั้นปรับคำสั่งในบรรทัดที่ 6 ถึง 8 ให้ใช้ตัวแปรทั้งสาม ด้วยการเขียนโปรแกรมในลักษณะนี้ การเปลี่ยนขนาดของวินโดว์และช่องว่างที่ขอบสามารถกระทำที่บรรทัดที่ 5 เท่านั้นพอ

ลองเขียนอีกแบบ ให้ลากเส้นโดยกำหนดจุดเริ่ม (x_0 , y_0) ความยาวเส้น length และมุมมองเส้น angle (กับเส้นแนวนอน) จึงต้องคำนวณจุดปลาย (x_1 , y_1) นำแนวคิดนี้เขียนโปรแกรมลากสองเส้นเอียง 45° และ 135° ได้ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 11 โปรแกรมลากเส้นที่ปรับปรุงจากภาพที่ 10 ที่ใช้ตัวแปรเสริม

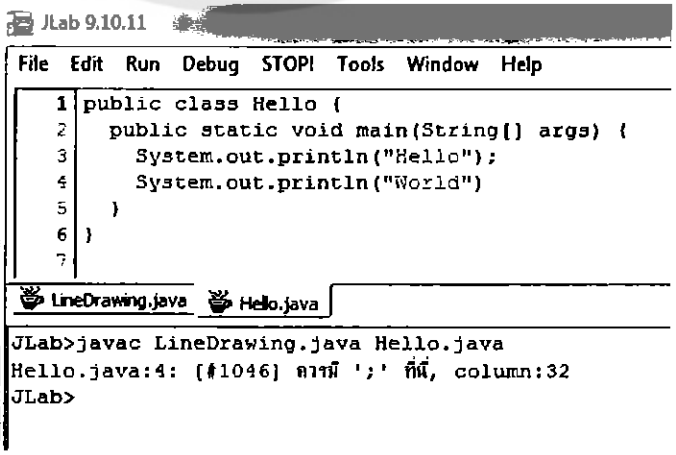


ภาพที่ 12 โปรแกรมลากเส้นที่กำหนดด้วยจุดเริ่ม ความยาวเส้น และมุม

2.2.4 ข้อผิดพลาดของโปรแกรม

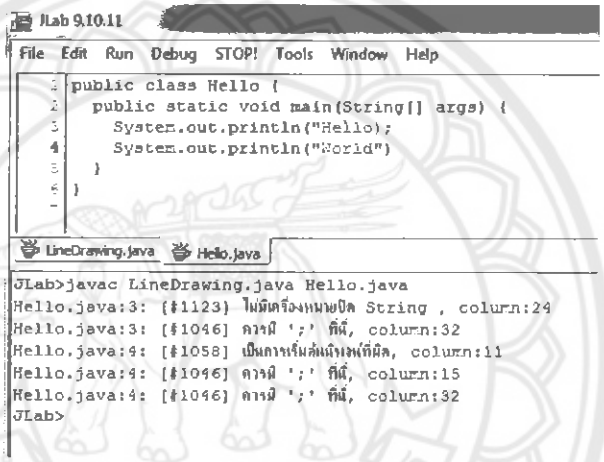
การเขียนโปรแกรมที่มีข้อผิดพลาดระหว่างการพัฒนาซอฟต์แวร์เป็นเรื่องที่เกิดขึ้นเป็นประจำ ข้อผิดพลาดแบ่งออกเป็นสองแบบคือ ข้อผิดพลาดทางไวยากรณ์ของภาษา กับข้อผิดพลาดระหว่างการทำงานของโปรแกรม ข้อผิดพลาดแบบแรกนั้นตรวจสอบได้ง่ายด้วยตัวแปลโปรแกรม ในขณะที่ข้อผิดพลาดแบบหลังนั้นตรวจสอบได้ยากกว่า ต้องใช้ทักษะและเครื่องมืออื่นประกอบในการหาจุดบกพร่องของโปรแกรม

ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่างข้อผิดพลาดทางไวยากรณ์ที่ตัวแปลโปรแกรมพบ เมื่อแปลคลาส Hello จะแสดงข้อความ Hello.java:4: [#1046] ควรมี ' ; ' ที่นี่, column : 32 ตีความได้ว่าพบข้อผิดพลาด และแนะนำว่า น่าจะมีเครื่องหมาย ; ที่ตำแหน่ง 32 ของบรรทัดที่ 4



ภาพที่ 13 ตัวแปลโปรแกรมพบข้อผิดพลาดทางไวยากรณ์ พร้อมแนะนำตำแหน่งที่พบ

แต่บางกรณี ข้อความแสดงความผิดพลาดที่ตัวแปลโปรแกรมแจ้งและแนะนำให้ทราบนั้นอาจไม่ตรงกับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจริง เพราะในบางครั้งข้อผิดพลาดหนึ่งอาจก่อให้เกิดจ้อผิดพลาดอื่นตามมา ดังตัวอย่างในภาพที่ 14 มีข้อผิดพลาดอยู่สองที่คือ ไม่มีเครื่องหมาย " ปิดสตริงที่บรรทัด 3 และไม่มีเครื่องหมาย ; ที่ท้ายบรรทัด 4 แต่ตัวแปลโปรแกรมพบข้อผิดพลาด 5 ตำแหน่ง มีสองตำแหน่งในนั้นตรงกับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจริง (ข้อผิดพลาดแรกกับข้อผิดพลาดสุดท้าย) โดยทั่วไปขอแนะนำว่าให้แก้ข้อผิดพลาดแรก ๆ ที่ตัวแปลโปรแกรมแจ้งก่อน จากนั้นลองสั่งทำงานใหม่แล้วแก้ข้อผิดพลาดต่อไปที่ตัวแปลแจ้ง ทำเช่นนี้จนถูกหลักไวยากรณ์

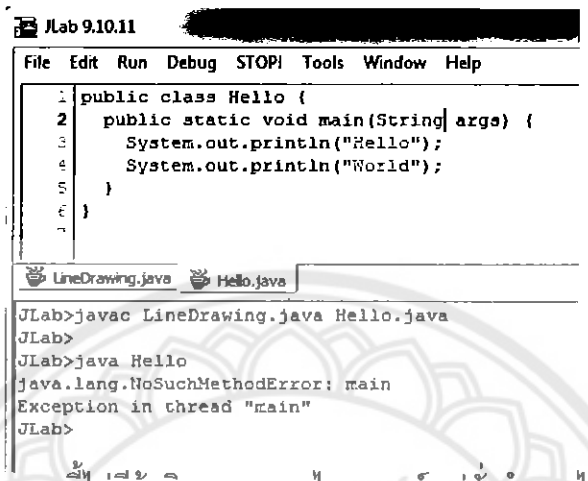


ภาพที่ 14 ตัวแปลโปรแกรมแจ้งข้อผิดพลาดและตำแหน่งที่แจ้งอาจไม่ชัดเจนนัก

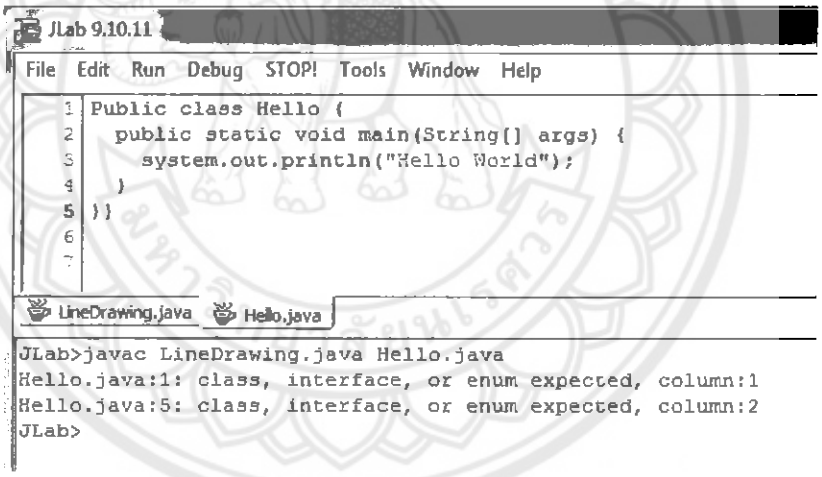
ภาพที่ 15 แสดงโปรแกรมที่เขียนถูกหลักไวยากรณ์ทุกประการ ตัวแปลโปรแกรมไม่แจ้งข้อผิดพลาดใด ๆ แต่เมื่อระบบสั่งให้ทำงานกลับแจ้งว่า NoSuchMethodError: main ซึ่งหมายความว่า ระบบหาเมท็อด main ที่เป็นจุดเริ่มของการทำงานไม่พบในคลาส Hello นี้

ข้อผิดพลาดบางอย่างสามารถตรวจพบได้ขณะกำลังเขียนโปรแกรม หากรู้จักสังเกตสีของคำสั่งต่าง ๆ ในรหัสต้นฉบับที่ปรากฏบนจอภาพ เนื่องจากซอฟต์แวร์ช่วยพัฒนาโปรแกรมส่วนใหญ่มีคุณสมบัติการให้สีคำ คำของโปรแกรมมีสีกำกับต่างกัน เพราะแต่ละคำมีความหมายและหน้าที่ต่างกัน เช่น คำสำคัญของภาษาจาวามีสีน้ำเงิน คำที่แทนคลาสมาตรฐานจาวามีสีแดง สตริงมีสีแสด หมายเหตุมีสีเขียว คำที่เพิ่มเองและเครื่องหมายสัญลักษณ์อื่น ๆ มีสีดำ เป็นต้น เพื่อให้เห็นชัดว่า คำใดคืออะไร หากสีผิด ย่อมแสดงว่าต้องมีอะไรผิดพลาด ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยตาระหว่างการเขียนโปรแกรม เช่นในภาพที่ 16 พบคำว่า Public ในบรรทัดที่ 1 ซึ่งใช้ P ตัวใหญ่ หากดูบนจอภาพใน JLab จะเห็น Public มีสีดำ แทนที่จะเป็นสีน้ำเงิน (เพราะ Public เป็นคำสำคัญในภาษาจาวา) และในบรรทัดที่ 3 คำว่า system ซึ่งใช้ S ตัวเล็ก จะเห็นคำนี้เป็นสีดำ แทนที่จะเป็น

สีแดง (เพราะ System เป็นคลาสมาตรฐานของจาวา) ด้วยการสังเกตสีระหว่างการเขียนโปรแกรม ย่อมช่วยหาที่ผิดได้เร็วขึ้น ก่อนที่ตัวแปลโปรแกรมจะตรวจพบ



ภาพที่ 15 โปรแกรมนี้ไม่มีข้อผิดพลาดทางไวยากรณ์ แต่สั่งทำงานไม่ได้ เพราะเขียน main ผิด



ภาพที่ 16 คำที่สะกดผิดอาจตรวจสอบได้ด้วยการสังเกตสีของคำระหว่างการเขียนโปรแกรม

2.3 โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ SUTStructor 3.50 (ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.คู่มือการใช้งาน SUTStructor)

โปรแกรม SUTStructor เป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างแบบ 2 มิติ ที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งโครงสร้างแบบ โครงข้อหมุน (Truss) และ โครงข้อแข็ง (Frame) โปรแกรมสามารถสั่งให้แสดงค่าแรงปฏิกิริยา (Reactions) แผนภาพแรงดัด (Moment Diagram) แผนภาพแรงเฉือน (Shear Diagram) แผนภาพแรงตามแนวแกน (Axial Diagram) ได้ง่ายเพียงกดที่ปุ่มเพียงครั้งเดียว และสามารถสั่งให้โปแกรมแสดงแผนภาพ (Diagrams) ทั้งหมดได้พร้อมกัน รายงานผลลัพธ์เป็น

ตาราง และเลือกให้แสดงค่าสูงสุดเรียงตามลำดับได้ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ใช้ระหว่างการวิเคราะห์ได้ รวมทั้งมีเครื่องมือที่ช่วยในการป้อนข้อมูลโครงสร้างที่ออกแบบมาให้ใช้ได้ง่าย

2.3.1 คุณลักษณะเด่นของโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง 2 มิติ SUTStructor 3.50

SUTStructor เป็นโปรแกรมที่มีการป้อนข้อมูลเข้าแบบกราฟฟิก ซึ่งสามารถคำนวณโครงสร้างได้ทั้ง โครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุน และมีคุณลักษณะเด่นดังนี้

- ป้อนข้อมูลแบบกราฟฟิก บนหน้าจอและแสดงภาพให้เห็นทันที
- ป้อนองค์อาคารได้โดยไม่ต้องป้อนจุดต่อก่อน
- ลบจุดต่อที่ไม่ติดต่อกับองค์อาคารอัตโนมัติ
- คำนวณพื้นที่โมเมนต์ความเฉื่อยจากหน้าตัดอัตโนมัติ
- ใส่ที่รองรับ (Support) แบบกราฟฟิก และคำนวณที่รองรับแบบเอียงได้
- มีตัวช่วยสร้างโครงสร้าง (Structure Wizard) และตัวช่วยสร้างคาน (Beam Wizard) ทำให้สามารถสร้างโครงสร้างภายใน 3 ขั้นตอน
- ใส่น้ำหนักบรรทุกที่องค์อาคาร (Member Load) หรือที่จุดต่อ (Nodal Load) เป็นกราฟฟิก
- มีน้ำหนักบรรทุกให้เลือกหลายแบบ เช่น น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (Concentrate Load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่ (Uniform Load), น้ำหนักบรรทุกจากอุณหภูมิ (Thermal Load), น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากความยาวที่ผิดพลาด (Fabrication Error)
- แสดงรูปภาพของน้ำหนักบรรทุกแบบกราฟฟิกและมีน้ำหนักบรรทุกหลายประเภทให้เลือก
- เลือกทิศทางของน้ำหนักบรรทุกแบบกราฟฟิก
- ใส่น้ำหนักบรรทุกได้ทั้งตามแนวแกนขององค์อาคารหรือแกนรวมโครงสร้าง
- แสดงผลลัพธ์การคำนวณบนหน้าจอเป็นกราฟฟิก ได้ แก่ แผนภาพแรงตามแนวแกน แผนภาพแรงเฉือน แผนภาพแรงดัด แผนภาพการแอ่น
- แสดงภาพเคลื่อนไหวการแอ่นได้
- แสดงจุดดัดกลับได้
- รายงานผลเป็นตารางได้ และจัดเรียงค่ามากน้อยได้
- แสดงค่าสูงสุด และ ค่าที่จุดปลายของแต่ละองค์อาคารได้

- คัดลอก ภาพ หรือ ผลในตารางไปใส่ใน MS Word หรือ MS Excel ได้
- แสดงผลลัพธ์ระหว่างการคำนวณ
- แสดงแผนภาพแรงทั้งหมดได้พร้อมกัน
- คำนวณหลายโครงสร้างในแผ่นงานเดียว
- วิเคราะห์โครงสร้างผสม ระหว่างโครงข้อหมุนกับโครงข้อแข็ง

2.3.2 **วิธีที่วิเคราะห์ด้วย SUTStructor**

SUTStructor ใช้วิธีสติฟเนสตรง (Direct Stiffness Method) ซึ่งง่ายในการเขียนขั้นตอนวิธีในการวิเคราะห์โครงสร้างวิธีนี้จะจัดข้อมูลทุกอย่างการคำนวณให้อยู่ในรูปของเมตริก มีการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระเบียบระบบทำให้สะดวกในการเขียนโปรแกรม

การจัดเก็บข้อมูลใน SUTStructor ในส่วนขององค์อาคารนั้นในแต่ละองค์อาคารจะถือเป็นเส้นตรงที่เชื่อมหากันด้วยจุดต่อต้น (start joint) และจุดต่อปลาย (end joint) จุดต่อต้นและจุดต่อปลายจะเก็บข้อมูลพิกัดข้อมูลชนิดของจุดต่อไว้เพื่อใช้กำหนดการยึดรั้งที่จุดต่อ

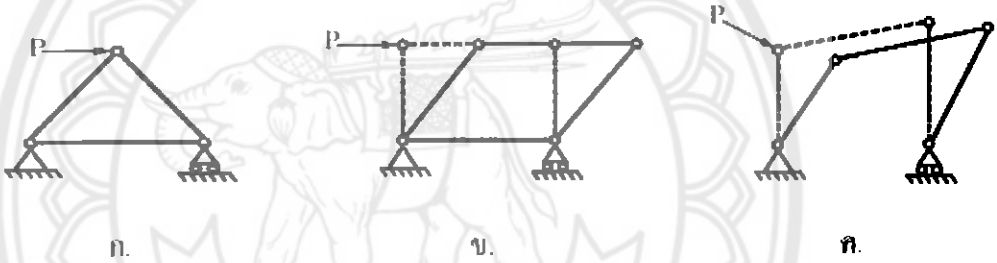
การเขียนรหัสคำสั่งการประมวลผลของ SUTStructor จะแตกต่างจากโปรแกรมอื่นคือจะมีการจัดเรียงหมายเลขกำกับการส่งถ่ายแรงโดยใช้ขั้นตอนวิธีจัดแบ่งกลุ่มหมายเลขที่มีการยึดรั้งกับไม่ยึดรั้งตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการวิเคราะห์ทำให้ในขั้นตอนวิเคราะห์หารากของสมการไม่ต้องทำการสลับเมตริกภายหลังและยังสามารถที่จะคำนวณโครงสร้างที่เป็นโครงข้อแข็ง/โครงข้อหมุนในแผ่นงานเดียวกันได้อีกด้วย

2.4. **โครงข้อหมุนหรือโครงถัก (Truss)** (ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์, ทฤษฎีโครงสร้าง.)

โครงข้อหมุน (Truss) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "โครงถัก" เป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการนำเอาชิ้นส่วนหรือว่าองค์อาคารมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงเรขาคณิต มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มี น้ำหนักเบาแต่สามารถรับน้ำหนักได้มากและวางพาดช่วงยาว ๆ ได้ อย่างเช่น โครงสร้างหลังคาของโรงงาน โรงอาหาร หอประชุม อัฒจันทร์ ฯลฯ รวมทั้งสะพานและอาคารพิเศษอื่น ๆ ด้วย โครงข้อหมุนโดยทั่วไปจะทำจากเหล็กรูปพรรณหรือไม้ ในการออกแบบโครงข้อหมุนจะต้องทราบแรงที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่นำมาประกอบเป็นโครงข้อหมุน ซึ่งการวิเคราะห์หาแรงภายในโครงข้อหมุนสามารถหาได้สองวิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีการคำนวณ และวิธีการเขียนรูป

2.4.1 ความหมายของโครงข้อหมุนหรือโครงถัก (Truss)

โครงข้อหมุน (Truss) คือ การนำเอาชิ้นส่วนมาประกอบขึ้นเป็นรูปโครงสร้างแบบต่าง ๆ โดยยึดปลายทั้งสองของชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้ยึดติดกันและสามารถถ่ายแรงให้กันได้ด้วยการเชื่อม การใช้หมุดย้ำหรือการใช้น็อต โครงสร้างที่นิยมทำเป็นโครงข้อหมุน เช่น โครงสร้างสะพาน โครงหลังคา ฯลฯ รูปทรงพื้นฐานของโครงข้อหมุน คือ รูปสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนอย่างน้อย 3 ชิ้น โดยยึดปลายของชิ้นส่วนด้วยหมุดย้ำ ดังแสดงในภาพ (ก) ซึ่งโครงถักลักษณะแบบนี้จะทำให้ได้รูปทรงสามเหลี่ยมที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้แม้ว่าจะมีแรงมากระทำต่อโครงข้อหมุนนี้จัดได้ว่าเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรภาพมาก ส่วนโครงสร้างตามภาพ (ข) และ (ค) เป็นโครงสร้างที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมเมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ จัดได้ว่าเป็นโครงสร้างที่ไม่มีเสถียรภาพ



ภาพที่ 17 แสดงโครงข้อหมุนแต่ละรูปทรงเมื่อมีแรงกระทำ

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

2.4.2 ส่วนประกอบของโครงข้อหมุน

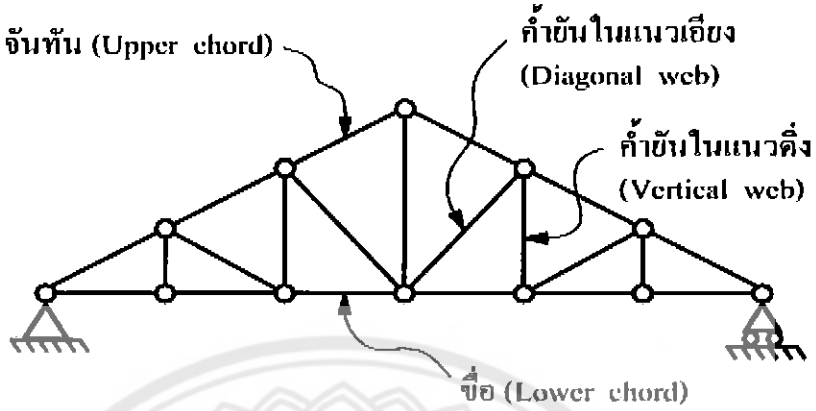
โครงสร้างที่เป็นโครงข้อหมุน (Truss) จะประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นมารวมกันเป็นโครงข้อหมุนรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำหนดชื่อเรียกส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ 4 ชนิด คือ

1) จันทัน (Upper Chord)

2) ขื่อ (Lower Chord)

3) ค้ำยันในแนวดิ่ง (Vertical Web)

4) ค้ำยันในแนวเอียง (Diagonal Web)



ภาพที่ 18 แสดงส่วนประกอบของโครงข้อหมุน

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

2.4.3 ประเภทและรูปแบบของโครงข้อหมุน

2.4.3.1 ประเภทของโครงข้อหมุน

ประเภทของโครงข้อหมุนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

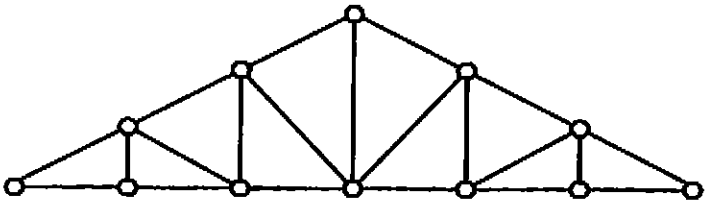
1) โครงข้อหมุนอย่างง่ายหรือแบบดีเทอร์มิเนทสแตติกส์ (Statically Determinate Truss) เป็นโครงถักที่สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงต่าง ๆ ได้ด้วยสมการสมดุล

2) โครงข้อหมุนอย่างยากหรือแบบอินดีเทอร์มิเนทสแตติกส์ (Statically Indeterminate Truss) เป็นโครงถักที่ไม่สามารถหาค่าแรงต่าง ๆ ด้วยสมการสมดุลได้ ต้องใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงมาคำนวณหา

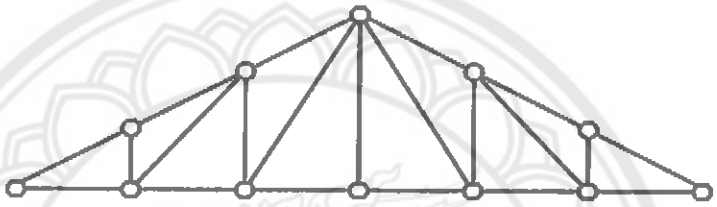
2.4.3.2 รูปแบบของโครงข้อหมุน

รูปแบบของโครงข้อหมุนอาจแบ่งตามประเภทและลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

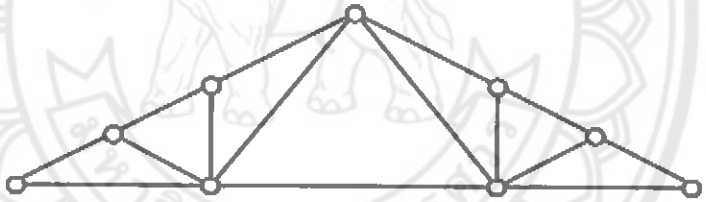
1) โครงข้อหมุนแบบโครงหลังคา มีรูปแบบที่นิยม ดังนี้



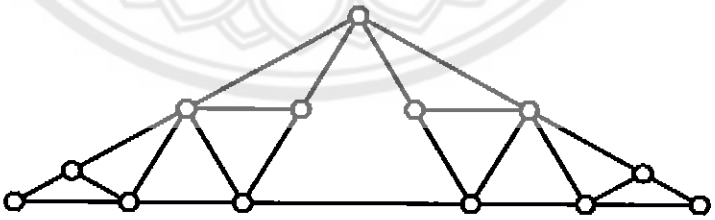
ก. แบบโฮว์ (Howe Truss)



ข. แบบแพรท (Pratt Truss)



ค. แบบแฟน (Fan Truss)

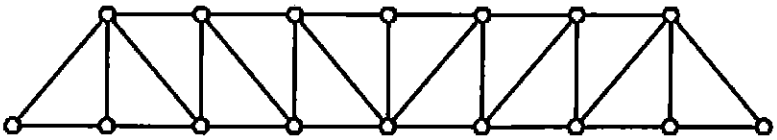


ง. แบบฟิงค์ (Fink Truss)

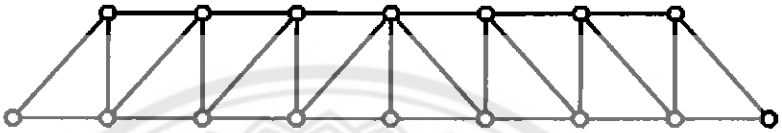
ภาพที่ 19 แสดงโครงข้อหมุนแบบโครงหลังคา

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

2) โครงข้อหมุนแบบโครงสะพาน มีรูปแบบที่นิยม ดังนี้

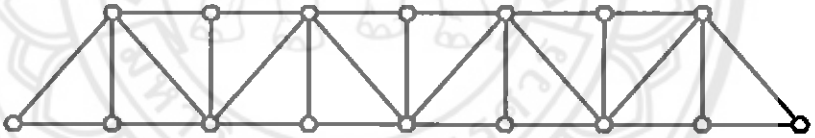


ก. แบบโฮว์ (Howe Truss)

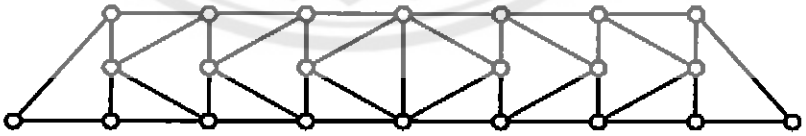


ข. แบบแพรท (Pratt Truss)

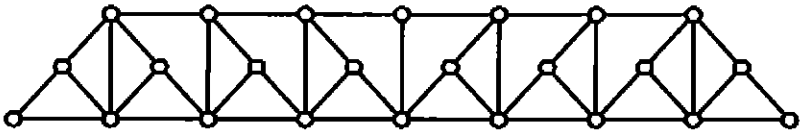
ค. แบบวอร์เรน (Warren Truss)



ง. แบบวอร์เรนมีค้ำยันแนวดิ่ง (Warren Truss with Vertical)



จ. แบบเค (K – Truss)



ฉ. แบบบอลติมอร์ (Boltimore)

ภาพที่ 20 แสดงโครงข้อหมุนแบบสะพาน

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

2.4.4 Determinacy

เมื่อโครงข้อหมุนอยู่ในระนาบเดียวกับแรงกระทำ (coplanar truss) ผลรวมของโมเมนต์ที่จุดต่อจะมีค่าเท่ากับศูนย์เพราะจุดต่อของโครงข้อหมุนเป็นหมุดที่ไม่มีแรงเสียดทาน ซึ่งจะทำให้เรามีสมการสมดุลของแรงที่จุดต่อของโครงข้อหมุนเพียง 2 สมการเท่านั้นคือ $\sum F_x = 0$ และ $\sum F_y = 0$ ถ้าให้ j เป็นจำนวนของจุดต่อของโครงข้อหมุน ดังนั้น เราจะมีจำนวนทั้งหมดของสมการสมดุลที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาแรงในชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนเท่ากับ 2j แรงในชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนและแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับจะเป็นแรงไม่ทราบค่า (unknown forces) ถ้าให้ b เป็นจำนวนชิ้นส่วนของโครงข้อหมุนซึ่งมีค่าเท่ากับแรงในชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน และ r เป็นจำนวนของแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับแล้ว โครงข้อหมุนจะมีจำนวนของแรงที่ไม่ทราบค่าทั้งหมดเท่ากับ (b + r) ดังนั้น เราจะหา determinacy ของโครงข้อหมุนได้ว่า

(b + r) = 2j Statically determinate

(b + r) > 2j Statically indeterminate

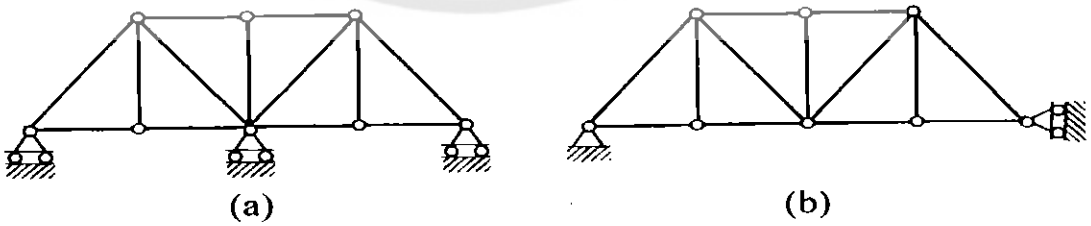
และ degree of indeterminacy จะมีค่าเท่ากับ (b + r) - 2j

2.4.5 **เสถียรภาพ** (Stability)

ถ้า (b + r) < 2j แล้ว โครงข้อหมุนจะขาดเสถียรภาพ ในกรณีอื่น ๆ เราจะตรวจสอบการขาดเสถียรภาพของโครงข้อหมุนได้ ดังต่อไปนี้

2.4.5.1 **เสถียรภาพภายนอก** (External Stability)

โครงข้อหมุนจะขาดเสถียรภาพภายนอก เมื่อแรงปฏิกิริยามีทิศทางที่ขนานกัน (parallel reactions) ดังที่แสดงในภาพที่ 21a และเมื่อแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกระทำร่วมกันที่จุดใดจุดหนึ่ง (concurrent reactions) ดังที่แสดงในภาพที่ 21b



(a) (b)

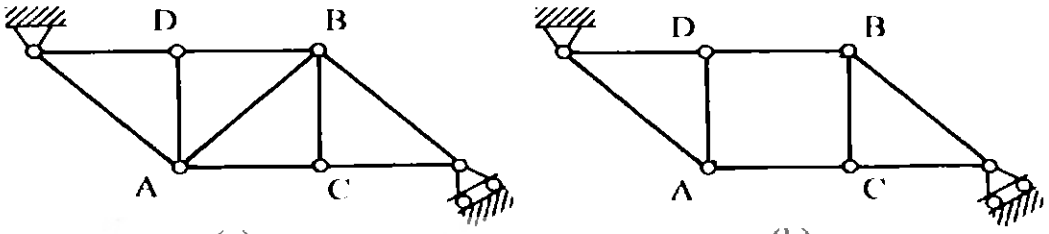
ภาพที่ 21 เสถียรภาพภายนอก

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

2.4.5.2 **เสถียรภาพภายใน** (Internal Stability)

เราจะตรวจสอบเสถียรภาพภายในของโครงข้อหมุนได้จากการพิจารณาลักษณะการจัดเรียงชิ้นส่วนของโครงข้อหมุน โครงข้อหมุนจะมีเสถียรภาพภายใน เมื่อจุดต่อของ

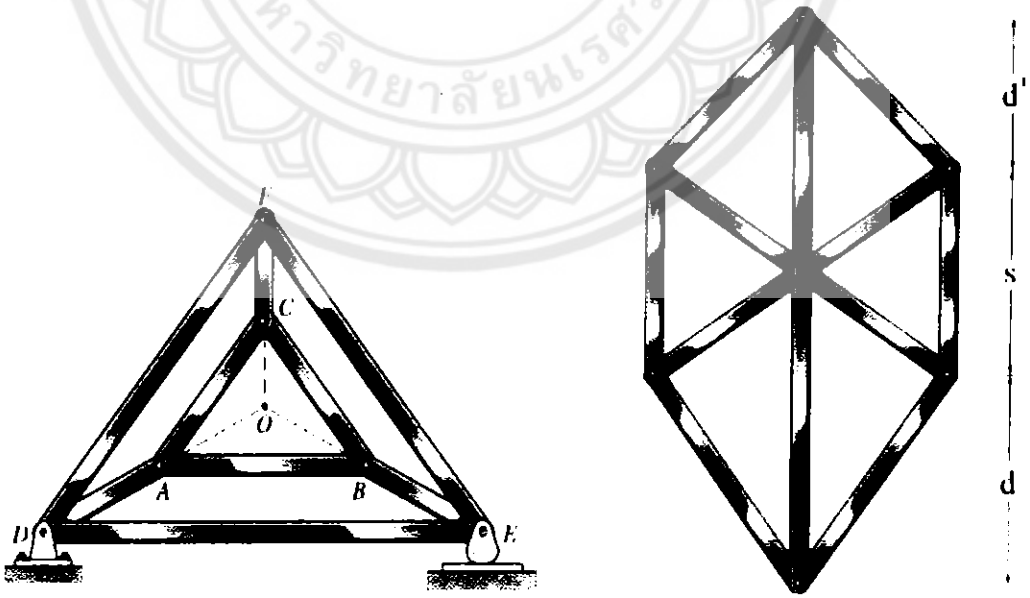
โครงข้อหมุนถูกจัดเรียงและถูกยึดติดกันอย่างไม่มีการเคลื่อนที่แบบวัตถุแกร่ง (rigid body) เมื่อเทียบกับจุดต่ออื่น ๆ ดังเช่นในโครงข้อหมุนพื้นฐานตามที่แสดงในภาพที่ 22a เป็นต้น



ภาพที่ 22 เสถียรภาพภายใน

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

ภาพที่ 22b แสดงตัวอย่างของโครงข้อหมุนที่มีการจัดเรียงชิ้นส่วนที่ไม่เหมาะสม โครงข้อหมุนนี้จะขาดเสถียรภาพภายใต้แรงกระทำ เนื่องจากไม่มีการยึดจุดต่อ A เข้ากับจุดต่อ B หรือจุดต่อ C เข้ากับจุดต่อ D การตรวจสอบเสถียรภาพภายในของโครงข้อหมุนประกอบจะทำได้โดยการพิจารณาการจัดเรียงโครงข้อหมุนพื้นฐานเข้าด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น โครงข้อหมุนประกอบ ตามภาพที่ 23a จะเป็นโครงข้อหมุนประกอบที่ขาดเสถียรภาพภายใน เนื่องจากชิ้นส่วน AD, BE, และ CF มีแนวแกนที่ร่วมกันที่จุด O ซึ่งถ้ามีแรงภายนอกมากระทำที่จุดต่อ A, B, หรือ C แล้ว โครงข้อหมุน ABC จะเกิดการหมุนขึ้น ซึ่งทำให้โครงข้อหมุนขาดเสถียรภาพ



ภาพที่ 23 โครงข้อหมุนประกอบที่ขาดเสถียรภาพภายใน

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

ในกรณีของโครงข้อหมุนซับซ้อน การตรวจสอบนี้จะไม่สามารถที่จะกระทำได้โดยง่าย แต่จะทำได้โดยวิธีวิเคราะห์หาแรง (force analysis) เช่น โครงข้อหมุนซับซ้อน ตามภาพที่ 23b จะไม่มีเสถียรภาพภายใน เมื่อระยะ d= d′ เท่านั้น

กล่าวโดยสรุปแล้ว เราจะได้ว่า

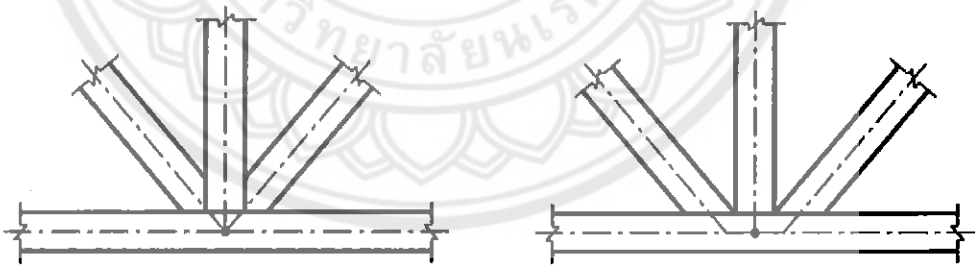
$(b + r) < 2j$	unstable
$(b + r) \geq 2j$	unstable เมื่อแรงปฏิกิริยาของโครงข้อหมุนที่เกิดขึ้นกระทำร่วมที่จุดเดียวกัน (concurrent) หรือเมื่อแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีทิศทางที่ขนานกัน (parallel) หรือถ้ารูปแบบของโครงข้อหมุนเป็นรูปแบบที่พังทลายได้

2.4.6 สมมุติฐานในการวิเคราะห์โครงข้อหมุน

ในการวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้นในโครงข้อหมุน มีความจำเป็นที่จะต้องมีข้อตกลงหรือข้อสมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริง ให้มากที่สุด โดยมีข้อสมมุติฐานที่สำคัญ ดังนี้

1) ชิ้นส่วนทุกชิ้นในโครงข้อหมุนจะต้องมีความยาวเป็นเส้นตรง

2) แนวเซ็นทรอยด์ของแต่ละชิ้นส่วนที่ต่อกันจะพบกันที่จุดศูนย์กลางของรอยต่อของชิ้นส่วน



ก. แบบถูกวิธี ข. แบบผิดวิธี

ภาพที่ 24 แสดงแนวแรงของชิ้นส่วนในโครงข้อหมุน

(ที่มา: สิทธิชัย แสงอาทิตย์. ทฤษฎีโครงสร้าง.)

3) น้ำหนักของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีค่าน้อยมากในการวิเคราะห์จะไม่นำมาเป็นองค์ประกอบในการพิจารณา

4) น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับโครงถักจะเป็นน้ำหนักแบบน้ำหนักกระทำเป็นจุด (Point Load) ที่ตำแหน่งของข้อต่อเท่านั้น

2.4.7 แรงภายในชิ้นส่วนของโครงถักและเครื่องหมายแทนแรง

แรงภายในชิ้นส่วนของโครงถัก โดยทั่วไปเมื่อทำการวิเคราะห์ แรงภายในชิ้นส่วนมี 2 แรง คือ แรงดึง (Tension; T) และแรงอัด (Compression; C) และสามารถใช้เครื่องหมายแทนแรงได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงสัญลักษณ์และเครื่องหมายที่ใช้แทนแรง

ชนิดแรง	สัญลักษณ์ตัวอักษร	เครื่องหมาย	สัญลักษณ์หัวลูกศร
แรงดึง (Tension)	T	+ (เครื่องหมายบวก)	
แรงอัด (Compression)	C	– (เครื่องหมายลบ)	

2.4.8 การหาแรงภายในโครงถัก

การวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้นในโครงถัก สามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธี คือ

1) วิธีกราฟิก (Graphical Methods)

2) วิธีคำนวณจุดต่อ (Joint Methods)

3) วิธีคำนวณส่วนตัด (Section Methods)

4) วิธีสติฟเนสตรง (Direct Stiffness Method)

ในงานวิจันนี้ใช้เพียงวิธีคำนวนจุดต่อ (Joint Methods) และวิธีสติฟเนสตรง (Direct Stiffness Method) เท่านั้น

2.4.8.1 วิธีคำนวณจุดต่อ (Joint Methods)

การคำนวณหาแรงภายในโดยวิธีคำนวณจุดต่อ มีหลักการคำนวณ คือ ให้พิจารณาจุดต่อที่มีตัวไม่ทราบค่าเพียงสองตัว และใช้สมการสมดุล $\sum F_x = 0$ และ $\sum F_y = 0$ แก้สมการหาค่าแรงที่ไม่ทราบค่าขั้นตอนการคำนวณหาแรงภายในโครงถักโดยวิธีจุดต่อ มีขั้นตอนดังนี้

1) คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของโครงถัก

2) เขียนผังอิสระของแรง (F.B.D.)

3) พิจารณาจุดต่อที่มีตัวไม่ทราบค่าไม่เกินสองตัว โดยสมมุติให้แรงที่ยังไม่ทราบค่าเป็นแรงดึงไว้ก่อน

4) แตกแรงที่เอียงให้อยู่ในแนวแกน X และแกน Y

5) ใช้สมการสมดุล $\sum F_x = 0$ และ $\sum F_y = 0$ คำนวณหาตัวไม่ทราบค่า โดยกำหนดให้แรงที่มีทิศทางขึ้นและทิศทางไปทางขวามีค่าเป็นบวก และแรงที่มีทิศทางลงและทิศทางไปทางซ้ายมีค่าเป็นลบ ถ้าแรงที่คำนวณได้มีค่าติดลบแสดงว่าสมมุติหัวลูกศรผิด ให้กลับหัวลูกศรของแรงนั้นแล้วจึงคำนวณหาค่าแรงต่อไป

6) เมื่อทราบค่าแรงภายในที่จุดต่อแรกแล้ว ให้พิจารณาจุดต่อที่สองที่อยู่ติดกันและมีตัวไม่ทราบค่าไม่เกินสองตัว เพื่อคำนวณหาแรงภายในชิ้นส่วนของโครงถักที่เหลือให้ครบ

2.4.8.1 **วิธีสติฟเนสตรง (Direct Stiffness Method)**

ในการคำนวณด้วยวิธีสติฟเนสตรงมีหลายขั้นตอนในการคำนวณแต่จะมีสมการหลักอยู่เพียงสมการเดียวที่นำมาใช้ในพัฒนาโปรแกรมคือ

$$[Q] = [K][D] + [F]$$

[Q] คือเมตริกแรงภายนอกรวม (global external force matrix) ในระบบพิกัดรวม

[D] คือเมตริกการแอ่นตัวรวม (global displacement matrix) ในระบบพิกัดรวม

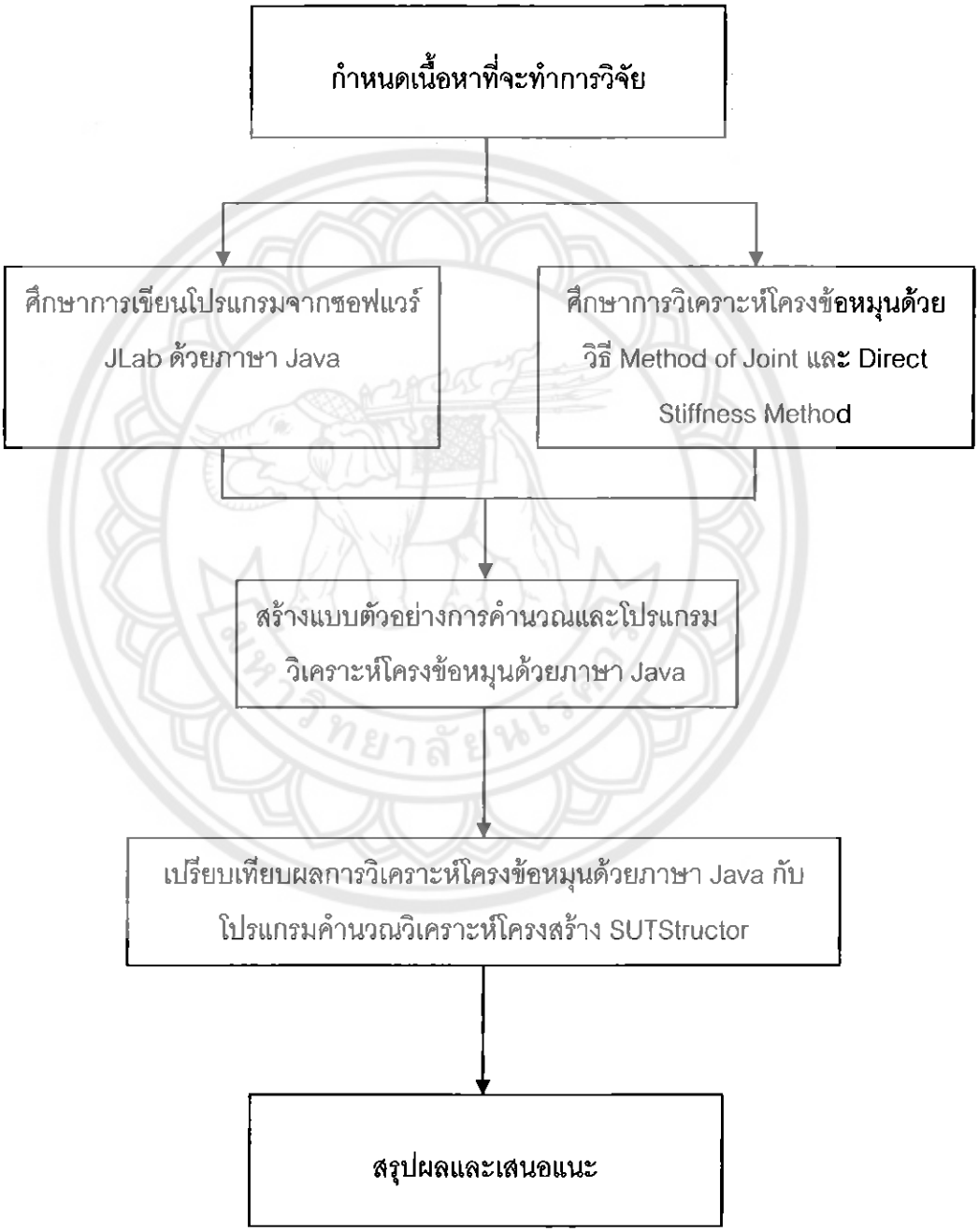
[K] คือเมตริกสติฟเนสรวม (global stiffness matrix) ในระบบพิกัดรวม

[F] คือเมตริกปลายยึดแน่นรวม (global fixed-end matrix) ในระบบพิกัดรวม

ดูรายละเอียดเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสติฟเนสตรงได้จากหนังสือ Structural Analysis [Hibbeler (1995)], Matrix Analysis of Structures [Kassimali (1999)]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษา "โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุน 2 มิติ ด้วยภาษา Java" มีขั้นตอนดำเนินการวิจัยมีดังนี้



ภาพที่ 25 แผนผังขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดเนื้อหาที่จะทำการวิจัย

เนื้อหาของบทเรียนผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเนื้อหาในรายวิชาที่เกี่ยวกับโครงสร้างทางวิศวกรรม ซึ่งเนื้อหาได้ครอบคลุมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรายวิชา Engineering Statistics, Engineering Mechanics I, Engineering Mechanics II, Structural Analysis I, Structural Analysis II และ Building Design ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร และได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อกำหนดบทเรียนที่จะนำมาศึกษาโดยเลือกเนื้อหาการวิเคราะห์โครงสร้างแบบโครงข้อหมุน (Truss) โดยแบ่งออกเป็น ดังนี้

1. การวิเคราะห์โครงข้อหมุน แบบดีเทอร์มิเนสแตติกส์ (Statically Determinate Truss) เป็นโครงข้อหมุนที่สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงต่าง ๆ ได้ด้วยสมการสมดุล

2. การวิเคราะห์โครงข้อหมุน แบบอินดีเทอร์มิเนสแตติกส์ (Statically Indeterminate Truss) เป็นโครงข้อหมุนที่ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าแรงต่าง ๆ ด้วยสมการสมดุลได้

3.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรม JLab ด้วยภาษา Java

การสร้างส่วนประกอบของโปรแกรมการวิเคราะห์โครงข้อหมุน โดยโปรแกรมที่ออกแบบเป็น 4 ส่วนคือ

3.2.1 ส่วนรับข้อมูล

3.2.2 ส่วนเตรียมข้อมูล

3.2.3 ส่วนประมวลผล

3.2.4 ส่วนการแสดงผล

ภาพที่ 26 แสดง 4 ส่วนของโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยซอฟแวร์ JLab

3.2.1 **ส่วนรับข้อมูล** JLab จะรับข้อมูลจาก แป้นตัวอักษร (keyboard) ในการป้อนข้อมูลที่ช่องแสดงผลด้านล่าง โดยรูปแบบข้อมูลมีอยู่ 5 แบบ คือ

1) ข้อมูลองค์อาคารซึ่งในแต่ละองค์อาคารจะเก็บข้อมูล

- หมายเลขจุดต่อ (node) ที่ต้นองค์อาคารและปลายองค์อาคาร
- หมายเลขกรณีน้ำหนักบรรทุก (load case) ที่กระทำกับองค์อาคาร

2) ข้อมูลขนาดขององค์อาคารคุณสมบัติวัสดุขององค์อาคาร

- ชื่อวัสดุ
- พื้นที่หน้าตัด
- โมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia)
- โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity)

3) ข้อมูลจุดต่อซึ่งในแต่ละจุดต่อจะเก็บข้อมูล

- หมายเลขจุดต่อ
- มุมเอียงของที่รองรับ (support)
- ชนิดของที่รองรับ
- แรงที่กระทำที่จุดต่อ
- การแอ่นที่จุดต่อ

4) ข้อมูลรายละเอียดที่จุดต่อซึ่งจะจัดเก็บข้อมูล

- หมายเลขจุดต่อ
- ข้อมูลองค์อาคารที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มข้อต่อเดียวกัน

5) ข้อมูลกรณีน้ำหนักบรรทุกจะจัดเก็บข้อมูล

- หมายเลขกรณีน้ำหนักบรรทุก
- ชนิดของกรณีน้ำหนักบรรทุกเช่น น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุด (concentrated load), น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่กระจายคงที่ (uniform load),น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal load)
- ขนาดของน้ำหนักบรรทุก (load)
- ระยะทางหรือจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำกับองค์อาคาร

3.2.2 ส่วนเตรียมข้อมูล

1) โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่า มุมขององค์อาคารและความยาวขององค์อาคารเพื่อใช้หาเมตริกสติฟเนส

2) โปรแกรมจะทำการกำหนดทิศทางขององค์อาคารเพื่อใช้หาเมตริกแปลง

3) โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ชนิดของที่รองรับที่จุดต่อและข้อมูลองค์อาคารที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มข้อต่อเดียวกันและกำหนดหมายเลขกำกับตำแหน่งในการส่งถ่ายแรง

3.2.3 **ส่วนประมวลผล** โปรแกรมจะทำการแปลงข้อมูล น้ำหนักบรรทุก ที่กระทำกับองค์อาคารแต่ละตัว และ คำนวณหาค่าแรงที่ปลายของแต่ละองค์อาคาร หรือค่าแรงภายใน (Member Force)

3.2.4 **ส่วนการแสดงผล** แบ่งออกเป็น 2 ที่ คือ ผลลัพธ์ระหว่างการวิเคราะห์จะแสดงที่ช่องผลลัพธ์ด้านล่าง จะแสดงเป็นค่าที่ได้จากการประมวลผล ส่วนผลลัพธ์สุดท้ายจะแสดงที่ Dwindow เป็นรูปโครงข้อหมุนพร้อมบอกรายละเอียดและขนาดของแรง ภายในวินโดว์ และสามารถดึงข้อมูลไปใช้ได้ทันที

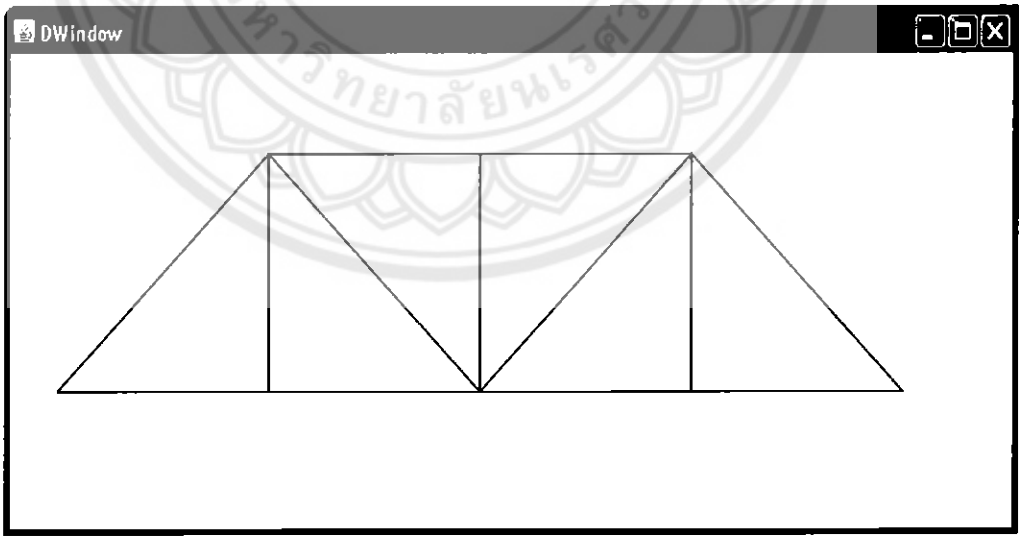
3.3 การสร้างภาพโครงข้อหมุนโดยซอฟแวร์ JLab ด้วย Dwindow

ในการสร้างภาพโครงข้อหมุนด้วยโปรแกรม JLab ได้ใช้คลาสพิเศษชื่อเต็มว่า jlab.graphics.Dwindow เพื่อช่วยให้เขียนโปรแกรมวาดรูป แสดงกราฟฟิกเคลื่อนไหว หรือประมวลผลรูปภาพได้ง่ายขึ้น และใช้ drawLine เพื่อวาดภาพหรือลากเส้นตรง สามารถลากเส้นแนวตั้งและแนวนอน ด้วยคำสั่ง w.drawLine (x_0 , y_0 , x_1 , y_1) เพื่อลากเส้นในวินโดว์ w เริ่มจากจุด (x_0 , y_0) ไปยังจุด (x_1 , y_1)

จาก w.drawLine สามารถนำมาเขียนโปรแกรมวาดภาพโครงข้อหมุนได้ ดังภาพที่ 27 โดยผู้วิจัยได้เลือกตัวอย่างโครงข้อหมุนพื้นฐานตามหลักวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งแสดงเป็นผลลัพธ์ที่วินโดว์ ดังภาพที่ 28

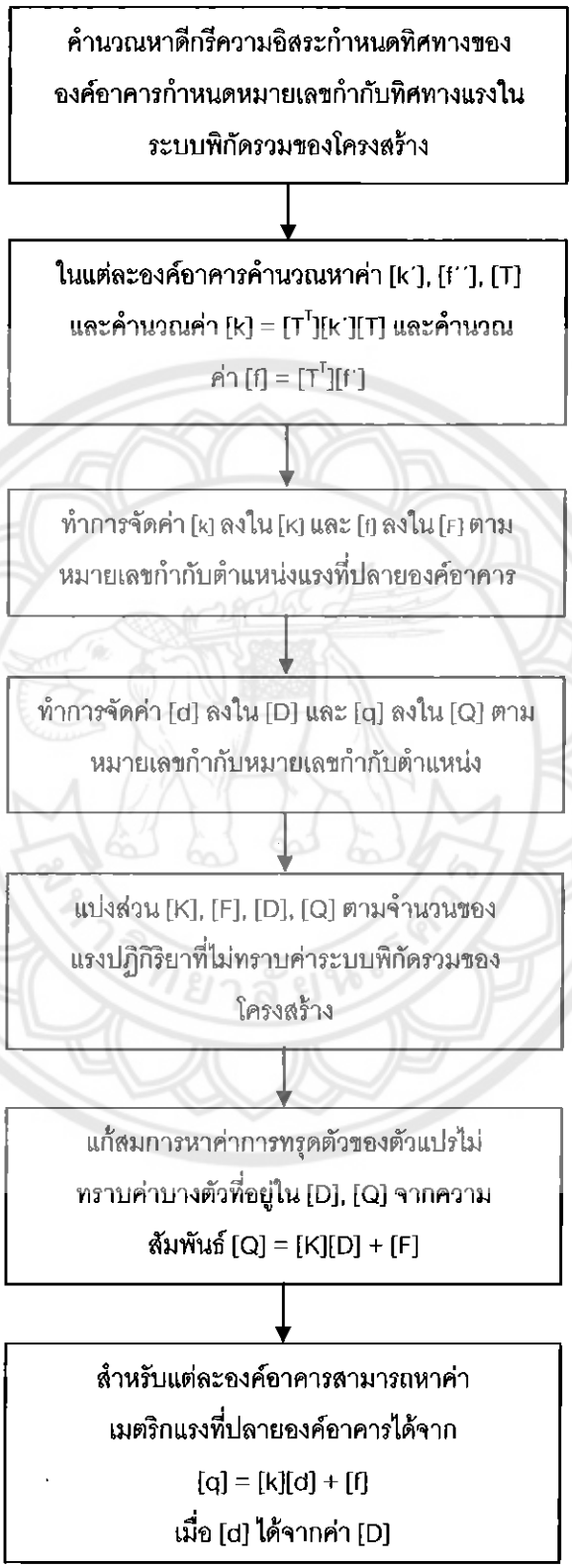
```
1  import jlab.graphics.DWindow;                    //บอกถึงคลาสที่เรานำมาใช้ในการเขียนโปรแกรม
2  import java.util.Scanner;                        //บอกชื่อเต็มคลาสที่เราใช้
3  public class Truss {                             //กำหนดชื่อของหัวข้อกระบวนการ
4    public static void main(String[] args)         //หัวกระบวนการ(Method) main ต้องเขียนแบบนี้
5    {                                              //เขียนรายละเอียดของกระบวนการ(Method)ภายในเครื่องหมาย{}
6      Scanner kb = new Scanner(System.in);         //สร้างระบบให้รับข้อมูลจากแป้นพิมพ์
7      System.out.print("h = ");                    //รับข้อมูล h จากแป้นพิมพ์ โดยที่ h คือ ความสูงของ Truss
8      double h = kb.nextDouble();                  //เก็บข้อมูล h แบบ double
9      System.out.print("l = ");                    //รับข้อมูล l จากแป้นพิมพ์ โดยที่ l คือ ความยาวของ Truss
10     double l = kb.nextDouble();                  //เก็บข้อมูล l แบบ double
11     double height = h * 2, width = l * 6;        //เก็บข้อมูลเสริมการประมวลผล
12     DWindow w = new DWindow(width, height);      //สร้างวินโดว์ที่มีขนาด width*height จะปรากฏทับวินโดว์อื่นๆ
13     double x0 = l, y0 = height - h / 2;          //การประกาศประเภทข้อมูลแบบจำนวนเต็ม
14     double x1 = 2 * l, y1 = y0;
15     double x2 = 3 * l, y2 = y0;
16     double x3 = 4 * l, y3 = y0;
17     double x4 = 5 * l, y4 = y0;
18     double x5 = x1, y5 = y0 - h;
19     double x6 = x2, y6 = y5;
20     double x7 = x3, y7 = y5;
21     w.drawLine(x0, y0, x5, y5);                  //คำสั่งวาดเส้นที่มีความยาวเป็นไปตามที่เรากำหนดด้านบน
22     w.drawLine(x0, y0, x4, y4);
23     w.drawLine(x4, y4, x7, y7);
24     w.drawLine(x5, y5, x7, y7);
25     w.drawLine(x1, y1, x5, y5);
26     w.drawLine(x5, y5, x2, y2);
27     w.drawLine(x2, y2, x7, y7);
28     w.drawLine(x3, y3, x7, y7);
29     w.drawLine(x2, y2, x6, y6);
30     w.saveImage ("C:/java101/Truss.jpg");        //คำสั่งบันทึกภาพที่แสดงในวินโดว์ลงแฟ้มตามที่ระบุไว้
31   }
32 }
```

ภาพที่ 27 ตัวอย่างการวาดภาพโครงข้อหมุนพร้อมคำอธิบาย



ภาพที่ 28 ผลลัพธ์ตัวอย่างการวาดภาพโครงข้อหมุน (Truss)

3.3.1 ศึกษาการวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยวิธี Direct Stiffness



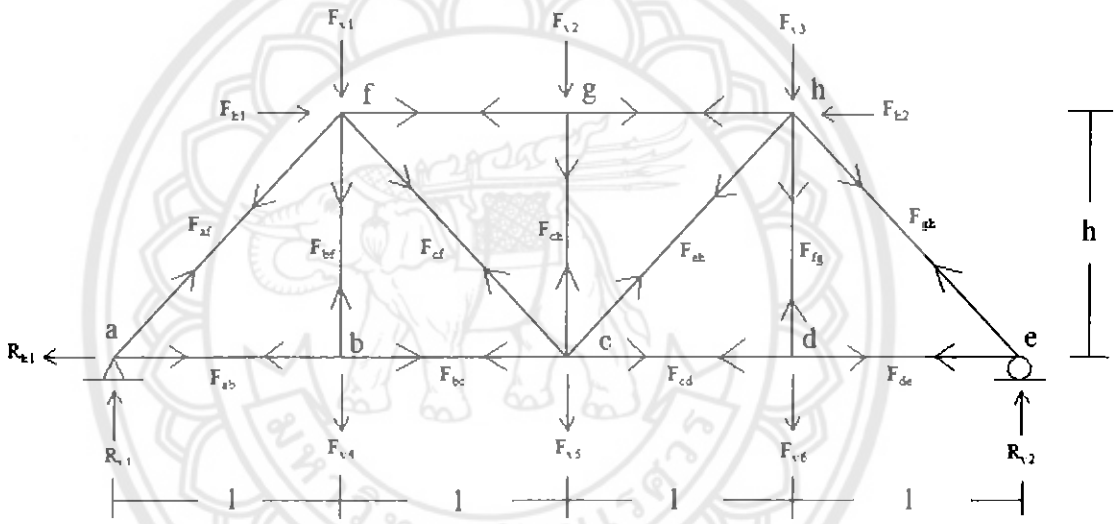
ภาพที่ 29 แสดงแผนผังการวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยวิธี Direct Stiffness

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

4.1 การสร้างแบบตัวอย่างการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate

ด้วยซอฟแวร์ JLab สามารถนำมาเขียนการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate ได้ดังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 : การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate และแสดง Source Code พร้อมคำอธิบาย ดังภาพที่ 30 ถึง 34



ภาพที่ 30 ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate

```
import jlab.graphics.DWindow;
import java.util.Scanner;

public class Determinate_Truss_1 {
  public static void main(String[] args) {
    Scanner kb = new Scanner(System.in);
    System.out.print("h = ");
    double h = kb.nextDouble();
    System.out.print("l = ");
    double l = kb.nextDouble();
    //ปรับขนาดภาพใน Dwindow
    if (h < 50 || l < 50) {
      h *= 5;
      l *= 5;
    }
    if ((h >= 50 && h < 100) || (l >= 50 && l < 100)) {
      h *= 2;
      l *= 2;
    }
    //วาดเส้นโครงข้อหมุน
    double height = h * 2,width = l * 6;
    DWindow w = new DWindow(width, height);
    double x0 = l, y0 = height - h / 2;
    double x1 = 2 * l, y1 = y0;
    double x2 = 3 * l, y2 = y0;
    double x3 = 4 * l, y3 = y0;
    double x4 = 5 * l, y4 = y0;
    double x5 = x1, y5 = y0 - h;
    double x6 = x2, y6 = y5;
    double x7 = x3, y7 = y5;
    w.drawLine(x0, y0, x5, y5);
    w.drawLine(x0, y0, x4, y4);
    w.drawLine(x4, y4, x7, y7);
    w.drawLine(x5, y5, x7, y7);
    w.drawLine(x1, y1, x5, y5);
    w.drawLine(x5, y5, x2, y2);
    w.drawLine(x2, y2, x7, y7);
    w.drawLine(x3, y3, x7, y7);
    w.drawLine(x2, y2, x6, y6);
    //วาด Support hint , roller
    w.drawLine(x0, y0, x0 - l / 15, y0 + h / 15);
    w.drawLine(x0 - l /15,y0+h/15,x0+l/15, y0 + h / 15);
    w.drawLine(x0 + l / 15, y0 + h / 15, x0, y0);
    w.drawEllipse(x4, y4 + h / 30, l / 15, h / 15);
    //วาดลูกศรแนวแรงที่มากระทำ
    w.setForeground(DWindow.BLACK);
    double x10000 = x5;
    double y10000 = y5 - h / 15;
    int k = 0;
    while (true) {
    w.drawLine(x10000,y10000,x10000-l/15,y10000-h/15);
    w.drawLine(x10000-l/15,y10000-h/15,x10000+l/15,y10000-h/15);
    w.drawLine(x10000+l/15,y10000-h/15,x10000,y10000);
    w.drawLine(x10000,y10000-h/15,x10000, y10000-h / 15-h / 5);
    x10000 += l;
    k++;
```

ภาพที่ 31 Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (1)

```
57  if (k == 3) break;
58  }
59  x10000 = x5;
60  w.drawLine(x10000 - l/15,y5,x10000-2*l / 15, y5 - h /15);
61  w.drawLine(x10000 - 2*l/15,y5-h/15,x10000-2*l/15,y5+h/15);
62  w.drawLine(x10000 - 2*l/15,y5+h/15,x10000-l/15, y5);
63  w.drawLine(x10000 - 2*l/15,y5,x10000-2*l/15-l/5, y5);
64  //แสดงข้อความแรงภายนอก
65  w.setForeground(DWindow.BLACK); //สี
66  w.drawString("Fv1 = ", h / 12, x5,y10000-h / 15 - h / 5);
67  w.drawString("Fv2 = ", h / 12, x6,y10000-h / 15 - h / 5);
68  w.drawString("Fv3 = ", h / 12, x7,y10000-h / 15 - h / 5);
69  w.drawString("Fh1 = ", h / 12, x5 - l / 5 - l / 3, y5);
70  //ถามค่าแรงภายนอก
71  System.out.print("Fh1 = ");
72  double Fh1 = kb.nextDouble();
73  System.out.print("Fv1 = ");
74  double Fv1 = kb.nextDouble();
75  System.out.print("Fv2 = ");
76  double Fv2 = kb.nextDouble();
77  System.out.print("Fv3 = ");
78  double Fv3 = kb.nextDouble();
79  //แสดงค่าแรงภายนอก
80  w.drawString("Fv1 = " + Fv1, h/12,x5,y10000-h/15-h/5);
81  w.drawString("Fv2 = " + Fv2, h/12,x6,y10000-h/15-h/5);
82  w.drawString("Fv3 = " + Fv3, h/12,x7,y10000-h/15-h/5);
83  w.drawString("Fh1 = " + Fh1, h/12, x5 - l /5 - l /3, y5);
84  //คำนวณแรงภายใน
85  double Rv2 =(Fh1*h + Fv1*l + Fv2*2*l + Fv3*3*l)/(4 * l);
86  double Rv1 = Fv1 + Fv2 + Fv3 - Rv2;
87  double Rh = Fh1;
88  System.out.println("Rv1 = "+Rv1+" Rv2 = "+Rv2+" Rh = "+Rh);
89  double lslope = Math.sqrt((h * h) + (l * l));
90  double Faf = -Rv1 * (lslope / h);
91  double Fab = Rh - (Faf * l / lslope);
92  double Fbc = Fab, Fbf = 0;
93  double Fcf = (-Fv1 - (Faf * h / lslope)) * lslope / h;
94  double Ffg = -Fh1 - ((Fcf - Faf) * l / lslope);
95  double Fgh = Ffg, Fcg = -Fv2;
96  double Fch = (-(Fcf * h / lslope) - Fcg) * lslope / h;
97  double Fcd = Fbc + ((Fcf - Fch) * l / lslope);
98  double Feh = -Rv2 * lslope / h;
99  double Fdh = 0, Fde = Fcd;
100 System.out.println("Fab = " + Fab);
101 System.out.println("Fbc = " + Fbc);
102 System.out.println("Fcd = " + Fcd);
103 System.out.println("Fde = " + Fde);
104 System.out.println("Ffg = " + Ffg);
105 System.out.println("Fgh = " + Fgh);
106 System.out.println("Faf = " + Faf);
107 System.out.println("Fbf = " + Fbf);
108 System.out.println("Fcf = " + Fcf);
109 System.out.println("Fcg = " + Fcg);
110 System.out.println("Fch = " + Fch);
111 System.out.println("Fdh = " + Fdh);
112 System.out.println("Feh = " + Feh);
```

ภาพที่ 32 Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (2)

```
113  //จำกัดทศนิยม
114  Fab = (int)(Fab * 1000) / 1000.0;
115  Fbc = (int)(Fbc * 1000) / 1000.0;
116  Fcd = (int)(Fcd * 1000) / 1000.0;
117  Fde = (int)(Fde * 1000) / 1000.0;
118  Ffg = (int)(Ffg * 1000) / 1000.0;
119  Fgh = (int)(Fgh * 1000) / 1000.0;
120  Fbf = (int)(Fbf * 1000) / 1000.0;
121  Fcg = (int)(Fcg * 1000) / 1000.0;
122  Fdh = (int)(Fdh * 1000) / 1000.0;
123  Faf = (int)(Faf * 1000) / 1000.0;
124  Fcf = (int)(Fcf * 1000) / 1000.0;
125  Fch = (int)(Fcf * 1000) / 1000.0;
126  Feh = (int)(Feh * 1000) / 1000.0;
127  //ค่าแรงภายใน
128  w.setForeground(DWindow.RED);
129  String s1 = "" + Fab;
130  w.drawString(s1, h / 12, x0 + l / 3, y0);
131  String s2 = "" + Fbc;
132  w.drawString(s2, h / 12, x1 + l / 3, y0);
133  String s3 = "" + Fcd;
134  w.drawString(s3, h / 12, x2 + l / 3, y0);
135  String s4 = "" + Fde;
136  w.drawString(s4, h / 12, x3 + l / 3, y0);
137  String s5 = "" + Ffg;
138  w.drawString(s5, h / 12, x5 + l / 3, y5);
139  String s6 = "" + Fgh;
140  w.drawString(s6, h / 12, x6 + l / 3, y5);
141  String s7 = "" + Faf;
142  w.drawString(s7, h / 12, (x0 + x1) / 2, (y0 + y5) / 2);
143  String s8 = "" + Fbf;
144  w.drawString(s8, h / 12, x1, (y1 + y5) / 2);
145  String s9 = "" + Fcf;
146  w.drawString(s9, h / 12, (x1 + x2) / 2, (y2 + y5) / 2);
147  String s10 = "" + Fcg;
148  w.drawString(s10, h / 12, x2, (y2 + y6) / 2);
149  String s11 = "" + Fch;
150  w.drawString(s11, h / 12, (x2 + x3) / 2, (y2 + y7) / 2);
151  String s12 = "" + Fdh;
152  w.drawString(s12, h / 12, x3, (y3 + y7) / 2);
153  String s13 = "" + Feh;
154  w.drawString(s13, h / 12, (x3 + x4) / 2, (y4 + y7) / 2);
155  //เขียนลูกศรreaction
156  w.setForeground(DWindow.GREEN);
157  y10000 = y0 + h / 15;
158  x10000 = x0 - l / 15;
159  w.drawLine(x10000-l/5-l/ 15, y10000, x10000 - l / 5, y0);
160  w.drawLine(x10000-l/5-l/15,y10000,x10000-l/5,y10000+h/15);
161  w.drawLine(x10000-l/5,y0, x10000 - l / 5, y10000 + h / 15);
162  w.drawLine(x10000, y10000, x10000 - l / 5, y10000);
163  k = 0;
164  x10000 = x0;
165  while (true) {
166  w.drawLine(x10000,y10000,x10000 - l / 15, y10000 + h / 15);
167  w.drawLine(x10000,y10000,x10000 + l / 15, y10000 + h / 15);
168  w.drawLine(x10000-l/15,y10000+h/15,x10000+l/15,y10000+h/15);
```

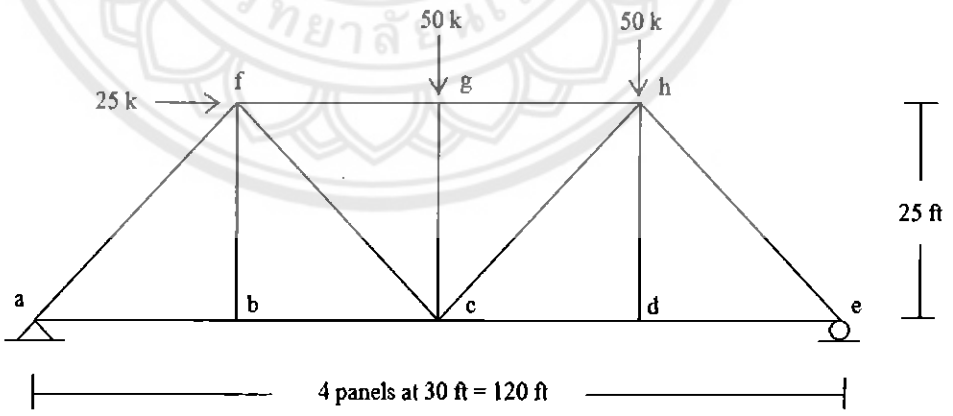
ภาพที่ 33 Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (3)

```
169     w.drawLine(x10000,y10000 + h / 15, x10000, y10000 + h / 5);
170     x10000 += 4 * l;
171     k++;
172     if (k == 2) break;
173     }
174     //จำกัดทศนิยมของreaction
175     Rh = (int)(Rh * 1000) / 1000.0;
176     Rv1 = (int)(Rv1 * 1000) / 1000.0;
177     Rv2 = (int)(Rv2 * 1000) / 1000.0;
178     //แสดงreaction
179     w.drawString("" + Rh, h/12,x0-1/5-2*1/15, y10000 + h / 15);
180     w.drawString("" + Rv1, h / 12, x0, y10000 + h / 5 + h / 15);
181     w.drawString("" + Rv2, h / 12, x4, y10000 + h / 5 + h / 15);
182     w.drawString("ten(+),com(-)", h / 5, 0, 0);
183
184     }
185 }
```

ภาพที่ 34 Source Code ตัวอย่างที่ 1 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Determinate (4)

โจทย์สำหรับการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบดีเทอร์มิเนสแตติกส์ (Statically Determinate Truss)

Example 1: Determine the reaction and the force in each member of the truss shows in Fig 35

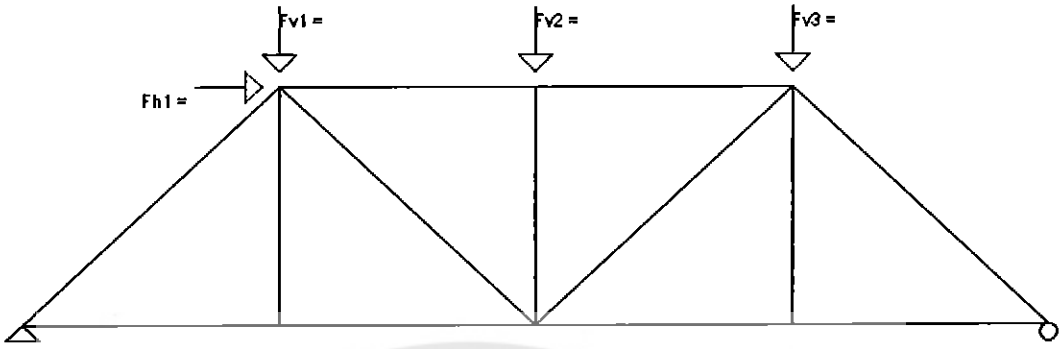


ภาพที่ 35 Example 1 Determinate Truss Analysis

Solution by JLab

Open JLab → file → open → Example 1 Determinate Truss Analysis

จากนั้นใส่ค่า Input โดยให้แรงตามลูกศรเป็น + ดังภาพที่ 36

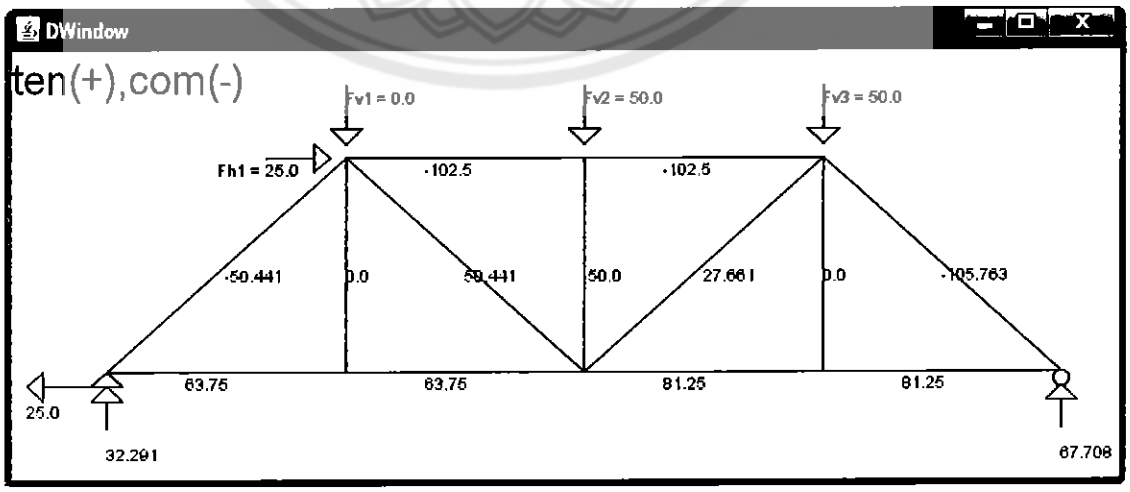


ภาพที่ 36 Example 1 Solution by JLab (1)

Run Program → F5 → Input h = 25 , l = 30 , F_{h1} = 25 , F_{v1} = 0 , F_{v2} = 50 และ F_{v2} = 50 (ดังภาพที่ 37) → Enter จะได้ Output (ดังภาพที่ 38)

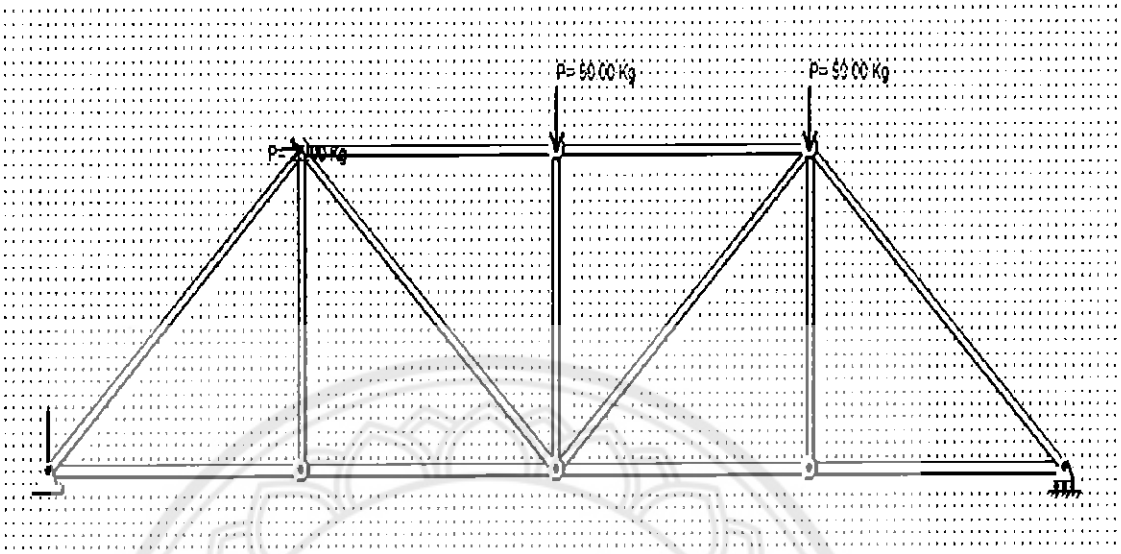
```
JLab>java Truss
h = 25
l = 30
Fh1 = 25
Fv1 = 0
Fv2 = 50
Fv3 = 50
```

ภาพที่ 37 Example 1 Solution by JLab (2)

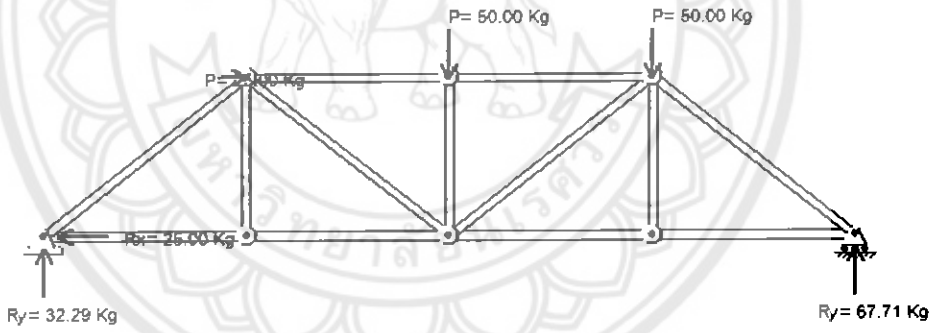


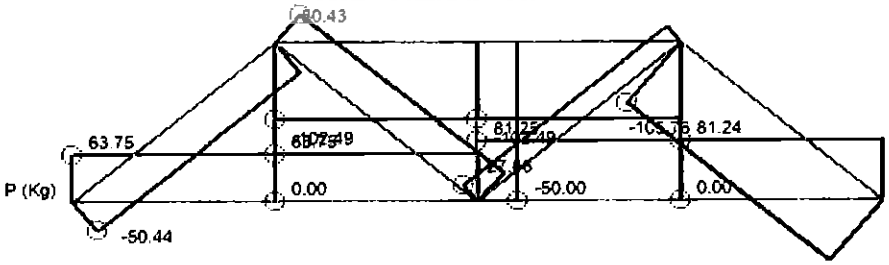
ภาพที่ 38 Example 1 Solution by JLab (3)

Solution by SUTStructor



ภาพที่ 39 Example 1 Solution by SUTStructor (1)





ภาพที่ 40 Example 1 Solution by SUTStructor (2)

Member	Fx.i	Fy.i	Mz.i	Fx.j	Fy.j	Mz.j
1	-63.75	0.00	0.00	63.75	0.00	0.06
2	-63.75	0.01	0.03	63.75	-0.01	0.16
3	-81.25	0.00	-0.13	81.25	0.00	0.05
4	-81.24	-0.01	-0.15	81.24	0.01	0.00
5	0.00	0.00	-0.09	0.00	0.00	0.00
6	50.00	0.00	-0.03	-50.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
8	50.44	0.00	0.00	-50.44	0.00	0.00
9	-50.43	0.00	0.00	50.43	0.00	0.00
10	-27.66	0.00	0.00	27.66	0.00	0.00
11	105.76	0.00	0.00	-105.76	0.00	0.00
12	77.49	0.00	0.00	-102.49	0.00	0.00
13	102.49	50.00	0.00	-102.49	50.00	0.00

ภาพที่ 41 Example 1 Solution by SUTStructor (3)

ตาราง 2 แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 1

No. Node	Reaction Force			
	Solve by JLab		Solve by SUTstructor	
	R_x	R_y	R_x	R_y
1	-25	32.291	-25	32.29
5	-	67.708	-	67.71

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 1

No. Member	Member Force	
	Solve by JLab	Solve by SUTstructor
1	63.75	63.75
2	63.75	63.75
3	81.25	81.25
4	81.25	81.24

ตาราง 4 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 1 (ต่อ)

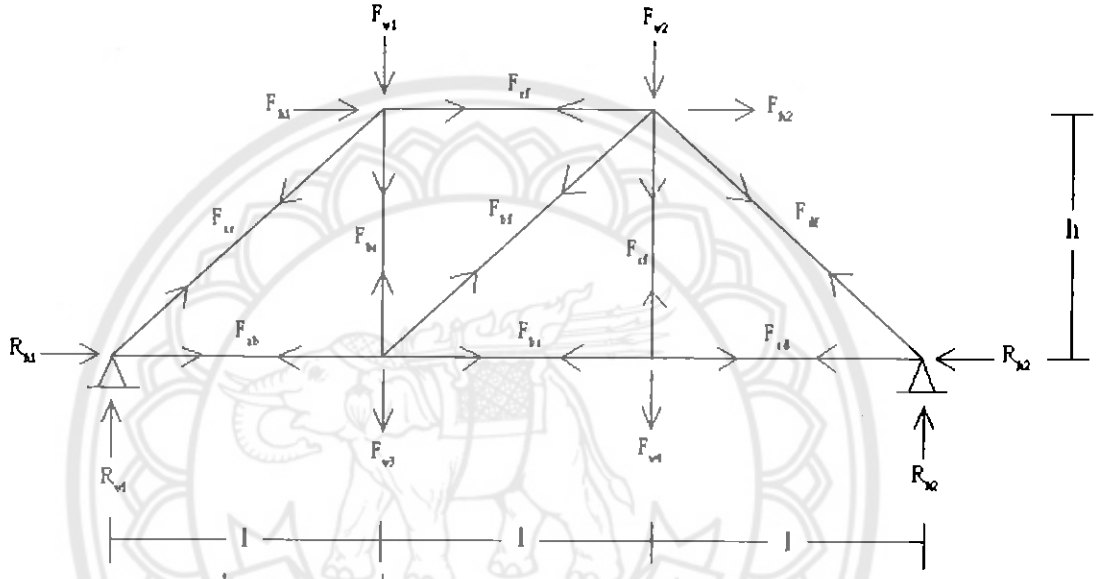
No. Member	Member Force	
	Solve by JLab	Solve by SUTstructor
5	-50.441	-50.00
6	0.00	0.00
7	50.441	50.441
8	50.00	50.00
9	27.661	27.66
10	0.00	0.00
11	-105.763	-105.76
12	-102.50	-102.49
13	-102.50	-102.49

จากตาราง 2 และ 3 พบว่า การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทั้งสองให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก คือ แตกต่างกันที่จุดทศนิยมหลักที่สามหรือความละเอียดในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาถูกต้องและสามารถนำมาใช้งานจริงได้

4.2 การสร้างแบบตัวอย่างวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate

ด้วยซอฟแวร์ JLab สามารถนำมาเขียนแบบตัวอย่างวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate ดังตัวอย่างที่ 2 และ 3

ตัวอย่างที่ 2 : การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate ภายนอกและแสดง Source Code พร้อม คำอธิบายดังภาพที่ 42 ถึง 47



ภาพที่ 42 ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate

```
1  import jlab.graphics.DWindow;
2  import java.util.Scanner;
3
4  public class Indeterminate_Truss_2 {
5    public static void main(String[] args) {
6      Scanner kb = new Scanner(System.in);
7      System.out.print("h = ");
8      double h = kb.nextDouble();
9      System.out.print("l = ");
10     double l = kb.nextDouble();
11     //ปรับขนาดภาพใน Dwindow
12     if (h < 50 || l < 50) {
13       h *= 5;
14       l *= 5;
15     }
16     if ((h >= 50 && h < 100) || (l >= 50 && l < 100)) {
17       h *= 2;
18       l *= 2;
19     }
20     double height = h * 2, width = l * 5;
21     DWindow w = new DWindow(width, height);
22     double x0 = l, y0 = 1.5 * h;
23     double x1 = x0 + l, y1 = y0;
24     double x2 = x1 + l, y2 = y1;
25     double x3 = x2 + l, y3 = y2;
26     double x4 = x1, y4 = 0.5 * h;
27     double x5 = x2, y5 = y4;
28     w.drawLine(x0, y0, x3, y3);
29     w.drawLine(x4, y4, x5, y5);
30     w.drawLine(x0, y0, x4, y4);
31     w.drawLine(x1, y1, x4, y4);
32     w.drawLine(x1, y1, x5, y5);
33     w.drawLine(x2, y2, x5, y5);
34     w.drawLine(x3, y3, x5, y5);
35     //สั่งให้วาด Support hint
36     w.drawLine(x0, y0, x0 - l / 15, y0 + h / 15);
37     w.drawLine(x0-l / 15,y0+h / 15,x0+l / 15,y0+h /15);
38     w.drawLine(x0 + l / 15, y0 + h / 15, x0, y0);
39     w.drawLine(x3, y0, x3 - l / 15, y0 + h / 15);
40     w.drawLine(x3-l / 15,y0+h / 15,x3+l / 15, y0+h /15);
41     w.drawLine(x3 + l / 15, y0 + h / 15, x3, y0);
42     //สั่งให้วาดลูกศรบอกแนวแรง
43     w.setForeground(DWindow.RED); //set colour
44     double x100 = x1 - l / 15;
45     double y100 = y4 - h / 15;
46     double y200 = y100 - h / 5 - h / 15;
47     double y300 = y1 + h / 5 + h / 15;
48     double y400 = y300 + h / 15;
49     double x10000 = x1;
50     int k = 0;
51     while (true) {
52     w.drawLine(x10000, y4, x100, y100);
53     w.drawLine(x100, y100, x100 + 2 * l / 15, y100);
54     w.drawLine(x100 + 2 * l / 15, y100, x10000, y4);
55     w.drawLine(x10000, y100, x10000, y200);
```

ภาพที่ 43 Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (1)

```
56    w.drawLine(x10000, y1, x10000, y300);
57    w.drawLine(x100, y300, x100 + 2 * l / 15, y300);
58    w.drawLine(x100 + 2 * l / 15, y300, x10000, y400);
59    w.drawLine(x10000, y400, x100, y300);
60    x10000 = x10000 + l;
61    x100 = x100 + l;
62    k++;
63    if (k == 2) break;
64    }
65    double x20000 = x4;
66    k = 0;
67    while (true) {
68    w.drawLine(x20000-l/5-l/15, y4, x20000-l/15, y4);
69    w.drawLine(x20000-l/15, y4-h/15, x20000-l/15, y4+h/15);
70    w.drawLine(x20000-l/15, y4+h / 15, x20000, y4);
71    w.drawLine(x20000, y4, x20000 - l / 15, y4 - h / 15);
72    x20000 = x20000 + l + l / 5 + l / 15;
73    k++;
74    if (k == 2) break;
75    }
76    w.setForeground(DWindow.BLACK);
77    String s100 = "Fh1 = ";
78    String s200 = "Fh2 = ";
79    String s300 = "Fv1 = ";
80    String s400 = "Fv2 = ";
81    String s500 = "Fv3 = ";
82    String s600 = "Fv4 = ";
83    //ถามหาแรงภายนอก
84    w.drawString(s100,h/12,x4-l/5-l/15-l/5,y4-h/12);
85    w.drawString(s200,h/12,x5+l/5+l/15+l/15,y4-h/12);
86    w.drawString(s300, h / 12, x4, y200 - l / 15);
87    w.drawString(s400, h / 12, x5, y200 - l / 15);
88    w.drawString(s500, h / 12, x4, y300 + l / 15);
89    w.drawString(s600, h / 12, x5, y300 + l / 15);
90    System.out.print("Fh1 = ");
91    double Fh1 = kb.nextDouble();
92    System.out.print("Fh2 = ");
93    double Fh2 = kb.nextDouble();
94    System.out.print("Fv1 = ");
95    double Fv1 = kb.nextDouble();
96    System.out.print("Fv2 = ");
97    double Fv2 = kb.nextDouble();
98    System.out.print("Fv3 = ");
99    double Fv3 = kb.nextDouble();
100   System.out.print("Fv4 = ");
101   double Fv4 = kb.nextDouble();
102   double lslope = Math.sqrt(l * l + h * h);
103   s100 += Fh1;
104   s200 += Fh2;
105   s300 += Fv1;
106   s400 += Fv2;
107   s500 += Fv3;
108   s600 += Fv4;
109   w.drawString(s100,h/12,x4-l/5-l/15-l/5,y4-h/12);
110   w.drawString(s200,h/12,x5+l/5+l/15+l/15,y4-h/12);
111   w.drawString(s300, h / 12, x4, y200 - l / 15);
```

ภาพที่ 44 Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (2)

```
112  w.drawString(s400, h / 12, x5, y200 - l / 15);
113  w.drawString(s500, h / 12, x4, y300 + l / 15);
114  w.drawString(s600, h / 12, x5, y300 + l / 15);
115  //คิด FO คัด Rh2 ออก
116  double Rv2 =((Fh1+Fh2)*h+(Fv1+Fv3)*l+(Fv2+Fv4)*2*l)/(3*l);
117  double Rv1 = Fv1 + Fv2 + Fv3 + Fv4 - Rv2;
118  double Rh1 = -Fh1 - Fh2;
119  double Fae = -Rv1 * lslope / h;
120  double Fab = -Rh1 - Fae * l / lslope;
121  double Fef = -Fh1 + Fae * l / lslope;
122  double Fbe = -Fv1 - Fae * h / lslope;
123  double Fbf = (Fv3 - Fbe) * lslope / h;
124  double Fbc = Fab - Fbf * l / lslope;
125  double Fcd = Fbc;
126  double Fcf = Fv4;
127  double Fdf = -Rv2 * lslope / h;
128  //ถามหาพื้นที่หน้าตัดของเหล็กโครงข้อหมุน
129  System.out.print("Aab = ");
130  double Aab = kb.nextDouble();
131  System.out.print("Abc = ");
132  double Abc = kb.nextDouble();
133  System.out.print("Acd = ");
134  double Acd = kb.nextDouble();
135  System.out.print("Aef = ");
136  double Aef = kb.nextDouble();
137  System.out.print("Aae = ");
138  double Aae = kb.nextDouble();
139  System.out.print("Abe = ");
140  double Abe = kb.nextDouble();
141  System.out.print("Abf = ");
142  double Abf = kb.nextDouble();
143  System.out.print("Acf = ");
144  double Acf = kb.nextDouble();
145  System.out.print("Adf = ");
146  double Adf = kb.nextDouble();
147  double Lab = l, Lbc = l, Lcd = l, Lef = l;
148  double Lae = lslope, Lbf = lslope, Ldf = lslope;
149  double Lbe = h, Lcf = h;
150  //คำนวณหาแรงปฏิกิริยา
151  double SUMab = Fab * Lab / Aab;
152  double SUMbc = Fbc * Lbc / Abc;
153  double SUMcd = Fcd * Lcd / Acd;
154  double uDab = Lab / Aab;
155  double uDbc = Lbc / Abc;
156  double uDcd = Lcd / Acd;
157  double Rh2 = -(SUMab + SUMbc + SUMcd)/(uDab + uDbc + uDcd);
158  Rh1 = -Rh2 - Fh1 - Fh2;
159  System.out.print("Rh1 = "+Rh1+" Rh2 = "+Rh2+" Rv1 = "+Rv1+" Rv2 = "+Rv2);
160  //คำนวณหาแรงภายใน F = FO + uD*Dx
161  Fab = Fab + Rh2;
162  Fbc = Fbc + Rh2;
163  Fcd = Fcd + Rh2;
164  //จำกัดทศนิยมให้เหลือสามตำแหน่ง
165  Fab = (int)(Fab * 1000) / 1000.0;
166  Fbc = (int)(Fbc * 1000) / 1000.0;
167  Fcd = (int)(Fcd * 1000) / 1000.0;
```

ภาพที่ 45 Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (3)

```
168  Fef = (int)(Fef * 1000) / 1000.0;
169  Fae = (int)(Fae * 1000) / 1000.0;
170  Fbe = (int)(Fbe * 1000) / 1000.0;
171  Fbf = (int)(Fbf * 1000) / 1000.0;
172  Fcf = (int)(Fcf * 1000) / 1000.0;
173  Fdf = (int)(Fdf * 1000) / 1000.0;
174  //แสดงแรงภายใน
175  w.setForeground(DWindow.PINK);
176  String s1 = "" + Fab;
177  w.drawString(s1, h / 12, x0 + l / 3, y0);
178  String s2 = "" + Fbc;
179  w.drawString(s2, h / 12, x1 + l / 3, y0);
180  String s3 = "" + Fcd;
181  w.drawString(s3, h / 12, x2 + l / 3, y0);
182  String s4 = "" + Fef;
183  w.drawString(s4, h / 12, x4 + l / 3, y4);
184  String s5 = "" + Fae;
185  w.drawString(s5, h / 12, (x0 + x4) / 2, (y0 + y4) / 2);
186  String s6 = "" + Fbe;
187  w.drawString(s6, h / 12, x1, (y1 + y4) / 2);
188  String s7 = "" + Fbf;
189  w.drawString(s7, h / 12, (x1 + x5) / 2, (y1 + y5) / 2);
190  String s8 = "" + Fcf;
191  w.drawString(s8, h / 12, x2, (y2 + y5) / 2);
192  String s9 = "" + Fdf;
193  w.drawString(s9, h / 12, (x3 + x5) / 2, (y3 + y5) / 2);
194  // วาดลูกศร reaction
195  w.setForeground(DWindow.YELLOW);
196  x20000 = x0 - l / 12;
197  double y10000 = y0 + h / 12;
198  k = 0;
199  while (true) {
200  w.drawLine(x20000-l/5-l/15, y10000, x20000-l/15, y10000);
201  w.drawLine(x20000-l/15, y10000-h/15, x20000-l/15, y10000+h/15);
202  w.drawLine(x20000 - l / 15, y10000 + h / 15, x20000, y10000);
203  w.drawLine(x20000, y10000, x20000 - l / 15, y10000 - h / 15);
204  x20000 += 3.0 * l + l / 5 + l / 15 + l / 6;
205  k++;
206  if (k == 2) break;
207  }
208  k = 0;
209  x20000 = x0;
210  while (true) {
211  w.drawLine(x20000, y10000+h/12, x20000, y10000+h/5+h/12);
212  w.drawLine(x20000-l/12, y10000+h/12, x20000+l/15, y10000+h/12);
213  w.drawLine(x20000 + l / 15, y10000 + h / 12, x20000, y10000);
214  w.drawLine(x20000, y10000, x20000 - l / 12, y10000 + h / 12);
215  x20000 += 3.0 * l;
216  k++;
217  if (k == 2) break;
218  }
219  //ปรับทศนิยม reaction
220  Rh1 = (int)(Rh1*1000)/1000.0;
221  Rh2 = (int)(Rh2*1000)/1000.0;
222  Rv1 = (int)(Rv1*1000)/1000.0;
223  Rv2 = (int)(Rv2*1000)/1000.0;
```

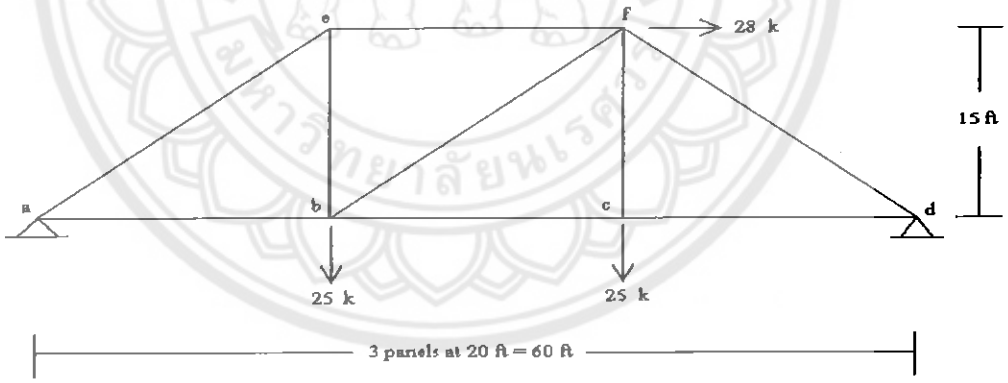
ภาพที่ 46 Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (4)

```
224    //แสดงreaction
225    w.setForeground(DWindow.CYAN); //set สี
226    w.drawString("" + Rh1, h/12, x0-1 / 5-1 / 12-1 / 15, y10000);
227    w.drawString("" + Rh2, h/12, x3+1 / 5+1 / 12+1 / 15, y10000);
228    w.drawString("" + Rv1, h / 12, x0, y10000 + h / 12 + h / 5);
229    w.drawString("" + Rv2, h / 12, x3, y10000 + h / 12 + h / 5);
230    w.drawString("ten(+),com(-)", h / 5, 0, 0);
231
232    }
233 }
```

ภาพที่ 47 Source Code ตัวอย่างที่ 2 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (5)

โจทย์สำหรับการวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบอินดีเทอร์มิเนสแตติกส์ (Statically Indeterminate Truss)

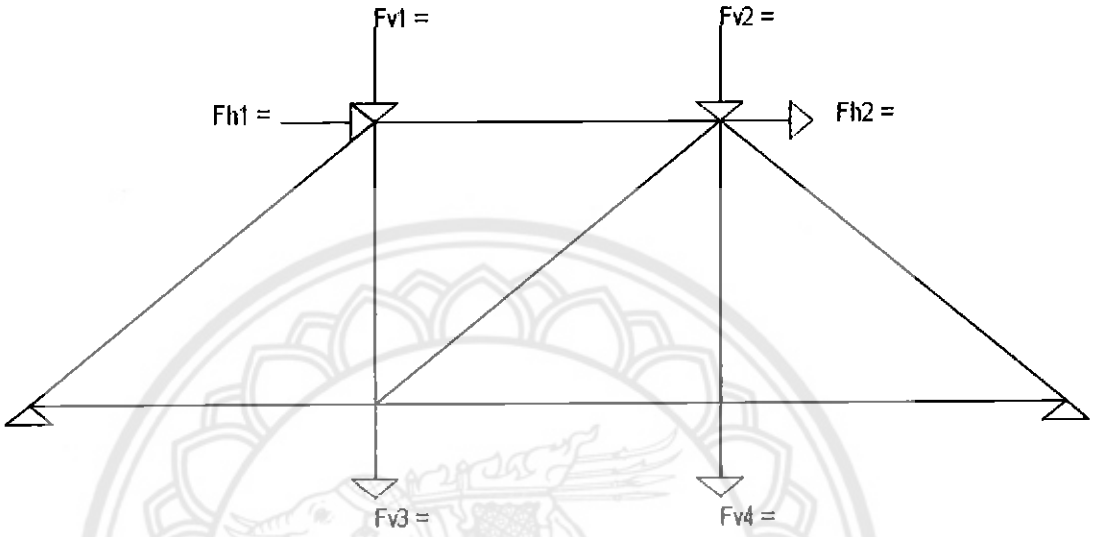
Example 2: Determine the reaction and the force in each member of the truss shows in Fig 48



ภาพที่ 48 Example 2 Indeterminate Truss Analysis

Solution by JLab

Open Jlab → file → open → Example 2 Indeterminate Truss Analysis จากนั้นใส่ค่า Input โดยให้แรงตามลูกศรเป็น + ดังภาพที่ 49

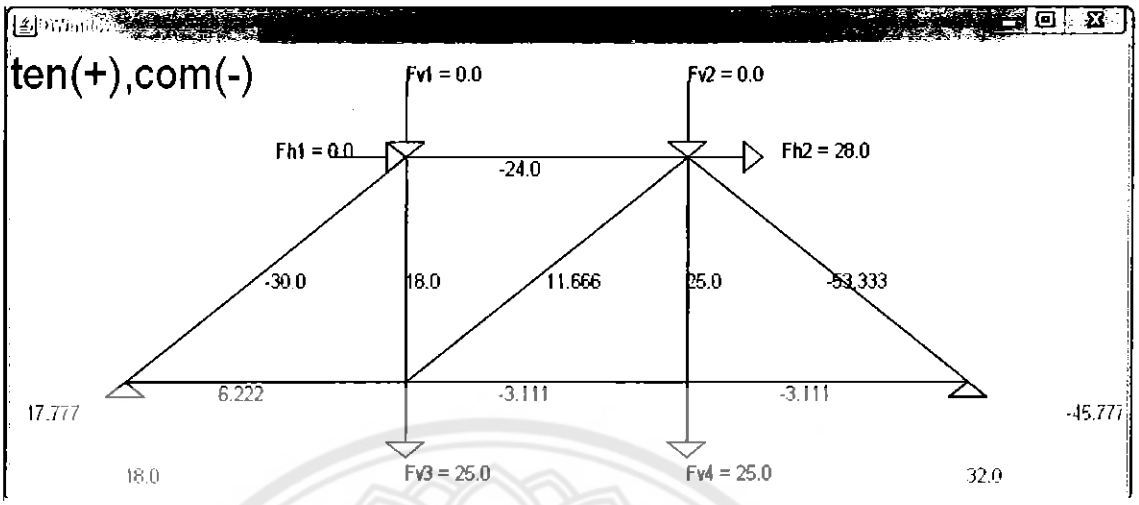


ภาพที่ 49 Example 2 Solution by JLab (1)

Run Program → F5 → Input h = 15 , l = 20 , F_{h1} = 0 , F_{h2} = 28 , F_{v1} = 0 , F_{v2} = 0 , F_{v3} = 25 และ F_{v4} = 25 (ดังภาพที่ 50) → Enter จะได้ Output ดังภาพที่ 51

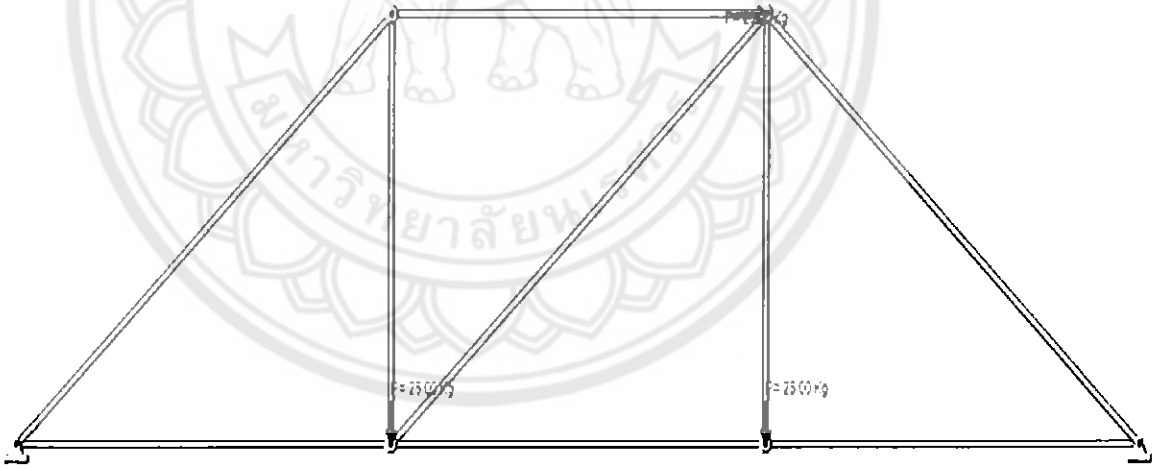
```
h = 15
l = 20
Fh1 = 0
Fh2 = 28
Fv1 = 0
Fv2 = 0
Fv3 = 25
Fv4 = 25
Aab = 6
Abc = 6
Acd = 6
Aef = 6
Aae = 6
Abe = 4
Abf = 4
Acf = 4
Adf = 6
```

ภาพที่ 50 Example 2 Solution by JLab (2)

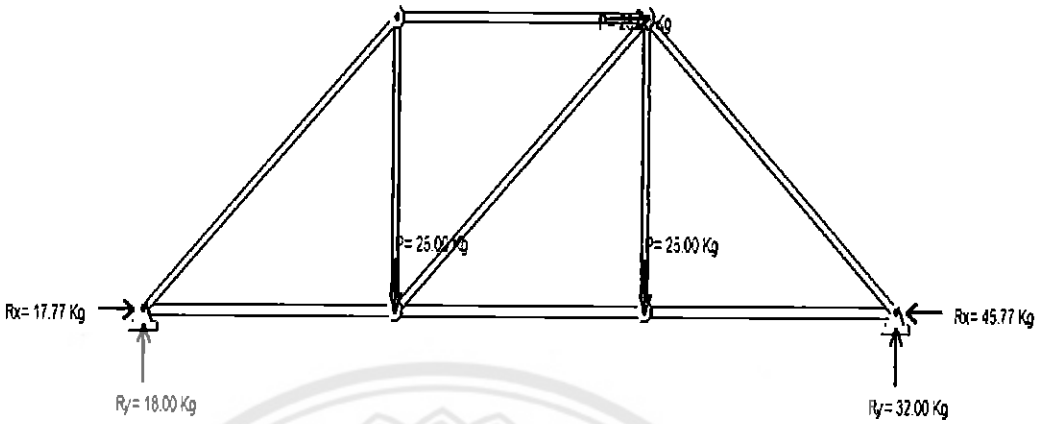


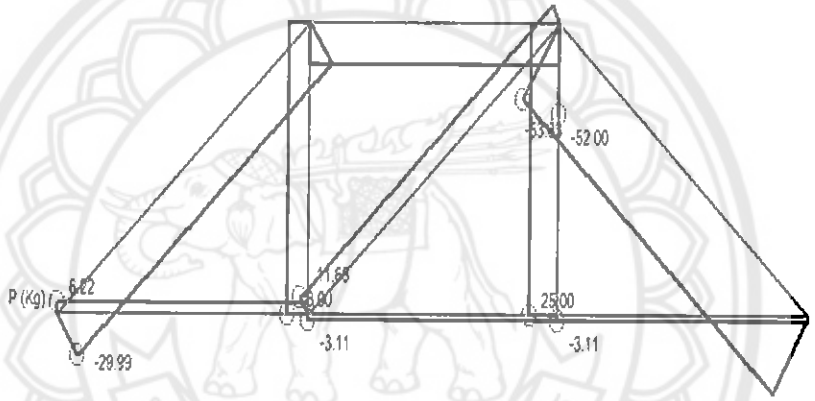
ภาพที่ 51 Example 2 Solution by JLab (3)

Solution by SUTStructor



ภาพที่ 52 Example 2 Solution by SUTStructor (1)





ภาพที่ 53 Example 2 Solution by SUTStructor (2)

Member	Fx.i	Fy.i	Mz.i	Fx.j	Fy.j	Mz.j
1	-6.22	0.00	0.00	6.22	0.00	0.08
2	3.11	25.00	-0.05	-3.11	25.00	0.02
3	3.11	0.00	-0.09	-3.11	0.00	0.00
4	-18.00	0.00	-0.02	18.00	0.00	0.00
5	-25.00	0.00	0.07	25.00	0.00	0.00
6	29.99	0.00	0.00	-29.99	0.00	0.00
7	-11.66	0.00	0.00	11.66	0.00	0.00
8	53.33	0.00	0.00	-53.33	0.00	0.00
9	24.00	0.00	0.00	-52.00	0.00	0.00

ภาพที่ 54 Example 2 Solution by SUTStructor (3)

ตาราง 5 แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 2

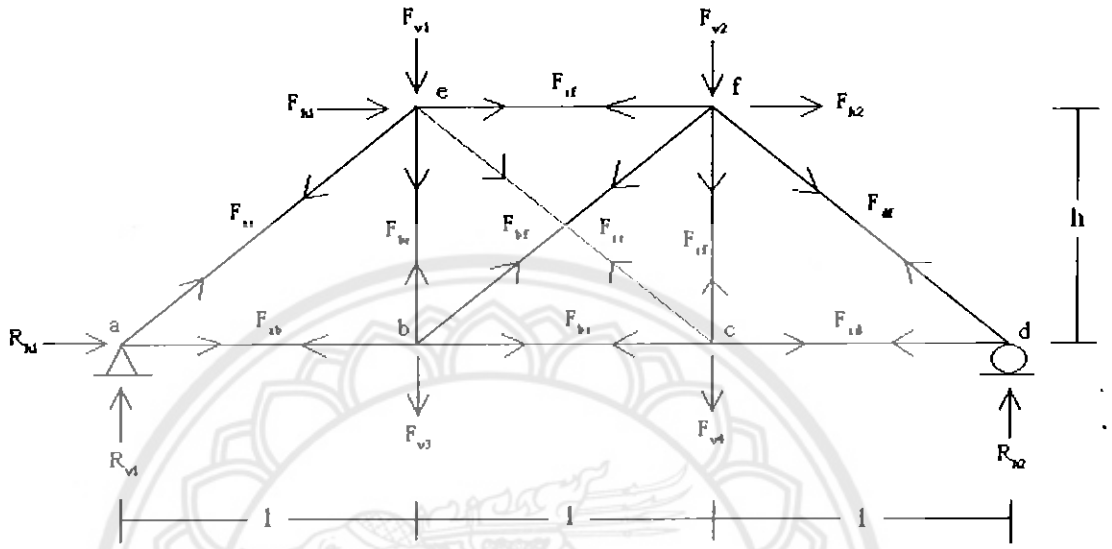
No. Node	Reaction Force			
	Solve by JLab		Solve by SUTstructor	
	R_x	R_y	R_x	R_y
1	17.77	18.00	17.77	18.00
4	-45.77	32.00	-45.77	32.00

ตาราง 6 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 2

No. Member	Member Force	
	Solve by JLab	Solve by SUTstructor
1	6.222	6.22
2	-3.111	-3.11
3	-3.111	-3.11
4	-30.00	-29.99
5	18.00	18.00
6	11.666	11.66
7	25.00	25.00
8	-53.333	-53.33
9	-24.00	-24.00

จากตาราง 5 และ 6 พบว่า การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทั้งสองให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก คือ แตกต่างกันที่จุดทศนิยมหลักที่สามหรือความละเอียดในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาถูกต้องและสามารถนำมาใช้งานจริงได้

<u>ตัวอย่างที่ 3</u>: การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate ภายใน และแสดง Source Code พร้อม คำอธิบายดังภาพที่ 55 ถึง 60



ภาพที่ 55 ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate

```
1  import jlab.graphics.DWindow;
2  import java.util.Scanner;
3
4  public class Truss3 {
5    public static void main(String[] args) {
6      Scanner kb = new Scanner(System.in);
7      System.out.print("h = ");
8      double h = kb.nextDouble();
9      System.out.print("l = ");
10     double l = kb.nextDouble();
11     //ปรับขนาดภาพใน Dwindow
12     if (h < 50 || l < 50) {
13       h *= 5;
14       l *= 5;
15     }
16     if ((h >= 50 && h < 100) || (l >= 50 && l < 100)) {
17       h *= 2;
18       l *= 2;
19     }
20     //วาดโครงข้อหมุน
21     double height = h * 2, width = l * 5;
22     DWindow w = new DWindow(width, height);
23     double x0 = l, y0 = 1.5 * h;
24     double x1 = x0 + l, y1 = y0;
25     double x2 = x1 + l, y2 = y1;
26     double x3 = x2 + l, y3 = y2;
27     double x4 = x1, y4 = 0.5 * h;
28     double x5 = x2, y5 = y4;
29     w.drawLine(x0, y0, x3, y3);
30     w.drawLine(x4, y4, x5, y5);
31     w.drawLine(x0, y0, x4, y4);
32     w.drawLine(x5, y5, x3, y3);
33     w.drawLine(x1, y1, x4, y4);
34     w.drawLine(x2, y2, x5, y5);
35     w.drawLine(x2, y2, x4, y4);
36     w.drawLine(x1, y1, x5, y5);
37     //สั่งให้วาด Support hint,roller
38     w.drawLine(x0, y0, x0 - l / 15, y0 + h / 15);
39     w.drawLine(x0-l/15, y0+h/15, x0+l/15, y0+h/15);
40     w.drawLine(x0 + l / 15, y0 + h / 15, x0, y0);
41     w.drawEllipse(x3, y3 + h / 30, l / 15, h / 15);
42     //สั่งให้วาดลูกศรบอกแนวแรง
43     w.setForeground(DWindow.RED); //set colour
44     double x100 = x1 - l / 15;
45     double y100 = y4 - h / 15;
46     double y200 = y100 - h / 5 - h / 15;
47     double y300 = y1 + h / 5 + h / 15;
48     double y400 = y300 + h / 15;
49     double x10000 = x1;
50     int k = 0;
51     while (true) {
52     w.drawLine(x10000, y4, x100, y100);
53     w.drawLine(x100, y100, x100 + 2 * l / 15, y100);
54     w.drawLine(x100 + 2 * l / 15, y100, x10000, y4);
55     w.drawLine(x10000, y100, x10000, y200);
```

ภาพที่ 56 Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (1)

```
56    w.drawLine(x10000, y1, x10000, y300);
57    w.drawLine(x100, y300, x100 + 2 * l / 15, y300);
58    w.drawLine(x100 + 2 * l / 15, y300, x10000, y400);
59    w.drawLine(x10000, y400, x100, y300);
60    x10000 = x10000 + l;
61    x100 = x100 + l;
62    k++;
63    if (k == 2) break;
64    }
65    double x20000 = x4;
66    k = 0;
67    while (true) {
68    w.drawLine(x20000-l/5-l/15, y4, x20000-l/15, y4);
69    w.drawLine(x20000-l/15, y4-h/15, x20000-l/15, y4+h/15);
70    w.drawLine(x20000 - l / 15, y4 + h / 15, x20000, y4);
71    w.drawLine(x20000, y4, x20000 - l / 15, y4 - h / 15);
72    x20000 = x20000 + l + l / 5 + l / 15;
73    k++;
74    if (k == 2) break;
75    }
76    w.setForeground(DWindow.BLACK);
77    String s100 = "Fh1 = ";
78    String s200 = "Fh2 = ";
79    String s300 = "Fv1 = ";
80    String s400 = "Fv2 = ";
81    String s500 = "Fv3 = ";
82    String s600 = "Fv4 = ";
83    //ตามหาแรงภายนอก
84    w.drawString(s100, h/12,x4-l/5-l/15-l/5, y4-h/12);
85    w.drawString(s200, h/12,x5+l/5+l/15+l/15,y4-h/12);
86    w.drawString(s300, h / 12, x4, y200 - l / 15);
87    w.drawString(s400, h / 12, x5, y200 - l / 15);
88    w.drawString(s500, h / 12, x4, y300 + l / 15);
89    w.drawString(s600, h / 12, x5, y300 + l / 15);
90    System.out.print("Fh1 = ");
91    double Fh1 = kb.nextDouble();
92    System.out.print("Fh2 = ");
93    double Fh2 = kb.nextDouble();
94    System.out.print("Fv1 = ");
95    double Fv1 = kb.nextDouble();
96    System.out.print("Fv2 = ");
97    double Fv2 = kb.nextDouble();
98    System.out.print("Fv3 = ");
99    double Fv3 = kb.nextDouble();
100   System.out.print("Fv4 = ");
101   double Fv4 = kb.nextDouble();
102   double lslope = Math.sqrt(l * l + h * h);
103   s100 += Fh1;
104   s200 += Fh2;
105   s300 += Fv1;
106   s400 += Fv2;
107   s500 += Fv3;
108   s600 += Fv4;
109   w.drawString(s100,h/12,x4-l/5-l/15-l/5,y4-h/12);
110   w.drawString(s200,h/12,x5+l/5+l/15+l/15,y4-h/12);
111   w.drawString(s300, h / 12, x4, y200 - l / 15);
```

ภาพที่ 57 Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (2)

```
112  w.drawString(s400, h / 12, x5, y200 - l / 15);
113  w.drawString(s500, h / 12, x4, y300 + l / 15);
114  w.drawString(s600, h / 12, x5, y300 + l / 15);
115  //คำนวณหาแรงภายในและแรงปฏิกิริยา
116  double Rh1 = -Fh1 - Fh2;
117  double Rv2 =((Fv1+Fv3)*l+(Fv2+Fv4)*2.0*l+(Fh1+Fh2)*h)/(3.0*l);
118  double Rv1 = Fv1 + Fv2 + Fv3 + Fv4 - Rv2;
119  double Fae = -Rv1 * lslope / h;
120  double Fab = -Rh1 - Fae * l / lslope;
121  double Fdf = -Rv2 * lslope / h;
122  double Fcd = -Fdf * l / lslope;
123  double Fef = -Fh1 + Fae * l / lslope;
124  double Fbe = -Fv1 - Fae * h / lslope;
125  double Fbf = (Fv3 - Fbe) * lslope / h;
126  double Fbc = Fab - Fbf * l / lslope;
127  double Fcf = Fv4;
128  double Fce = 0;
129  //คำนวณหา UO โดย Uce = 1
130  double Uab = 0;
131  double Uae = 0;
132  double Ucd = 0;
133  double Udf = 0;
134  double Uce = 1;
135  double Ubf = 1;
136  double Ubc = -Ubf * l / lslope;
137  double Ube = -Ubf * h / lslope;
138  double Uef = Ubc;
139  double Ucf = Ube;
140  //คำนวณหา Fce ที่แท้จริง
141  double FULab = Fab * Uab * l;
142  double FULbc = Fbc * Ubc * l;
143  double FULcd = Fcd * Ucd * l;
144  double FULef = Fef * Uef * l;
145  double FULbe = Fbe * Ube * h;
146  double FULcf = Fcf * Ucf * h;
147  double FULae = Fae * Uae * lslope;
148  double FULbf = Fbf * Ubf * lslope;
149  double FULce = Fce * Uce * lslope;
150  double FULdf = Fdf * Udf * lslope;
151  double UULab = Uab * Uab * l;
152  double UULbc = Ubc * Ubc * l;
153  double UULcd = Ucd * Ucd * l;
154  double UULef = Uef * Uef * l;
155  double UULbe = Ube * Ube * h;
156  double UULcf = Ucf * Ucf * h;
157  double UULae = Uae * Uae * lslope;
158  double UULbf = Ubf * Ubf * lslope;
159  double UULce = Uce * Uce * lslope;
160  double UULdf = Udf * Udf * lslope;
161  Fce = -(FULab+FULbc+FULcd+FULef+FULbe+FULcf+FULae+FULbf
162  +FULce+FULdf) / (UULab+UULbc+UULcd+UULef+UULbe+UULcf
163  + UULae + UULbf + UULce + UULdf);
164  //หาแรงภายในตัวอื่นที่แท้จริง
165  Fab = Fab + Uab * Fce;
166  Fbc = Fbc + Ubc * Fce;
167  Fcd = Fcd + Ucd * Fce;
```

ภาพที่ 58 Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (3)

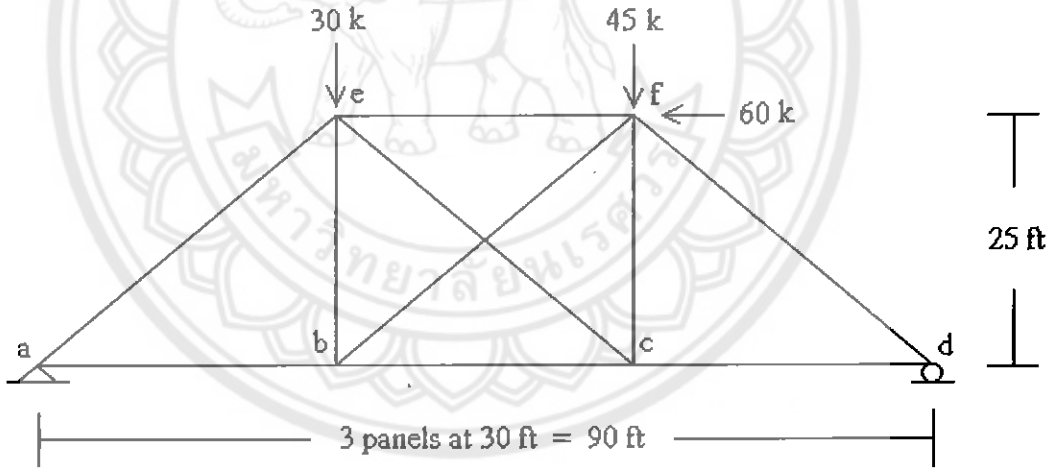
```
168  Fef = Fef + Uef * Fce;
169  Fbe = Fbe + Ube * Fce;
170  Fcf = Fcf + Ucf * Fce;
171  Fae = Fae + Uae * Fce;
172  Fbf = Fbf + Ubf * Fce;
173  Fdf = Fdf + Udf * Fce;
174  //ปรับทศนิยมสามตำแหน่ง
175  double FAB = (int)(Fab * 1000) / (double)1000;
176  double FBC = (int)(Fbc * 1000) / (double)1000;
177  double FCD = (int)(Fcd * 1000) / (double)1000;
178  double FEF = (int)(Fef * 1000) / (double)1000;
179  double FBE = (int)(Fbe * 1000) / (double)1000;
180  double FCF = (int)(Fcf * 1000) / (double)1000;
181  double FAE = (int)(Fae * 1000) / (double)1000;
182  double FBF = (int)(Fbf * 1000) / (double)1000;
183  double FCE = (int)(Fce * 1000) / (double)1000;
184  double FDF = (int)(Fdf * 1000) / (double)1000;
185  //แสดงผลแรงภายใน
186  String s1 = "" + FAB;
187  String s2 = "" + FBC;
188  String s3 = "" + FCD;
189  String s4 = "" + FEF;
190  String s5 = "" + FBE;
191  String s6 = "" + FCF;
192  String s7 = "" + FAE;
193  String s8 = "" + FBF;
194  String s9 = "" + FCE;
195  String s10 = "" + FDF;
196  w.setForeground(DWindow.MAGENTA);
197  w.drawString(s1, h / 12, x0 + l / 3, y0);
198  w.drawString(s2, h / 12, x1 + l / 3, y1);
199  w.drawString(s3, h / 12, x2 + l / 3, y2);
200  w.drawString(s4, h / 12, x4 + l / 3, y4);
201  w.drawString(s5, h / 12, x1, y1 - h / 2);
202  w.drawString(s6, h / 12, x2, y2 - h / 2);
203  w.drawString(s7, h / 12, x0 + l / 3, y0 - h / 2);
204  w.drawString(s8, h / 12, x1 + l / 4, y1 - h / 3);
205  w.drawString(s9, h / 12, x2 - l / 3, y2 - h / 3);
206  w.drawString(s10,h / 12, x3 - l / 3, y3 - h / 2);
207  //วาดลูกศร reaction
208  w.setForeground(DWindow.YELLOW);
209  x20000 = x0 - l / 12;
210  double y10000 = y0 + h / 12;
211  w.drawLine(x20000-l/5-l/15,y10000,x20000-l/15,y10000);
212  w.drawLine(x20000-l/15,y10000-h/15,x20000-l/15,y10000+h/15);
213  w.drawLine(x20000-l/15,y10000+h/15,x20000,y10000);
214  w.drawLine(x20000, y10000, x20000 - l / 15, y10000-h/15);
215  k = 0;
216  x20000 = x0;
217  while (true) {
218  w.drawLine(x20000,y10000+h/12,x20000,y10000+h/5+h/12);
219  w.drawLine(x20000-l/12,y10000+h/12,x20000+l/15,y10000+h/12);
220  w.drawLine(x20000+l/15,y10000+h/12,x20000,y10000);
221  w.drawLine(x20000,y10000,x20000-l/12, y10000 + h / 12);
222  x20000 += 3.0 * l;
223  k++;
```

ภาพที่ 59 Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (4)

```
224     if (k == 2) break;
225     }
226     //จำกัดทศนิยม reaction
227     Rh1 = (int)(Rh1 * 1000 / 1000.0);
228     Rv1 = (int)(Rv1 * 1000 / 1000.0);
229     Rv2 = (int)(Rv2 * 1000 / 1000.0);
230     //แสดง reaction
231     x20000 = x0 - l / 12;
232     w.setForeground(DWindow.GREEN);
233     w.drawString(""+Rh1,h/12,x20000-l/5-l/12,y10000);
234     w.drawString(""+Rv1,h/12,x0,y10000+h/5+h/12);
235     w.drawString(""+Rv2,h/12,x3,y10000+h/5+h/12);
236     w.drawString("ten(+),com(-)",h/5,0,0);
237
238   }
239 }
```

ภาพที่ 60 Source Code ตัวอย่างที่ 3 การวิเคราะห์โครงข้อหมุนแบบ Indeterminate (5)

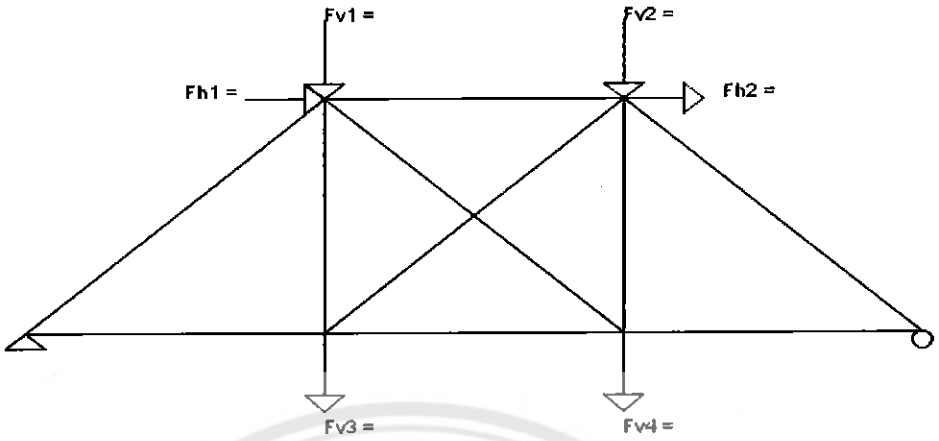
Example 3: Determine the reaction and the force in each member of the truss shows in Fig. 61



ภาพที่ 61 Example 3 Indeterminate Truss Analysis

Solution by JLab

Open JLab → file → open → Example 3 Indeterminate Truss Analysis จากนั้นใส่ค่า Input โดยให้แรงตามลูกศรเป็น + ดังภาพที่ 62

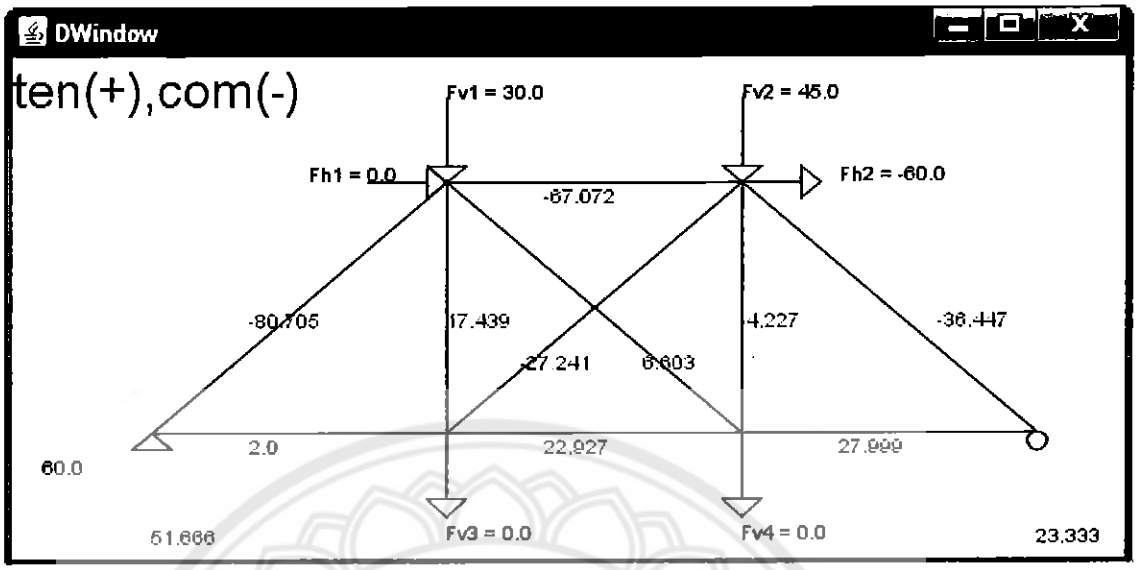


ภาพที่ 62 Example 3 Solution by JLab (1)

Run Program → F5 → Input h = 25 , l = 30 , F_{h1} = 0 , F_{h2} = -60 , F_{v1} = 30 , F_{v2} = 40, F_{v3} = 0 และ F_{v4} = 0 (ดังภาพที่ 63) → Enter จะได้ Output (ดังภาพที่ 64)

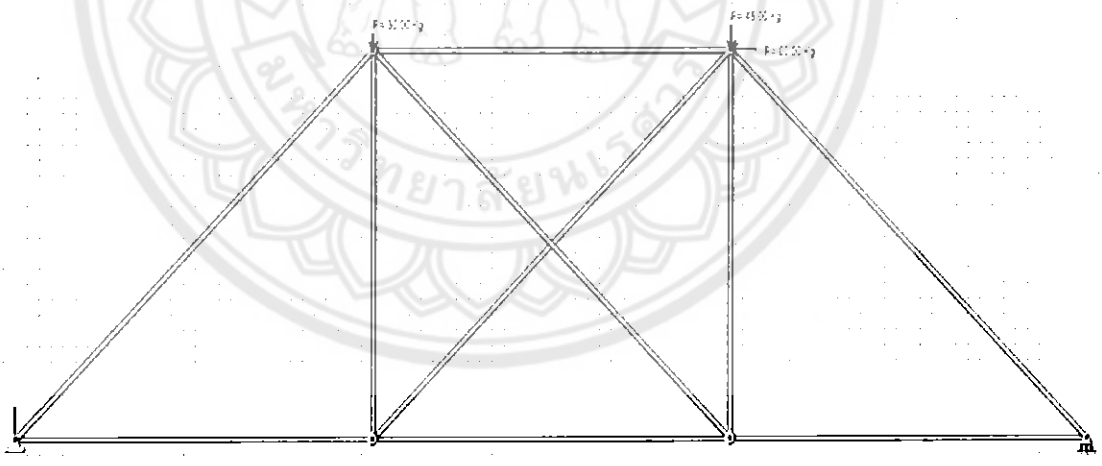
```
JLab>java Truss3
h = 25
l = 30
Fh1 = 0
Fh2 = -60
Fv1 = 30
Fv2 = 45
Fv3 = 0
Fv4 = 0
JLab>
```

ภาพที่ 63 Example 3 Solution by JLab (2)

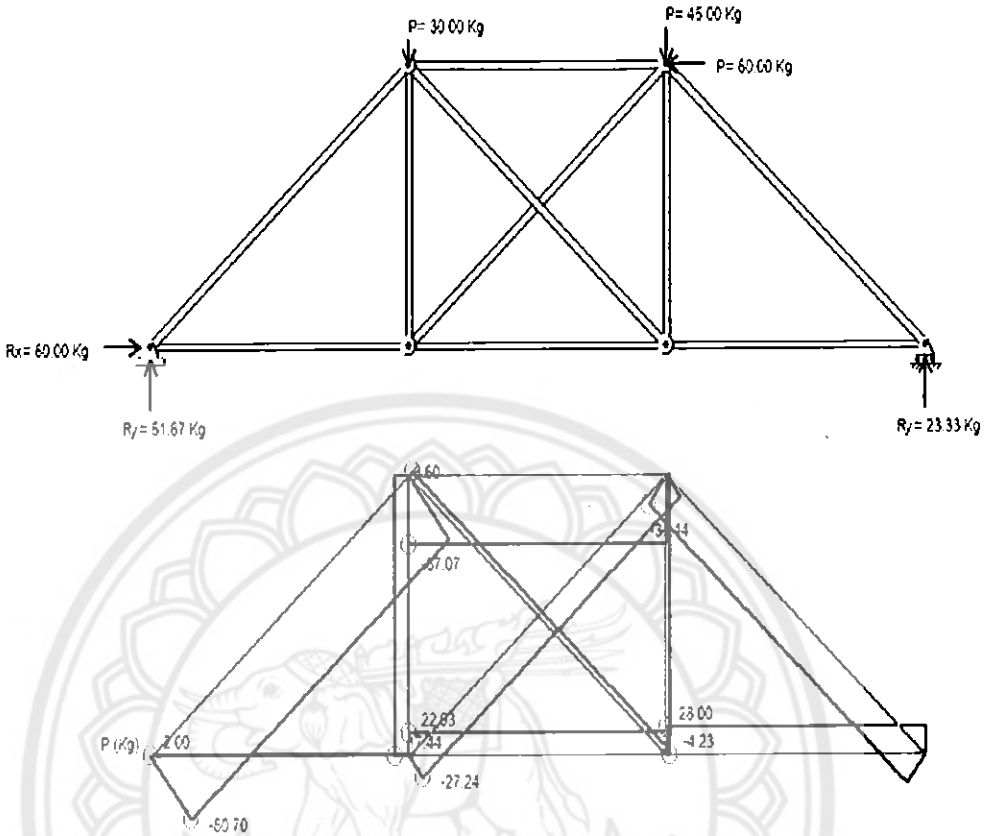


ภาพที่ 64 Example 3 Solution by JLab (3)

Solution by SUTStructor



ภาพที่ 65 Example 3 Solution by SUTStructor (1)



ภาพที่ 66 Example 3 Solution by SUTStructor (2)

Member	Fx.i	Fy.i	Mz.i	Fx.j	Fy.j	Mz.j
1	-2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.09
2	-22.93	0.00	-0.04	22.93	0.00	0.05
3	-28.00	0.00	-0.07	28.00	0.00	0.00
4	-17.44	0.00	-0.05	17.44	0.00	0.00
5	4.23	0.00	0.01	-4.23	0.00	0.00
6	80.70	0.00	0.00	-80.70	0.00	0.00
7	67.07	30.00	0.00	-7.07	45.00	0.00
8	36.44	0.00	0.00	-36.44	0.00	0.00
9	27.24	0.00	0.00	-27.24	0.00	0.00
10	-6.60	0.00	0.00	6.60	0.00	0.00

ภาพที่ 67 Example 3 Solution by SUTStructor (3)

ตาราง 7 แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 3

No. Node	Reaction Force			
	Solve by JLab		Solve by SUTstructor	
	R_x	R_y	R_x	R_y
1	60.00	51.666	60.00	51.67
4		23.333	-	23.33

ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 3

No. Member	Member Force	
	Solve by JLab	Solve by SUTstructor
1	2.00	2.00
2	22.927	22.93
3	27.999	28.00
4	-80.705	-80.70
5	17.439	17.44
6	-27.241	-27.24
7	6.603	6.60
8	-4.227	-4.23
9	-36.447	-36.44
10	-7.072	-7.07

จากตาราง 7 และ 8 พบว่า การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทั้งสองให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก คือ แตกต่างกันที่จุดทศนิยมหลักที่สามหรือความละเอียดในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาถูกต้องและสามารถนำมาใช้งานจริงได้

4.3 การสร้างโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java

ด้วยซอฟแวร์ JLab สามารถนำมาเขียนโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java ด้วยวิธี Direct Stiffness Method ได้ดังนี้ พร้อมแสดง Source Code และคำอธิบายดังภาพที่ 68 ถึง 74

```
1  import jlab.graphics.DWindow;
2  import java.util.Scanner;
3
4  public class Matrix_Stiffness_Method {
5   public static void main(String[] args) {
6   //ถามหาจำนวนโหนดและเมมเบอร์
7   Scanner kb = new Scanner(System.in);
8   System.out.print("Enter number of Node = ");
9   int n = kb.nextInt();
10  System.out.print("Enter number of member = ");
11  int m = kb.nextInt();
12  //ถามหาระยะทางตามแนวแกน
13  double[] Coordinate_x = new double[n];
14  double[] Coordinate_y = new double[n];
15  int k = 1;
16  while (true) {
17  System.out.print("Enter Coordinate on axis X at Node"+k+"is");
18  Cordinate_x[k - 1] = kb.nextDouble();
19  System.out.print("Enter Coordinate on axis Y at Node"+k+"is");
20  Cordinate_y[k - 1] = kb.nextDouble();
21  k++;
22  if (k > n) break;
23  }
24  //ถามหาโหนดเริ่มต้นและโหนดสิ้นสุด
25  int[] Start_Node_Member = new int[m];
26  int[] End_Node_Member = new int[m];
27  double[] EA = new double[m];
28  k = 1;
29  while (true) {
30  System.out.print("Enter Start Node of Member at point"+k+"is");
31  Start_Node_Member[k - 1] = kb.nextInt();
32  System.out.print("Enter End Node of Member at point"+k+"is");
33  End_Node_Member[k - 1] = kb.nextInt();
34  System.out.print("Enter EA of Member " + k + " is ");
35  EA[k - 1] = kb.nextDouble();
36  k++;
37  if (k > m) break;
38  }
39  //ถามหาจุดที่เป็นsupport
40  k = 1;
41  double[] Ux = new double[n];
42  double[] Uy = new double[n];
43  int z = 1;
44  while (true) {
45  System.out.print("At point " + k +
46  " Have a reaction force of support on axis X or not ?(If have,
```

ภาพที่ 68 Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (1)

```
type 1 than press ENTER.If don't have,type 0 than press ENTER)");
z = kb.nextInt();
if (z == 1) Ux[k - 1] = 0; else Ux[k - 1] = 1;
System.out.print("At point " + k +
" Have a reaction force of support on axis Y or not ?(If have,
type 1 than press ENTER. If don't have,type 0 than press ENTER)");
z = kb.nextInt();
if (z == 1) Uy[k - 1] = 0; else Uy[k - 1] = 1;
k++;
if (k > n) break;
}
//ตามหาแรงตามแนวแกน x และ y
double[] Fx = new double[n];
double[] Fy = new double[n];
k = 1;
while (true) {
if (Ux[k - 1] == 1) {
System.out.print("At point " + k + " Fx = ");
Fx[k - 1] = kb.nextDouble();
}
if (Uy[k - 1] == 1) {
System.out.print("At point " + k + " Fy = ");
Fy[k - 1] = kb.nextDouble();
}
k++;
if (k > n) break;
}
k = 0;
//เปลี่ยนUx และ Uy ให้เป็น Local degree of freedom
double[] d = new double[n * 2];
for (k = 0; k < n * 2; k++) {
  if (k % 2 == 0) d[k] = Ux[k / 2];
}
for (k = 1; k < n * 2; k += 2) {
  d[k] = Uy[(k - 1) / 2];
}
//หาค่า K
k = 1;
double[] L = new double[m];
double[] c = new double[m];
double[] s = new double[m];
int xy_last = 0;
int xy_first = 0;
while (true) {
xy_last = End_Node_Member[k - 1] - 1;
xy_first = Start_Node_Member[k - 1] - 1;
L[k-1]=Math.sqrt((Cordinate x[xy last]-Cordinate x[xy first])
+(Cordinate_y[xy_last] - Cordinate_y[xy_first])
* (Cordinate_y[xy_last] - Cordinate_y[xy_first]));
c[k - 1] = (Cordinate_x[End_Node_Member[k - 1] - 1]
- Cordinate_x[Start_Node_Member[k - 1] - 1]) / L[k - 1];
s[k - 1] = (Cordinate_y[End_Node_Member[k - 1] - 1]
- Cordinate_y[Start_Node_Member[k - 1] - 1]) / L[k - 1];
k++;
if (k > m) break;
}
```

ภาพที่ 69 Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (2)

```
k = 1;
while (true) {
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-2][Start_Node_Member[k-1]
 *2-2]=c[k-1]*c[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-1][Start_Node_Member[k-1]
 *2-2]=c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-2][Start_Node_Member[k-1]
 *2-2]=-c[k-1]*c[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-1][Start_Node_Member[k-1]
 *2-2]=-c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-2][Start_Node_Member[k-1]
 *2-1]=c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-1][Start_Node_Member[k-1]
 *2-1]=s[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-2][Start_Node_Member[k-1]
 *2-1]=-c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-1][Start_Node_Member[k-1]
 *2-1]=-s[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-2][End_Node_Member[k-1]
 *2-2]=-c[k-1]*c[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-1][End_Node_Member[k-1]
 *2-2]=-c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-2][End_Node_Member[k-1]
 *2-2]=c[k-1]*c[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-1][End_Node_Member[k-1]
 *2-2]=c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-2][End_Node_Member[k-1]
 *2-1]=-c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][Start_Node_Member[k-1]*2-1][End_Node_Member[k-1]
 *2-1]=-s[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-2][End_Node_Member[k-1]
 *2-1]=c[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
Matrix_k[k-1][End_Node_Member[k-1]*2-1][End_Node_Member[k-1]
 *2-1]=s[k-1]*s[k-1]*EA[k-1]/L[k-1];
k++;
if (k > m) break;
}
//รวม Matrix
double[][] Sum_Matrix = new double[n * 2][n * 2];
for (int i = 0; i < n * 2; i++) {
for (int j = 0; j < n * 2; j++) {
for (k = 0; k < m; k++) {
Sum_Matrix[i][j] += Matrix_k[k][i][j];
}
}
}
//คำนวณหา ks
int y = n * 2;
int a = 0;
int b = 0;
for (k = 0; k < n * 2; k++) {
if (d[k] == 0) y--;
}
double[][] KS = new double[y][y];
for (int i = 0; i < n * 2; i++) {
b = 0;
```

ภาพที่ 70 Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (3)

```
159   if (d[i] != 0) {
160   for (int j = 0; j < n * 2; j++) {
161   if (d[j] != 0) {
162   KS[a][b] = Sum_Matrix[i][j];
163   b++;
164   }
165   }
166   a++;
167   }
168   }
169   //เปลี่ยน Fx และ Fy เป็น P
170   double[] P = new double[n * 2];
171   for (k = 0; k < n * 2; k++) {
172   if (k % 2 == 0) P[k] = Fx[k / 2];
173   }
174   for (k = 1; k < n * 2; k += 2) {
175   P[k] = Fy[(k - 1) / 2];
176   }
177   //ตัดPในตำแหน่งที่dเป็น0
178   double[] P_cut = new double[y];
179   a = 0;
180   for (int i = 0; i < n * 2; i++) {
181   if (d[i] != 0) {
182   P_cut[a] = P[i];
183   a++;
184   }
185   }
186   //ตัด d
187   double[] d_cut = new double[y];
188   a = 0;
189   for (int i = 0; i < n * 2; i++) {
190   if (d[i] != 0) {
191   d_cut[a] = d[i];
192   a++;
193   }
194   }
195   //คำนวณ Forward Elimination
196   double h = 0;
197   for (k = 0; k < y - 1; k++) {
198   for (int i = k + 1; i < y; i++) {
199   h = KS[i][k] / KS[k][k];
200   for (int j = k; j < y; j++) {
201   KS[i][j] = KS[i][j] - h * KS[k][j];
202   }
203   P_cut[i] = P_cut[i] - h * P_cut[k];
204   }
205   }
206   //คำนวณ Back Subtitution
207   double SUMp = 0;
208   d_cut[y - 1] = P_cut[y - 1] / KS[y - 1][y - 1];
209   for (int i = y - 2; i >= 0; i--) {
210   SUMp = 0;
211   for (int j = i + 1; j < y; j++) {
212   SUMp = SUMp + KS[i][j] * d_cut[j];
213   }
214   d_cut[i] = (P_cut[i] - SUMp) / KS[i][i];
215   }
```

ภาพที่ 71 Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (4)

```
216 //คืนค่าให้ d
217 a = 0;
218 for (int i = 0; i < n * 2; i++) {
219 if (d[i] == 1) {
220 d[i] = d_cut[a];
221 a++;
222 }
223 }
224 //Sum_Matrix*d
225 for (int i = 0; i < n * 2; i++) {
226 P[i] = 0;
227 for (int j = 0; j < n * 2; j++) {
228 P[i] = P[i] + Sum_Matrix[i][j] * d[j];
229 }
230 }
231 //คำนวณหาแรงภายใน
232 double[] Q = new double[m];
233 for (k = 1; k <= m; k++) {
234 Q[k-1]= (EA[k-1]/L[k-1])*(-c[k-1]*d[Start_Node_Member[k-1]
235  * 2 - 2] - s[k - 1] * d[Start_Node_Member[k - 1]* 2 - 1]
236  + c[k - 1] * d[End_Node_Member[k - 1]* 2 - 2] + s[k - 1]
237  * d[End_Node_Member[k - 1] * 2 - 1]);
238 }
239 //วาดรูปTruss
240 k = 1;
241 double max_x = 0;
242 double max_y = 0;
243 while (true) {
244 if (Cordinate_x[k - 1] > max_x) max_x = Cordinate_x[k - 1];
245 if (Cordinate_y[k - 1] > max_y) max_y = Cordinate_y[k - 1];
246 k++;
247 if (k > n) break;
248 }
249 double width = max_x * 2.0;
250 double height = max_y * 2.0;
251 DWindow w = new DWindow(width, height);
252 w.setForeground(DWindow.BLACK);
253 k = 1;
254 double x1 = 0;
255 double y1 = 0;
256 double x2 = 0;
257 double y2 = 0;
258 while (true) {
259 x1 = width / 4 + Cordinate_x[Start_Node_Member[k - 1] - 1];
260 y1 = 3*height/4-Cordinate_y[Start_Node_Member[k - 1] - 1];
261 x2 = width / 4 + Cordinate_x[End_Node_Member[k - 1] - 1];
262 y2 = 3*height/ 4 - Cordinate_y[End_Node_Member[k - 1] - 1];
263 w.drawLine(x1, y1, x2, y2);
264 k++;
265 if (k > m) break;
266 }
267 //แสดงค่าแรงภายใน
268 w.setForeground(DWindow.RED);
269 for (int i = 0; i < m; i++) {
270 w.drawString("["+(i+1)+"]="+(int)(Q[i]*1000)/1000.0,max_y/20,
271  width / 4 + (Cordinate x[Start Node Member[i] - 1]
```

ภาพที่ 72 Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (5)

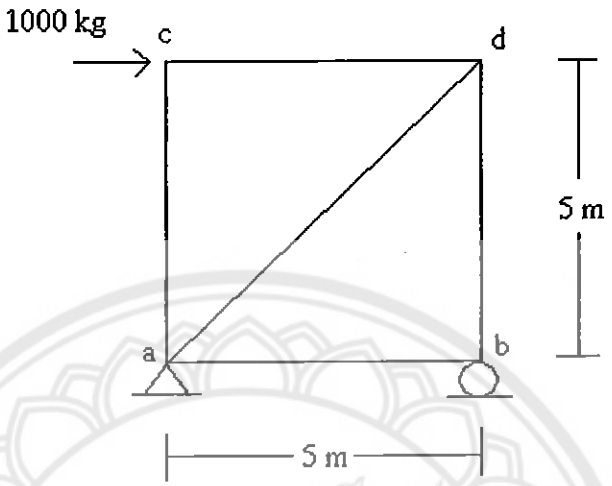
```
 +Cordinate_x[End_Node_Member[i]-1])/2,
 3 * height / 4 - (Cordinate_y[Start_Node_Member[i] - 1]
 +Cordinate_y[End_Node_Member[i]-1])/2);
}
//วาดแรงreaction
w.setForeground(DWindow.PINK);
for (int i = 1; i <= n; i++) {
if (Ux[i - 1] == 0) {
w.setForeground(DWindow.GREEN);
w.drawString((int)(P[i*2-2]*1000)/1000.0+"",max_y / 18,
 width/8+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i - 1]);
//วาดลูกศร
w.setForeground(DWindow.PINK);
w.drawLine(width/8+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1]);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 7*width/32+Cordinate_x[i-1],23*height/32-Cordinate_y[i-1]);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 7*width/32+Cordinate_x[i-1],25*height/32-Cordinate_y[i-1]);
}
if (Uy[i - 1] == 0) {
w.setForeground(DWindow.GREEN);
w.drawString((int)(P[i * 2 - 1]*1000)/1000.0 + "", max_y/18,
 width / 4 + Cordinate_x[i - 1],7*height/8-Cordinate_y[i-1]);
//วาดลูกศร
w.setForeground(DWindow.PINK);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 width/4+Cordinate_x[i-1],7*height/8-Cordinate_y[i-1]);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 7*width/32+Cordinate_x[i-1],25*height/32-Cordinate_y[i-1]);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 9*width/32+Cordinate_x[i-1],25*height/32-Cordinate_y[i-1]);
}
}
//วาดแรงภายนอก
for (int i = 1; i <= n; i++) {
if (Fx[i - 1] != 0) {
w.setForeground(DWindow.VIOLET);
w.drawString((int)(Fx[i - 1] * 1000) / 1000.0 + "", max_y/18,
 width/8+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1]);
//วาดลูกศร
w.setForeground(DWindow.ORANGE);
w.drawLine(width/8+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1]);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 7*width/32+Cordinate_x[i-1],23*height/32-Cordinate_y[i-1]);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
 7*width/32+Cordinate_x[i-1],25*height/32-Cordinate_y[i-1]);
}
if (Fy[i - 1] != 0) {
w.setForeground(DWindow.VIOLET);
w.drawString((int)(Fy[i - 1] * 1000) / 1000.0 + "", max_y/18,
 width/4+Cordinate_x[i-1],7*height/8-Cordinate_y[i-1]);
//วาดลูกศร
w.setForeground(DWindow.ORANGE);
w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i-1],3*height/4-Cordinate_y[i-1],
```

ภาพที่ 73 Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (6)

```
328 width/4+Cordinate_x[i - 1],7*height/8-Cordinate_y[i - 1]);
329 w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i - 1],3*height/4-Cordinate_y[i - 1],
330 7*width/32+Cordinate_x[i - 1],25*height/32-Cordinate_y[i - 1]);
331 w.drawLine(width/4+Cordinate_x[i - 1],3*height/4-Cordinate_y[i - 1],
332 9*width/32+Cordinate x[i - 1],25*height/32-Cordinate y[i - 1]);
333 }
334 }
335 //วาดการแอ่นตัว
336 w.setForeground(DWindow.RED);
337 k = 1;
338 x1 = 0;
339 y1 = 0;
340 x2 = 0;
341 y2 = 0;
342 while (true) {
343 x1 = width / 4 + Cordinate_x[Start_Node_Member[k - 1] - 1]
344 + d[Start_Node_Member[k - 1] * 2 - 2];
345 y1 = 3 * height / 4 - Cordinate_y[Start_Node_Member[k - 1] - 1]
346 - d[Start_Node_Member[k - 1] * 2 - 1];
347 x2 = width / 4 + Cordinate_x[End_Node_Member[k - 1] - 1]
348 + d[End_Node_Member[k - 1] * 2 - 2];
349 y2 = 3 * height / 4 - Cordinate_y[End_Node_Member[k - 1] - 1]
350 - d[End_Node_Member[k - 1] * 2 - 1];
351 w.drawLine(x1, y1, x2, y2);
352 k++;
353 if (k > m) break;
354 }
355 //Nodal Data
356 for (int i = 0; i < n; i++) {
357 System.out.println("Coordinate (X,Y) of Node " + (i + 1) +
358 " X =" + Cordinate_x[i] + " Y =" + Cordinate_y[i]); }
359 System.out.println();
360 for (int i = 0; i < n; i++) {
361 System.out.println("Defection of Node " +(i + 1)+ "on axis x ="
362 + d[2 * i] + " on axis y =" + d[2 * i + 1]); }
363 System.out.println();
364 for (int i = 0; i < n; i++) {
365 System.out.println("Action force at Node " + (i + 1) + "on axis x ="
366 + P[2 * i] + " on axis y =" + P[2 * i + 1]); }
367 //Member Data
368 System.out.println();
369 for (int i = 0; i < m; i++) {
370 System.out.println("Start Node Member at" + (i + 1) +
371 " = " + Start_Node_Member[i]);
372 System.out.println("End Node Member at" + (i + 1) +
373 " = " + End_Node_Member[i]); }
374 System.out.println();
375 for (int i = 0; i < m; i++) {
376 System.out.println("Member force at Member" + (i + 1) + " = " + Q[i]);
377 }
378 w.setForeground(DWindow.BLUE);
379 w.drawString("Note:Picture may have error the overlap of arrow and text"
380 , max_y / 25, 0, 0);
381 w.drawString("Unit weight is kg. , Unit length is cm."
382 , max_y / 25, 0, max_y / 24);
383 }
384 }
```

ภาพที่ 74 Source Code โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java (7)

Example 4: Determine the reaction and the force in each member of the truss shows in Fig. 75.



ภาพที่ 75 Example 4 Direct Stiffness method

Solution by JLab

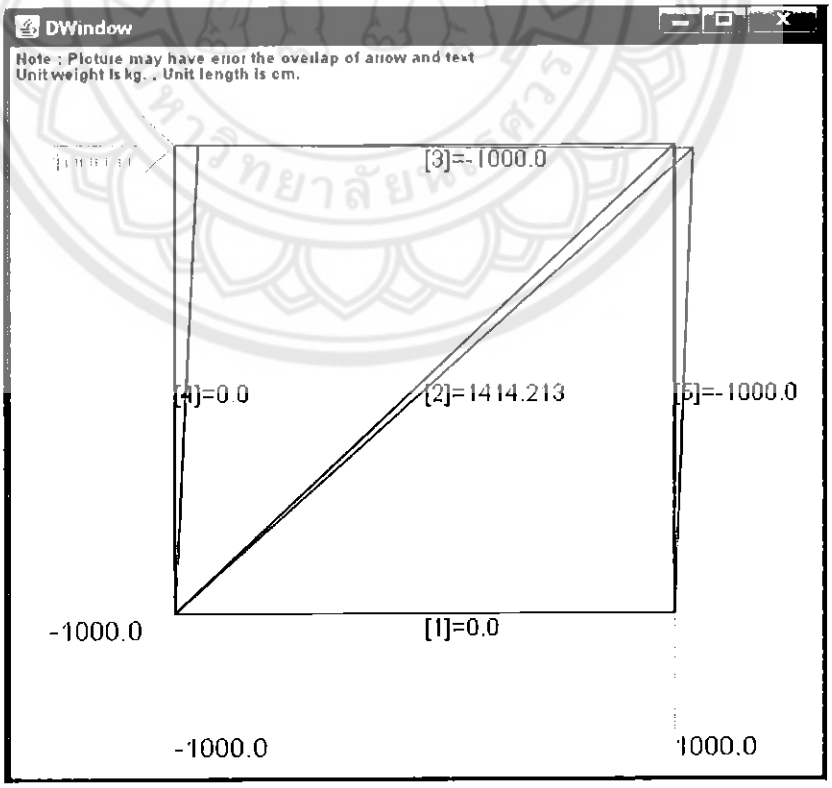
Open JLab → file → open → Matrix_Stiffness_Method → Run Program → F5 → Input (ดังภาพที่ 76 ถึง 77) และ จะได้ Output (ดังภาพที่ 78)

```
Enter number of Node = 4
Enter number of member = 5
Enter Coordinate on axis X at Node 1 is (cm.) 0
Enter Coordinate on axis Y at Node 1 is (cm.) 0
Enter Coordinate on axis X at Node 2 is (cm.) 500
Enter Coordinate on axis Y at Node 2 is (cm.) 0
Enter Coordinate on axis X at Node 3 is (cm.) 0
Enter Coordinate on axis Y at Node 3 is (cm.) 500
Enter Coordinate on axis X at Node 4 is (cm.) 500
Enter Coordinate on axis Y at Node 4 is (cm.) 500
Enter Start Node of Member at point1 is 1
Enter End Node of Member at point 1 is 2
Enter EA of Member 1 is 100000
Enter Start Node of Member at point2 is 1
Enter End Node of Member at point 2 is 4
Enter EA of Member 2 is 100000
Enter Start Node of Member at point3 is 3
Enter End Node of Member at point 3 is 4
Enter EA of Member 3 is 100000
```

ภาพที่ 76 Example 4 Direct Stiffness method Solution by JLab (1)

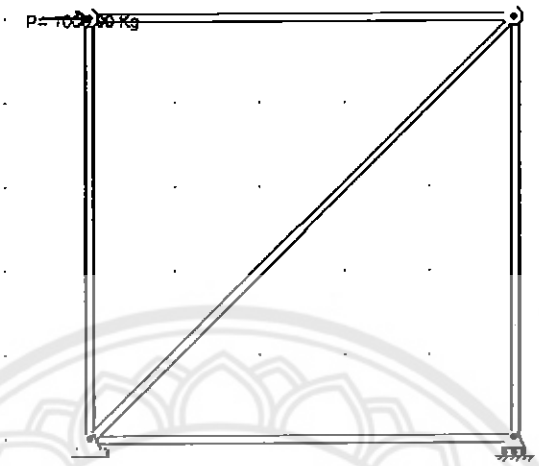
```
Enter Start Node of Member at point4 is 1
Enter End Node of Member at point 4 is 3
Enter EA of Member 4 is 100000
Enter Start Node of Member at point5 is 2
Enter End Node of Member at point 5 is 4
Enter EA of Member 5 is 100000
At point 1 Have a reaction force of support on axis X or not ?
At point 1 Have a reaction force of support on axis Y or not ?
At point 2 Have a reaction force of support on axis X or not ?
At point 2 Have a reaction force of support on axis Y or not ?
At point 3 Have a reaction force of support on axis X or not ?
At point 3 Have a reaction force of support on axis Y or not ?
At point 4 Have a reaction force of support on axis X or not ?
At point 4 Have a reaction force of support on axis Y or not ?
(If have, type 1 than press ENTER. If don't have, type 0 than press ENTER)1
(If have, type 1 than press ENTER. If don't have, type 0 than press ENTER)1
(If have, type 1 than press ENTER. If don't have, type 0 than press ENTER)0
(If have, type 1 than press ENTER. If don't have, type 0 than press ENTER)1
(If have, type 1 than press ENTER. If don't have, type 0 than press ENTER)0
(If have, type 1 than press ENTER. If don't have, type 0 than press ENTER)0
(If have, type 1 than press ENTER. If don't have, type 0 than press ENTER)0
At point 2 Fx (kg.) = 0
At point 3 Fx (kg.) = 1000
At point 3 Fy (kg.) = 0
At point 4 Fx (kg.) = 0
At point 4 Fy (kg.) = 0
```

ภาพที่ 77 Example 4 Direct Stiffness method Solution by JLab (2)

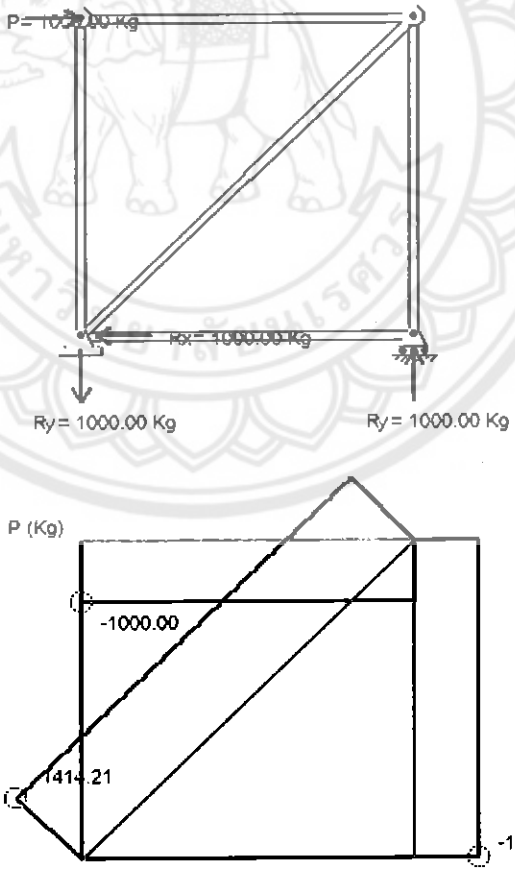


ภาพที่ 78 Example 4 Direct Stiffness method Solution by JLab (3)

Solution by SUTStructor



ภาพที่ 79 Example 4 Solution by SUTStructor (1)



ภาพที่ 80 Example 4 Solution by SUTStructor (2)

Member	Fx.i	Fy.i	Mz.i	Fx.j	Fy.j	Mz.j
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1000.00	0.00	0.00	-1000.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	-1000.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	-1414.21	0.00	0.00	1414.21	0.00	0.00

ภาพที่ 81 Example 4 Solution by SUTStructor (3)

ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาที่จุดรับแรงของตัวอย่างที่ 4

No. Node	Reaction Force			
	Solve by JLab		Solve by SUTstructor	
	R_x	R_y	R_x	R_y
1	-1000.00	-1000.00	-1000.00	-1000.00
2	-	1000.00	-	1000.00

ตาราง 10 แสดงการเปรียบเทียบแรงภายในของตัวอย่างที่ 4

No. Member	Member Force	
	Solve by JLab	Solve by SUTstructor
1	0	0
2	1414.213	-1414.21
3	-1000.00	-1000.00
4	0	0
5	-1000.00	-1414.21

จากตาราง 9 และ 10 พบว่า การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทั้งสองให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก คือ แตกต่างกันที่จุดทศนิยมหลักที่สามหรือความละเอียดในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาถูกต้องและสามารถนำมาใช้งานจริงได้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์โครงสร้างจากซอฟต์แวร์ JLab ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ Direct Stiffness และ Method of Joint เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่แสดงออกมาจากโปรแกรม SUTStructor พบว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาสามารถแสดงผลการคำนวณและวิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับผลจากโปรแกรม SUTStructor ทำให้ เมื่อนักศึกษาต้องการการดึงโจทย์ตัวอย่างออกมาทำแบบฝึกหัดก็ทำได้สะดวก จากหลักการออกแบบนี้ยังช่วยให้นักศึกษาสามารถที่จะเปิดโจทย์ตัวอย่างจากโปรแกรมขึ้นมาเป็นตัวอย่างและดัดแปลงโจทย์ตัวอย่างเมื่อทำการวิเคราะห์บนโปรแกรมก็จะทำให้เห็นความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเรียนรู้จากการเปรียบเทียบได้นอกจากนี้แล้วโปรแกรมได้รับการออกแบบให้สามารถเรียนรู้การใช้งานได้รวดเร็วและมีเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการป้อนโครงสร้างทำให้วิศวกรที่นำโปรแกรมไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างขนาดเล็ก สามารถลดเวลาในการทำงานวิเคราะห์โครงข้อหมุนได้

5.2 ข้อจำกัด

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณได้ตรงตามวัตถุประสงค์ แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างดังนี้

1. โปรแกรมไม่มีรูปโครงข้อหมุนแสดงให้ดูก่อนการคำนวณ ผู้ใช้งานต้องใช้จินตนาการรูปก่อนการคำนวณเอง
2. ขนาดหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม Dwindow มีขนาดจำกัด
3. การเปิดใช้โปรแกรมจำเป็นต้องใช้งานร่วมกับซอฟแวร์ JLab ดังนั้นก่อนการใช้งานต้องดาวน์โหลดซอฟแวร์ JLab ลงคอมพิวเตอร์ที่จะใช้งานก่อน

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ

ในการพัฒนาโปรแกรมถือว่าเป็นไปตามจุดประสงค์แต่ก็มีหลายส่วนที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นไปอีกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นนอกเหนือจากการเรียนการสอน

1. พัฒนาโปรแกรมให้อยู่บนเว็บไซต์ เพื่อเผยแพร่โปรแกรมให้เป็นที่รู้จักอย่างทั่วถึง
2. พัฒนาโปรแกรมให้มีรูปสวยงามและคมชัดมากขึ้น
3. พัฒนาโปรแกรมให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้ง่าย

4. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถคำนวณและวิเคราะห์โครงสร้างได้หลากหลายและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

เฉลิมศักดิ์ นามเชียงใต้. **โครงสร้าง 1-2**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ กราฟิคอาร์ต.

เทิดศักดิ์ สายสุทธิ์ และอวยชัย สุภาพจน์. **กลศาสตร์งานโครงสร้าง**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.

สมชาย ประสิทธิ์จุตระกูล. **เริ่มเรียนเขียนโปรแกรม: ฉบับวาจาจาวา**.พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬา.2553

สิทธิชัย แสงอาทิตย์. **ทฤษฎีโครงสร้าง**. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Kassimali . Matrix Analysis of Structures. 1999

Hibbeler . Structural Analysis. 1995

Suranaree University of Technology. **คู่มือการใช้งาน** SUTStructor. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

www.elearning.msu.ac.th/opencourse/1201104/documents/Ch03.doc. **แนะนำการเขียนโปรแกรมภาษาจาวา**. วันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555.

www.jhelp.net/article.aspx?id=10066. **คลังความรู้จาวาภาษาไทย**. วันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555.

www.thaiall.com/java/indexo.html. **จาวาสคิปต์**. วันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555.

ภาคผนวก

คู่มือการใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java

เข้าโปรแกรมวิเคราะห์โครงข้อหมุนด้วยภาษา Java ในซอฟแวร์ JLab กด Run เพื่อเริ่มคำนวณ

ขั้นตอนที่ 1 ใส่จำนวนโหนด (Node) และเมมเบอร์ (Member)

```
6   //ถามหาจำนวนโหนดและเมมเบอร์
7   Scanner kb = new Scanner(System.in);
8   System.out.print("Enter number of Node = ");
9   int n = kb.nextInt();
10  System.out.print("Enter number of member = ");
11  int m = kb.nextInt();
```

ขั้นตอนที่ 2 ใส่พิกัด เป็นระยะทางขององค์อาคาร

```
12  //ถามหาระยะทางตามแนวแกน
13  double[] Coordinate_x = new double[n];
14  double[] Coordinate_y = new double[n];
15  int k = 1;
16  while (true) {
17  System.out.print("Enter Coordinate on axis X at Node"+k+"is");
18  Cordinate_x[k - 1] = kb.nextDouble();
19  System.out.print("Enter Coordinate on axis Y at Node"+k+"is");
20  Cordinate_y[k - 1] = kb.nextDouble();
21  k++;
22  if (k > n) break;
23  }
```

ขั้นตอนที่ 3 ใส่ Node เริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละ Member

```
24  //ถามหาโหนดเริ่มต้นและโหนดสิ้นสุด
25  int[] Start_Node_Member = new int[m];
26  int[] End_Node_Member = new int[m];
27  double[] EA = new double[m];
28  k = 1;
29  while (true) {
30  System.out.print("Enter Start Node of Member at point"+k+"is");
31  Start_Node_Member[k - 1] = kb.nextInt();
32  System.out.print("Enter End Node of Member at point"+k+"is");
33  End_Node_Member[k - 1] = kb.nextInt();
34  System.out.print("Enter EA of Member " + k + " is ");
35  EA[k - 1] = kb.nextDouble();
36  k++;
37  if (k > m) break;
38  }
```

ขั้นตอนที่ 4 ใส่จุดที่มีแรงปฏิกิริยารองรับแกน x และ y ในแต่ Node

```
//ถามหาจุดที่เป็นsupport
k = 1;
double[] Ux = new double[n];
double[] Uy = new double[n];
int z = 1;
while (true) {
System.out.print("At point " + k +
" Have a reaction force of support on axis X or not ?(If have,
type 1 than press ENTER.If don't have,type 0 than press ENTER)");
z = kb.nextInt();
if (z == 1) Ux[k - 1] = 0; else Ux[k - 1] = 1;
System.out.print("At point " + k +
" Have a reaction force of support on axis Y or not ?(If have,
type 1 than press ENTER. If don't have,type 0 than press ENTER)");
z = kb.nextInt();
if (z == 1) Uy[k - 1] = 0; else Uy[k - 1] = 1;
k++;
if (k > n) break;
}
```

ขั้นตอนที่ 5 ใส่แรงกิริยาในแนวแกน x และ y ของแต่ละ Node

```
//ถามหาแรงตามแนวแกน x และ y
double[] Fx = new double[n];
double[] Fy = new double[n];
k = 1;
while (true) {
if (Ux[k - 1] == 1) {
System.out.print("At point " + k + " Fx = ");
Fx[k - 1] = kb.nextDouble();
}
if (Uy[k - 1] == 1) {
System.out.print("At point " + k + " Fy = ");
Fy[k - 1] = kb.nextDouble();
}
k++;
if (k > n) break;
}
k = 0;
```

จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณวิเคราะห์โครงข้อหมุนและแสดงผลลัพธ์ตามที่ได้ใส่ข้อมูลองค์อาคารลงไป ออกมาเป็นรูปในวินโดว์ใหม่ และบอกค่าแรงภายในของแต่ละเมมเบอร์ในองค์อาคาร ที่ด้านล่างของโปรแกรม พร้อมนำไปใช้งานได้เลย