บทที่ 3
การพัฒนาโปรแกรมและผังขั้นตอนการทำงาน

3.1 รายละเอียดทั่วไป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีชื่อว่า **NGFA** (Nonlinear Geometric Frame Analysis) เป็นโปรแกรมสำหรับใช้วิเคราะห์โครงข้อแข็งทั้งแบบสองมิติและสามมิติที่มีพฤติกรรมของความไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิคในการเขียนและพัฒนา ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม **NGFA** สามารถจำแนกออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. ขั้นตอนการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลนำเข้า (Input Files) เป็นขั้นตอนที่ผู้ใช้โปรแกรมสามารถจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลนำเข้า ซึ่งเป็นไฟล์สำหรับเก็บข้อมูลพื้นฐานของโครงสร้าง ได้แก่ ค่าพิกัดโหนด (Node coordinates) การต่อเชื่อม (Connectivity) คุณสมบัติของวัสดุ เงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) รวมถึงแรงกระทำต่อโครงสร้าง

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้าง เป็นขั้นตอนการนำไฟล์ข้อมูลนำเข้าที่จัดเตรียมไว้มาทำการวิเคราะห์ โดยสามารถเลือกวิธีการวิเคราะห์ได้ 2 แบบ คือ วิธีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและวิธีการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต รายละเอียดของกระบวนการแก้ปัญหาของการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.3

3. ขั้นตอนการนำเสนอข้อมูลและผลการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนการแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้แก่ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของโหนดในโครงสร้าง (Node Displacements) ข้อมูลแรงภายในชิ้นส่วนย่อย (Member End Forces) และข้อมูลแรงต้านทานที่จุดรองรับ (Support Reactions) ข้อมูลดังกล่าวสามารถเก็บบันทึกเป็นไฟล์ข้อมูลส่งออก (Output Files) หรือพิมพ์ข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแฟคเตอร์แรง (Load Factor) กับค่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของโหนด

3.3 กระบวนการแก้ปัญหาของการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต

กระบวนการแก้ปัญหาของการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิตขั้นแรกนั้นจะต้องแบ่งเวคเตอร์แรงที่กระทำต่อโครงสร้างให้เป็นเวคเตอร์แรงย่อยขนาดเล็ก จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้ผลรวมของเวคเตอร์แรงย่อยในแต่ละระดับขั้นที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ขั้นแรกไปจนถึงขั้นสุดท้ายที่ผลรวมเวคเตอร์แรงกระทำทั้งหมด (Total Applied Loads) เท่ากับเวคเตอร์แรงกระทำที่ต้องการใช้งานจริง ความสัมพันธ์ของเวคเตอร์แรงกระทำทั้งหมด $\mathbf{P}_j^i$ ที่ระดับขั้นการทำซ้ำ j และระดับขั้นที่เพิ่มขึ้น i กับเวคเตอร์แรงอ้างอิง (Reference Load Vector) $\overline{\mathbf{P}}$ เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$\mathbf{P}_j^i = \Lambda_j^i \overline{\mathbf{P}} \tag{3.1}$$

เมื่อ Λ_j^i คือค่าแฟคเตอร์แรงซึ่งมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบการเพิ่มของแรง (Load Increment Factor) λ_j^i ดังนี้

$$\Lambda_j^i = \Lambda_{j-1}^i + \lambda_j^i \tag{3.2}$$

โดยมีเงื่อนไขเบื้องต้นคือ $\Lambda_0^i = \Lambda_L^{i-1}$ เมื่อสัญลักษณ์ตัวห้อย "L" หมายถึง ระดับขั้นการทำซ้ำสุดท้าย (Last Iteration Step)

ในแต่ละขั้นของการวิเคราะห์จะต้องทำการปรับปรุงเมตริกซ์สตีฟเนสของชิ้นส่วนย่อย $\mathbf{k}'$ โดยใช้สมการ (2.18) จากนั้นทำการรวมเมตริกซ์สตีฟเนส (Assembly of Matrix Stiffness) ในแต่ละชิ้นส่วนย่อย จะได้เมตริกซ์สตีฟเนสของโครงสร้าง $\mathbf{K}$

ต่อไปนี้เป็นขั้นตอนโดยสรุปของกระบวนการแก้ปัญหาของการวิเคราะห์แบบไม่เป็นเชิงเส้นทางเรขาคณิต

1. เริ่มต้นจากการเลือกเวคเตอร์แรงกระทำอ้างอิง $\overline{\mathbf{P}}$ และค่าพารามิเตอร์การเพิ่มของแรงเริ่มต้น λ_1^1 จากนั้นกำหนดเงื่อนไขเบื้องต้น ได้แก่ $\mathbf{P}_0^1 = \{0\}$, $\mathbf{U}_0^1 = \{0\}$ และ $\Lambda_0^1 = 0$

2. กำหนดแกนอ้างอิง ${}^0\xi, {}^0\eta, {}^0\zeta$ สำหรับทุกๆโหนดของโครงสร้างให้ขนานกับแกนพิกัดโครงสร้าง x y z สำหรับชิ้นส่วนย่อยแต่ละชิ้น คำนวณหาแกนหน้าตัด ${}^0\alpha'$, ${}^0\beta'$, ${}^0\gamma'$ ของโหนดต้นและโหนดปลาย และแกนชิ้นส่วนย่อย ${}^0\bar{x}'$, ${}^0\bar{y}'$, ${}^0\bar{z}'$ ในสภาวะ C_0 จากนั้นคำนวณเมตริกซ์แปลงค่า ${}^0\mathbf{L}$ สำหรับแต่ละโหนดโดยใช้สมการ (2.65)

3. สำหรับระดับขั้นของการทำซ้ำ (Iteration Step) ขั้นแรก คือ $j = 1$ ในแต่ละระดับขั้นที่เพิ่มขึ้น (Incremental Step) i ใดๆ ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

ก. คำนวณหาเมตริกซ์สตีฟเนสของโครงสร้าง $\mathbf{K}_0^i$ โดยทำการรวมเฉพาะเมตริกซ์สตีฟเนสยืดหยุ่น $\mathbf{k}_e'$ ในแต่ละชิ้นส่วนย่อย

ข. แก้สมการเมตริกซ์เพื่อหาค่า $\Delta\bar{\mathbf{U}}_1^i$ โดยในกรณีที่ i =1 ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ทั่วไปของสตีฟเนส (General Stiffness Parameter) GSP = 1 และกรณีที่ $i \geq 2$ ให้ใช้สมการ (2.123) คำนวณหา GSP

ค. กรณีที่ $i \geq 2$ ใช้สมการ (2.122) เพื่อคำนวณหา λ_1^i โดยสมมุติให้ λ_1^i มีเครื่องหมายเดียวกับ λ_1^{i-1}

ง. ตรวจสอบถ้าค่า GSP เป็นลบ ให้คูณค่า λ_1^i ที่ได้ในข้อ ค. ด้วย –1 เพื่อกลับทิศของแรงกระทำ

จ. คำนวณหาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เพิ่มขึ้น $\Delta\mathbf{U}_1^i$ โดยใช้สมการ (2.121) โดยกำหนดให้ $\Delta\tilde{\mathbf{U}}_1^i = 0$

4. สำหรับระดับขั้นการทำซ้ำ ($j \geq 2$)

ก. ปรับปรุงเมตริกซ์สตีฟเนสของโครงสร้าง $\mathbf{K}_{j-1}^i$ โดยบวก $\mathbf{k}_e'$ ด้วยเมตริกซ์สตีฟเนสแบบเรขาคณิต $\mathbf{k}_g'$ แล้วจึงทำการรวมเมตริกซ์สตีฟเนส ในแต่ละชิ้นส่วนย่อย

ข. แก้สมการ (2.119) และ (2.120) เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง $\Delta\bar{\mathbf{U}}_j^i$ และ $\Delta\tilde{\mathbf{U}}_j^i$ ตามลำดับ

ค. ใช้สมการ (2.122) คำนวณหา λ_j^i

ง. คำนวณหา $\Delta\mathbf{U}_j^i$ โดยใช้สมการ (2.121)

5. คำนวณค่าแรงกระทำทั้งหมด $\mathbf{P}_j^i$ ค่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทั้งหมด $\mathbf{U}_j^i$ และค่าแฟคเตอร์แรง Λ_j^i โดยใช้สมการ (3.1) (2.116) และ (3.2) ตามลำดับ

6. ปรับปรุงค่าพิกัดโหนดของโครงสร้าง โดยใช้สมการ (2.63)

7. ในแต่ละชิ้นส่วนย่อยของโครงสร้าง

ก. หาค่าเวคเตอร์การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในชิ้นส่วนย่อย $\Delta\mathbf{u}_j^i$ แล้วทำการปรับปรุงแกนอ้างอิงที่โหนดโดยใช้สมการ (2.62) ปรับปรุงแกนหน้าตัดโดยสมการ (2.67) และปรับปรุงแกนชิ้นส่วนย่อยโดยสมการ (2.68) (2.76) และ (2.77)

ข. คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงรูปทรงโดยธรรมชาติ (Natural Deformations) $\mathbf{u}_n'$ โดยใช้ขั้นตอนดังแสดงในหัวข้อที่ 2.6.2 จากนั้นคำนวณหาค่า $\mathbf{f}_n'$ จากสมการ (2.56)

ค. คำนวณหาแรงภายในชิ้นส่วนย่อย ${}^2\mathbf{f}$ จากสมการ (2.55) กำหนดให้ค่า ${}^1\mathbf{f} = \{0\}$ ในกรณีที่ i =1 และ j =1

8. ในแต่ละโหนดของโครงสร้าง

ก. รวมแรงภายในที่จุดเชื่อมต่อของโหนดในแต่ละชิ้นส่วนย่อยเป็นเวคเตอร์แรงภายในของโครงสร้าง $\mathbf{F}_j^i$

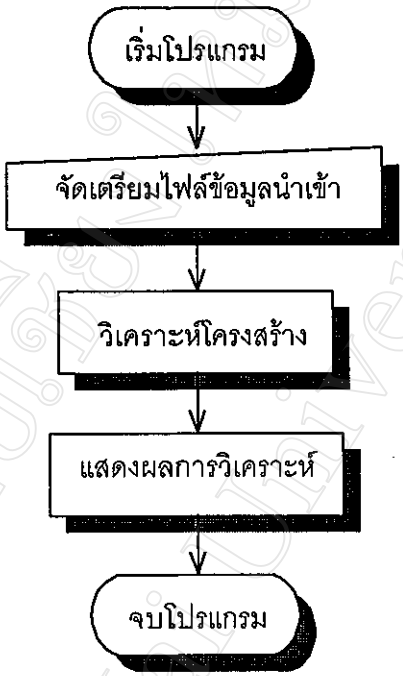
ข. หาค่าแรงที่ไม่สมดุลย์ $\mathbf{R}_j^i$ จากสมการ (2.117)

9. ตรวจสอบค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกทุกตัวในเวคเตอร์ $\mathbf{R}_j^i$ และ $\Delta\mathbf{U}_j^i$ หากเกินค่าที่อนุญาติ คือ 0.0001 ให้เพิ่มระดับขั้นของการทำซ้ำ นั่นคือ j = j + 1 แล้วย้อนกลับไปทำข้อที่ 4. แต่ถ้าไม่เกินให้ข้ามไปข้อที่ 10.

10. ถ้าค่าแฟคเตอร์แรง Λ_j^i ยังมีค่าน้อยกว่าค่าที่ผู้ใช้กำหนด ให้เพิ่มระดับขั้นของแรงที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ i = i + 1 แล้วย้อนกลับไปทำข้อที่ 3. แต่ถ้าค่า Λ_j^i มากกว่าหรือเท่ากับค่าที่ผู้ใช้กำหนด ถือว่าสิ้นสุดกระบวนการวิเคราะห์

3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

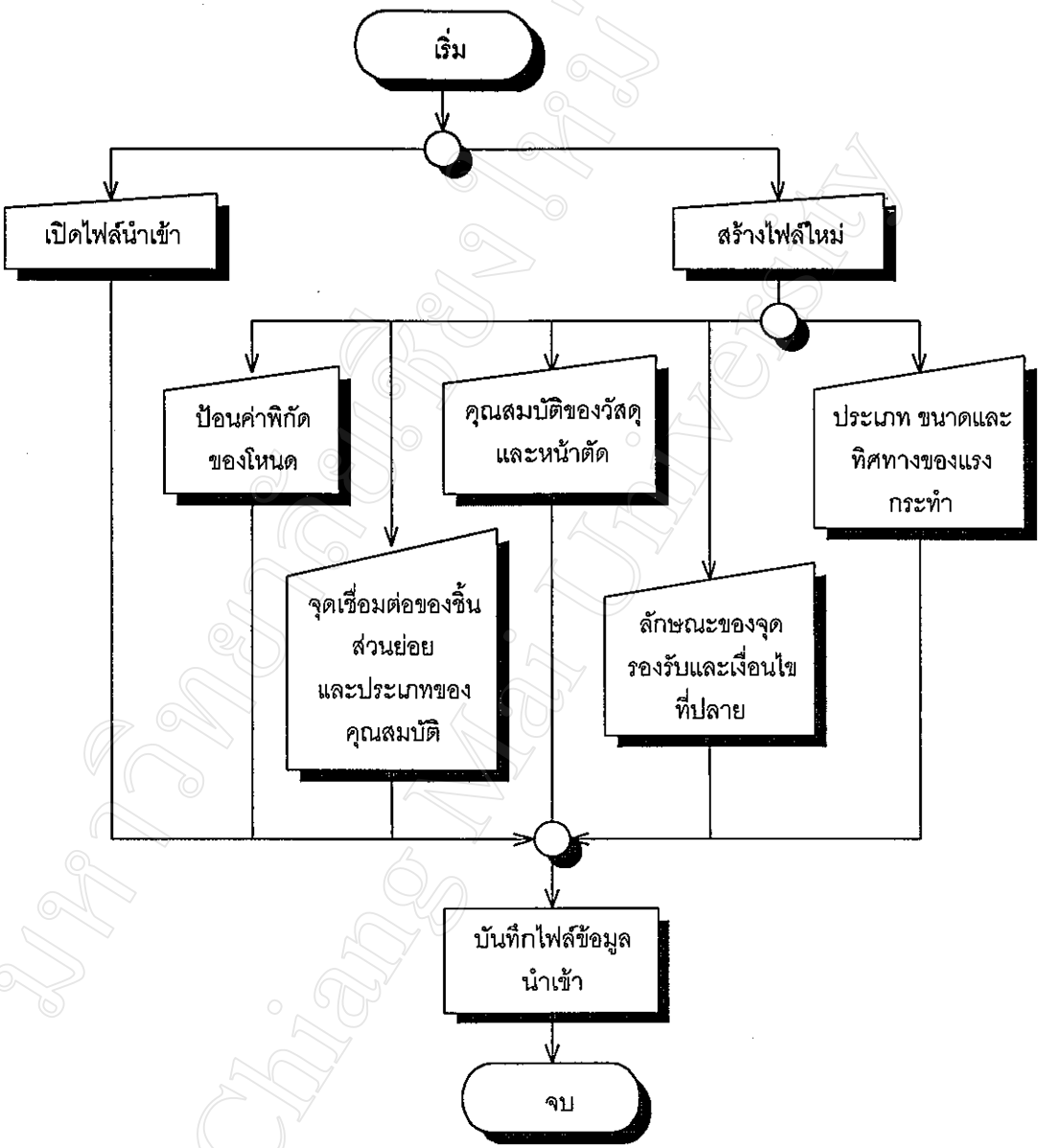
3.4.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

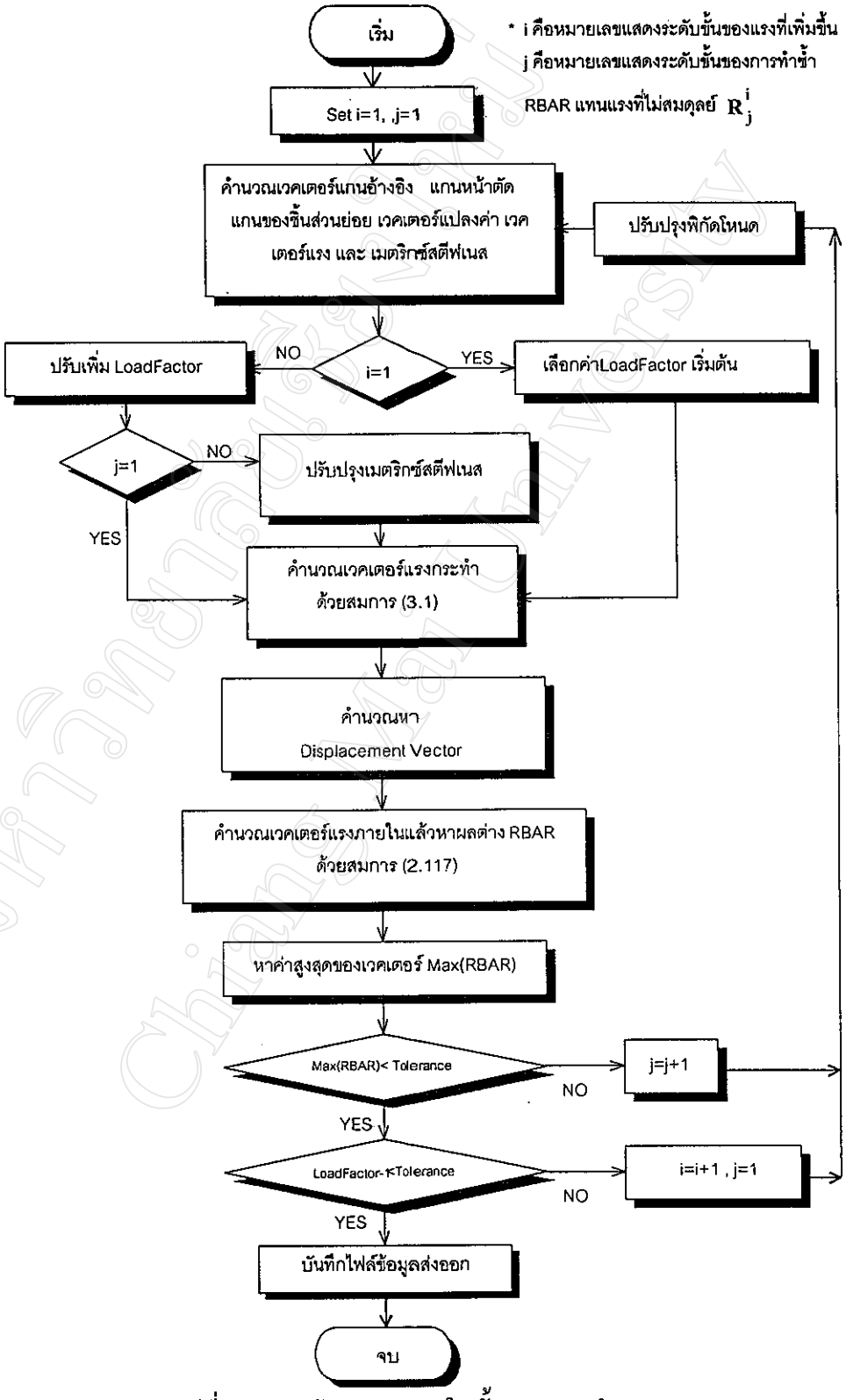
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

3.4.2 แผนผังการทำงานในขั้นตอนการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลนำเข้า



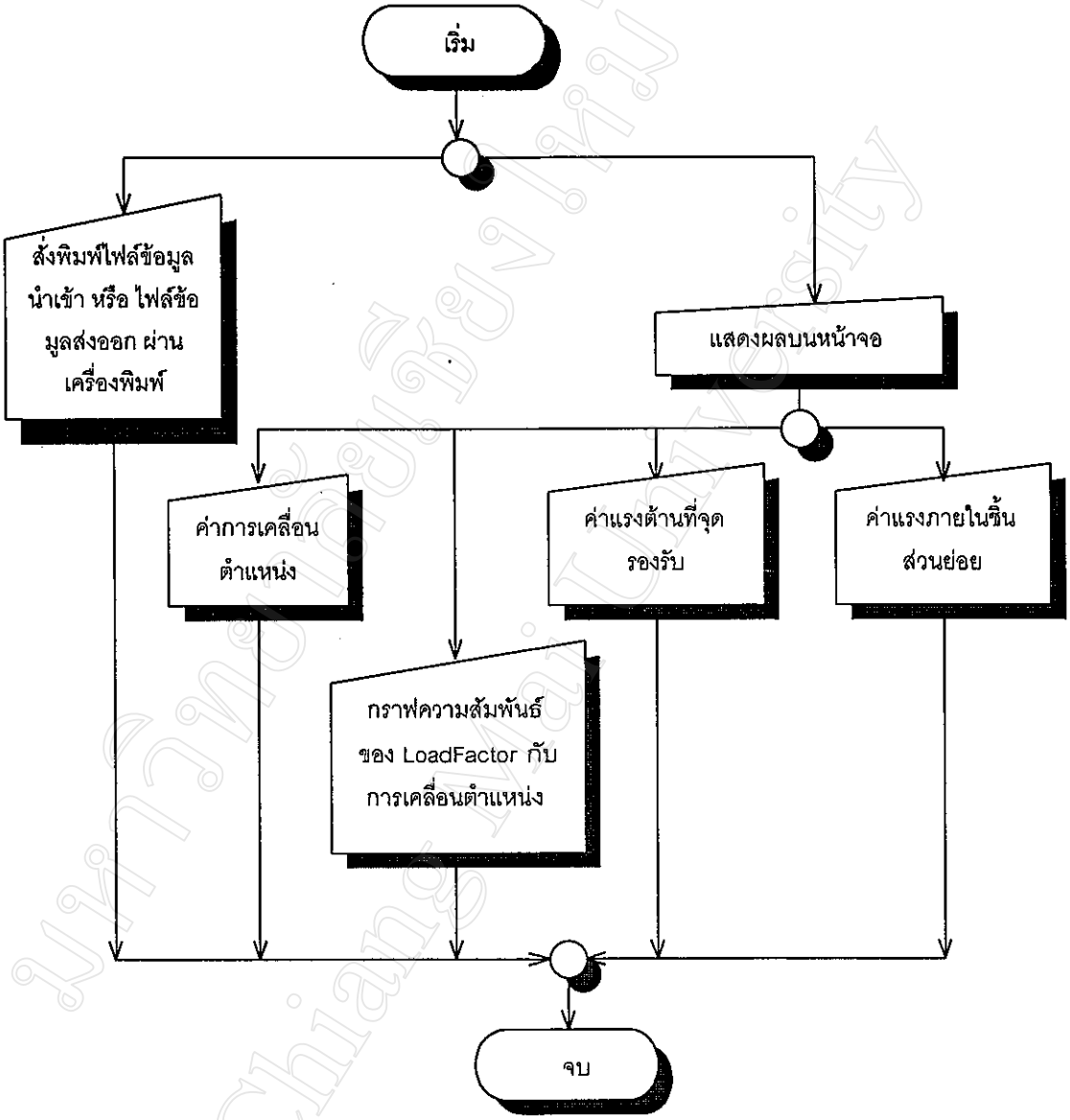
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานในขั้นตอนการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลนำเข้า

3.4.3 แผนผังการทำงานในขั้นตอนการคำนวณ



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานในขั้นตอนการคำนวณ

3.4.4 แผนผังการทำงานในขั้นตอนการแสดงผล



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานในขั้นตอนการแสดงผล

3.5 รูปแบบสำหรับไฟล์ข้อมูลนำเข้า (Format of Input Files)

โปรแกรม GNFA ใช้ไฟล์นามสกุล (INP) สำหรับเก็บข้อมูลนำเข้า (Input Data) ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานของโครงสร้าง มีรูปแบบดังนี้

```
1  DATA INPUT FOR NONLINEAR FRAME ANAYSIS PROGRAM
2  TITLE AND UNIT
   ex_1  lb  in
3  PROJECT NAME AND INITIAL DATA ;(NN,NE,NM,NDIM)
   VONGTEP  11    10    1    2
4  JOINT COORDINATES
   1  0  0                                          ; 2  0  1
   3  0  2                                          ; 4  0  3
   5  0  4                                          ; 6  0  5
   7  0  6                                          ; 8  0  7
   9  0  8                                          ; 10  0  9
   11  0  10
5  MEMBER INCIDENCES AND PROPERTY TYPE
   1  1  2  1
   2  2  3  1
   3  3  4  1
   4  4  5  1
   5  5  6  1
   6  6  7  1
   7  7  8  1
   8  8  9  1
   9  9  10  1
   10  10  11  1
6  PROPERTY DETAILS ; (E, A, I)
   1  10000  .183  .0001
7  SUPPORTS
   1  Fixed
   2  Pinned
   4  FixedBut FX MZ
8  MEMBERS RELEASE
   2  End MZ
9  LOAD
10 JOINT LOAD
   11  FY  -10
   11  MZ  -1
11 MEMBER LOAD
   5  UNI  Y  -10
   1  CON  Y  .2  100
12 END OF DATA
```

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้า

ส่วนที่แรเงาเป็นชื่อหัวข้อของข้อมูลแต่ละประเภท ชื่อหัวข้อเหล่านี้มีความสำคัญเนื่องจากในการอ่านข้อมูลจากไฟล์ โปรแกรมจะใช้ชื่อหัวข้อเหล่านี้สำหรับอ้างอิงประเภทของข้อมูลที่จะถูกอ่านในบรรทัดถัดไป ดังนี้หากผู้ใช้ต้องการแก้ไขข้อมูลในไฟล์ดังกล่าว ต้องทำเฉพาะส่วนที่ไม่ใช่ชื่อหัวข้อ สำหรับการเรียงลำดับของชื่อหัวข้อมีดังนี้

หัวข้อที่ 1. DATA INPUT FOR NONLINEAR FRAME ANAYSIS PROGRAM เป็นชื่อหัวข้อสำหรับการเริ่มต้นอ่านข้อมูลไฟล์นำเข้า

หัวข้อที่ 2. TITLE AND UNIT เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลหัวเรื่องและข้อมูลหน่วยที่ใช้ ซึ่งมีการเรียงลำดับข้อมูลดังนี้

หัวเรื่อง	หน่วยแรง	หน่วยวัดความยาว

และระหว่างข้อมูลจะเว้นช่องว่าง 1 ช่อง โดยข้อมูลในตัวอย่างนี้คือ ex_1 lb in มีความหมายดังนี้ หัวเรื่องคือ ex_1 หน่วยแรงคือ lb หน่วยวัดความยาวคือ in

หัวข้อที่ 3. PROJECT NAME AND INITIAL DATA ;(NN,NE,NM,NDIM)เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลชื่อโครงการและข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งมีการเรียงลำดับข้อมูลดังนี้

ชื่อโครงการ	จำนวนโหนด	จำนวนชิ้นส่วนย่อย	จำนวนชุดของวัสดุ	ขนาดมิติ

โดยข้อมูลในตัวอย่างนี้คือ VONGTEP 11 10 1 2 มีความหมายดังนี้ ชื่อโครงการคือ VONGTEP จำนวนโหนดคือ 11 จำนวนชิ้นส่วนย่อยคือ 10 จำนวนชุดของวัสดุคือ 1 และขนาดมิติคือ 2

หัวข้อที่ 4. JOINT COORDINATES เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลพิกัดโหนด ข้อมูลในส่วนนี้มีได้หลายชุดตามจำนวนโหนดและมีการเรียงข้อมูล 2 แบบตามขนาดมิติของโครงสร้าง โดยโครงข้อแข็ง 3 มิติมีการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขโหนด	ค่าพิกัดแกน x	ค่าพิกัดแกน y	ค่าพิกัดแกน z

ส่วนโครงข้อแข็ง 2 มิติ ให้ตัดข้อมูลค่าพิกัดแกน z ออก ตัวอย่างนี้เป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติ สุ่มเลือกชุดข้อมูลมา 1 ชุดคือ 5 0 4 มีความหมายดังนี้ หมายเลขโหนดคือ 5 ค่าพิกัดแกน x คือ 0 และค่าพิกัดแกน y คือ 4

หัวข้อที่ 5. MEMBER INCIDENCES AND PROPERTY TYPE เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลการเชื่อมต่อระหว่างโหนดของชิ้นส่วนย่อยและชุดของวัสดุที่ใช้ จำนวนชุดข้อมูลในส่วนนี้แปรตามจำนวนชิ้นส่วนย่อยโดยมีการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขชิ้นส่วนย่อย	โหนดต้น	โหนดปลาย	หมายเลขชุดของวัสดุ

สุ่มเลือกชุดข้อมูลมา 1 ชุดคือ 4 4 5 1 มีความหมายดังนี้ หมายเลขชิ้นส่วนย่อยคือ 4 โหนดต้นคือ 4 โหนดปลายคือ 5 และหมายเลขชุดของวัสดุคือ 1

หัวข้อที่ 6. PROPERTY DETAILS ; (E, A, I)เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุ จำนวนชุดข้อมูลในส่วนนี้แปรตามจำนวนชุดของวัสดุและมีรูปแบบการเรียงข้อมูล 2 แบบตามขนาดมิติของโครงสร้าง โดยโครงข้อแข็ง 2 มิติมีการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขชุดของวัสดุ	E	A	I_z

ส่วนโครงข้อแข็ง 3 มิติมีการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขชุดของวัสดุ	E	G	A	J	I_y	I_z

เมื่อ E คือค่าโมดูลลัสยืดหยุ่น G คือค่าโมดูลลัสแรงเฉือน A คือพื้นที่หน้าตัด J คือค่าคงที่ต่อการบิด I_y คือโมเมนอินเนอร์เชียรอบแกน y' และ I_z คือโมเมนอินเนอร์เชียรอบแกน z' ตัวอย่างนี้เป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติมีชุดข้อมูลคือ 1 10000 .183 .0001 มีความหมายดังนี้ หมายเลขชุดของวัสดุคือ 1 ค่าโมดูลลัสยืดหยุ่นคือ 10000 พื้นที่หน้าตัดคือ .183 และคือโมเมนอินเนอร์เชียรอบแกน z' คือ .0001

หัวข้อที่ 7. SUPPORTS เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต จำนวนชุดข้อมูลในส่วนนี้แปรตามจำนวนโหนดที่มีการยึดรั้ง มีรูปแบบการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขโหนด	ประเภทของการยึดรั้ง	เงื่อนไขของ DOF ที่ถูกยึดรั้งกรณี
	- Fixed	FixedBut
	- Pinned	-FX FY MZ (2 มิติ)
	- FixedBut	-FX FY FZ MX MY MZ (3 มิติ)

ประเภทของการยึดรั้งมี 3 กรณี ดังนี้

1. Fixed เป็นการยึดรั้งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทั้งหมด คือ u_x u_y θ_z สำหรับโครงข้อแข็ง 2 มิติ และ u_x u_y u_z θ_x θ_y θ_z สำหรับโครงข้อแข็ง 3 มิติ
2. Pinned เป็นการยึดรั้งเฉพาะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตามแนวแกน คือ u_x u_y สำหรับโครงข้อแข็ง 2 มิติ และ u_x u_y u_z สำหรับโครงข้อแข็ง 3 มิติ
3. FixedBut เป็นการยึดรั้งตามเงื่อนไขของของ DOF ที่เลือก โดยมีเงื่อนไขของ DOF ดังนี้
   - FX คือการยึดรั้งของ u_x
   - FY คือการยึดรั้งของ u_y
   - FZ คือการยึดรั้งของ u_z
   - MX คือการยึดรั้งของ θ_x
   - MY คือการยึดรั้งของ θ_y

- MZ คือการยึดรั้งของ θ_z

ตัวอย่างนี้มีข้อมูลการยึดรั้ง 3 ชุดคือ

1. 1 Fixed มีความหมายดังนี้ โหนดหมายเลข 1 มีประเภทการยึดรั้งคือ Fixed
2. 2 Pinned มีความหมายดังนี้ โหนดหมายเลข 2 มีประเภทการยึดรั้งคือ Pinned
3. 4 FixedBut FX MZ มีความหมายดังนี้ โหนดหมายเลข 4 มีประเภทการยึดรั้งคือ FixedBut โดยมีเงื่อนไขของ DOF ที่ถูกยึดรั้งคือ FX MZ

หัวข้อที่ 8. MEMBERS RELEASE เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลเงื่อนไขปลายของชิ้นส่วนย่อย มีรูปแบบการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขชิ้นส่วนย่อย	ตำแหน่งโหนดที่ถูกปลด	เงื่อนไขของ DOF ที่ถูกปลด
	- Start	-FX FY MZ (2 มิติ)
	- End	-FX FY FZ MX MY MZ (3 มิติ)

ตัวอย่างนี้มีข้อมูลเงื่อนไขปลายของชิ้นส่วนย่อย คือ 2 End MZ มีความหมายดังนี้ ชิ้นส่วนย่อยหมายเลข 2 ที่โหนดปลายมีการปลดการต้านทานแรงดัดรอบแกน z

หัวข้อที่ 9. LOAD เป็นชื่อหัวข้อสำหรับการเริ่มต้นอ่านข้อมูลแรงกระทำ

หัวข้อที่ 10. JOINT LOAD เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลแรงกระทำที่โหนด มีรูปแบบการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขโหนด	ลักษณะของแรงกระทำ -FX FY MZ (2 มิติ) -FX FY FZ MX MY MZ (3 มิติ)	ขนาดของแรงกระทำ

ตัวอย่างนี้มีข้อมูลแรงกระทำที่โหนด คือ

- 11 FY -10 มีความหมายดังนี้ โหนดหมายเลข 11 มีแรงกระทำในแนวแกน y ขนาด -10 lb
- 11 MZ -1 มีความหมายดังนี้ โหนดหมายเลข 11 มีแรงดัดกระทำรอบแกน z ขนาด -1 lb

หัวข้อที่ 11. MEMBER LOAD เป็นชื่อหัวข้อสำหรับข้อมูลกระทำที่ชิ้นส่วนย่อย มีรูปแบบการเรียงข้อมูลดังนี้

หมายเลขชิ้นส่วนย่อย	ประเภทของแรง - UNI - CON	ทิศของแรงกระทำ -X Y Z -GX GY GZ	ระยะจากโหนดเริ่มต้นถึงจุดที่แรงกระทำ (เฉพาะแรงประเภท CON)	ขนาดของแรงกระทำ

แรงกระทำที่ชิ้นส่วนย่อยแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- UNI เป็นแรงกระจายสม่ำเสมอ (Uniform Loads)
- CON เป็นแรงกระทำเป็นจุด (Concentrated Loads)

กรณีที่ประเภทของแรงเป็นแบบ CON จะต้องเพิ่มข้อมูลระยะจากโหนดเริ่มต้นถึงจุดที่แรงกระทำ สำหรับทิศของแรงกระทำได้แก่

- X Y Z คือทิศทางแนวแกนในระบบพิกัดย่อย x' y' z' ตามลำดับ
- GX GY GZ คือทิศทางตามแนวแกนในระบบพิกัดโครงสร้าง x y z ตามลำดับ

ตัวอย่างนี้มีข้อมูลแรงกระทำที่ชิ้นส่วนย่อยคือ

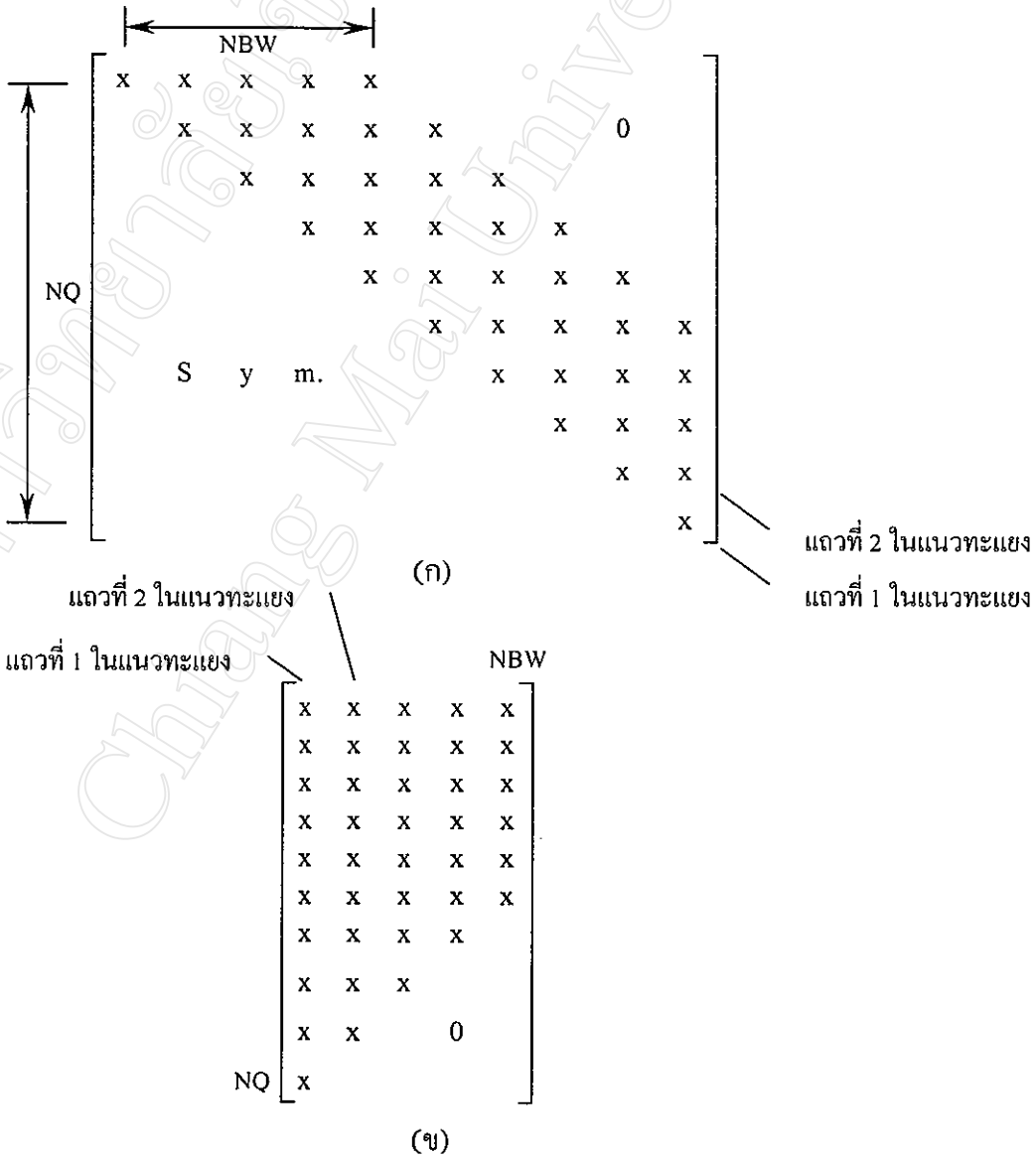
- `5 UNI Y -10` มีความหมายดังนี้ ชิ้นส่วนย่อยหมายเลข `5` มีแรงกระจายสม่ำเสมอกระทำในทิศแกน `Y` ในระบบพิกัดย่อยขนาด `-10 lb/in`
- `1 CON Y .2 100` มีความหมายดังนี้ ชิ้นส่วนย่อยหมายเลข `1` มีแรงแรงกระทำเป็นจุดในทิศแกน `Y` ในระบบพิกัดย่อยขนาด `100 lb`

หัวข้อที่ 12. `END OF DATA` เป็นชื่อหัวข้อเพื่อจบขั้นตอนการอ่านข้อมูล

3.6 ประสิทธิภาพของโปรแกรม

ประสิทธิภาพของโปรแกรม NGFA ขึ้นอยู่กับขนาดของ RAM ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน เนื่องจากโปรแกรมจะใช้พื้นที่หน่วยความจำของ RAM ในการเก็บข้อมูลตัวแปรหลายตัว แต่ตัวแปรที่ใช้พื้นที่หน่วยความจำมากที่สุดคือตัวแปรสำหรับเก็บค่าเมตริกซ์สตีฟเนส

โดยอาศัยวิธีการจัดเก็บเมตริกซ์สตีฟเนสด้วยระบบ Half-Bandwidth ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เนื่องจากเมตริกซ์สตีฟเนสเป็นเมตริกซ์แบบสมมาตรและมีส่วนของข้อมูลที่มีค่าเป็นศูนย์แทรกอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.6(ก) กำหนดให้ NQ เป็นจำนวนแถวของเมตริกซ์ และ NBW เป็นจำนวนข้อมูลในแต่ละแถวนับจากตำแหน่งกึ่งกลางในแนวทะแยงไปจนถึงตำแหน่งสุดท้ายในส่วนของข้อมูลที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ เมื่อทำการจัดเก็บแบบ Half-Bandwidth จะได้รูปแบบดังแสดงในรูปที่ 3.6(ข)



รูปที่ 3.6 วิธีการจัดเก็บเมตริกซ์สตีฟเนสด้วยระบบ Half-Bandwidth

ค่า NQ คำนวณจากผลคูณของจำนวนโหนดทั้งหมดของโครงสร้างกับจำนวน DOF ต่อโหนด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$NQ = NN \times NDN \tag{3.3}$$

เมื่อ NN คือจำนวนโหนดทั้งหมดของโครงสร้าง

NDN คือจำนวน DOF ต่อโหนดโดย NDN = 3 สำหรับโครงข้อแข็ง 2 มิติ และ NDN = 6 สำหรับโครงข้อแข็ง 3 มิติ

ค่า NBW สามารถคำนวณได้จากการนำค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างหมายเลขกำกับโหนดเริ่มต้นและโหนดปลายของชิ้นส่วนทุกชิ้นบวกด้วย 1 แล้วนำมาคูณด้วยค่า NDN จากนั้นเลือกใช้ตัวที่มีค่าสูงสุด ดังแสดงในสมการ (3.4) โดยจะเห็นว่าขนาดของค่า NBW ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงหมายเลขของโหนดในโครงสร้าง ซึ่งหากโครงสร้างมีการจัดเรียงหมายเลขกำกับโหนดให้เป็นระบบที่ดีแล้ว ก็จะทำให้ NBW มีค่าน้อย

$$NBW = Max(\,|\,N1 - N2\,|\,+ 1) \times NDN) \tag{3.4}$$

เมื่อ N1 และ N2 คือหมายเลขกำกับโหนดเริ่มต้นและโหนดปลายของชิ้นส่วนทุกชิ้น

ตัวแปรสำหรับเก็บค่าเมตริกซ์สตีฟเนส เป็นตัวแปรที่ประกาศแบบ Dynamic Array 2 มิติ ประเภท Double ซึ่งใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูล 8 Bytes ต่อหนึ่งข้อมูล ขนาดของตัวแปรดังกล่าวคือ NQ x NBW ซึ่งจะใช้เนื้อที่ RAM เท่ากับ NQ x NBW x 8 Bytes สำหรับเก็บตัวแปรดังกล่าว ดังนั้นจะเห็นว่า จำนวนโหนดของโครงสร้าง เป็นตัวแปรที่กำหนดการใช้เนื้อที่ RAM ยกตัวอย่างโครงสร้างหนึ่ง ซึ่งเป็นโครงข้อแข็ง 3 มิติ มีจำนวนโหนดเท่ากับ 100 โหนด จากการคำนวณจะมีค่า NQ เท่ากับ 600 กำหนดให้มีการจัดเรียงหมายเลขของโหนดอย่างเป็นระบบและมีค่า NBW ครึ่งหนึ่งของ NQ ดังนั้นโครงสร้างนี้จะต้องใช้เนื้อที่ RAM สำหรับเก็บตัวแปรเมตริกซ์สตีฟเนสเท่ากับ 1.44 MB