บทที่ 3

# วิธีการฟรอนทัล (FRONTAL METHOD)

## 3.1 ความนำ

วิธีการฟรอนทัลนี้จะรวมถึงการรวมสติฟเนส เมตริกซ์และ เวก เตอร์ของแรงของชิ้นส่วนย่อย เพื่อประกอบ เป็นโครงสร้างและการแก้สมการสมดุลย์ของแรง $\{[K]\{D\} = \{F\}$ ซึ่งเป็นสมการที่มีความสัมพันธ์กันใน เชิง เส้นตรง (Linear Equations)$\}$ โดยวิธีการกำจัดของเกาซ์ (Gauss Elimination)

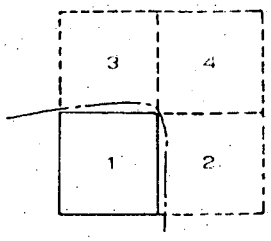
Irons[24] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิธีการฟรอนทัลขึ้นมา เพื่อใช้สำหรับการวิ เคราะห์โครงสร้างชนิดไฟไนต์ เอ เล เมนต์ โดยจินตนาการ เหมือนมี "คลื่น" (Front wave) กวาดผ่านตัวโครงสร้างทีละชิ้นส่วน โดย เริ่มต้นจากชิ้นส่วนแรกไปจนถึงชิ้นส่วนสุดท้าย ดังแสดงในรูป 3.1

โปรแกรมไมโครคอมพิว เตอร์ที่ เขียนขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้มาจากการดัดแปลงโปรแกรมของ Johnson[36]

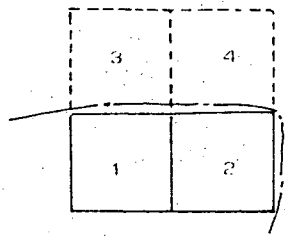
## 3.2 วิธีการฟรอนทัลในการวิ เคราะห์โครงสร้าง

สำหรับในงานวิจัยนี้จะนำวิธีการฟรอนทัลมาประยุกต์ใช้กับการวิ เคราะห์ผนังด้านแรงเฉือนโดยการจำลองโครงสร้าง เป็นโครงข้อแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการฟรอนทัลจะ เริ่มด้วยการประกอบโครงสร้างตั้งแต่ชิ้นส่วนแรก คือชิ้นส่วนที่ 1 (ฟรอนต์ที่ 1) เรื่อยไปจนถึงชิ้นส่วนสุดท้าย ในระหว่างนั้นจะมีการรวมค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนส เมตริกซ์และ เวก เตอร์ของแรงที่มีระดับขั้นความ เสรี (Degree of Freedom) เดียวกัน การทำการกำจัดระดับขั้นความ เสรีของข้อที่ไม่ได้ต่อกับข้อใด ๆ ของชิ้นส่วนอื่นในโครงสร้างนั้น โดยใช้การกำจัดของเกาซ์ จากนั้นจะเก็บค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนส เมตริกซ์และ เวก เตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์แล้วลงในแผ่นจานแม่ เหล็ก เหลือ เฉพาะสัมประสิทธิ์สติฟเนส เมตริกซ์และ เวก เตอร์ของแรงที่ไม่ได้ถูกกำจัดออกอยู่ในหน่วยความจำ เพราะฉะนั้นวิธีการฟรอนทัลนี้จะประหยัดหน่วยความจำภายใน เครื่อง (Incore Memory) เหมาะสำหรับใช้ในไมโครคอมพิว เตอร์ที่มีหน่วยความจำจำกัด

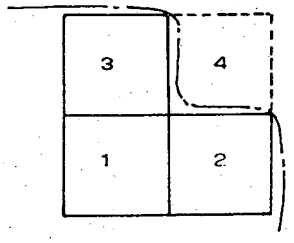
เมื่อทุกข้อผ่านการกำจัดของ เกาซ์แล้วจะหาคำตอบของสมการสมดุลย์ ซึ่งในที่นี้คือ ค่าการ เคลื่อนที่ที่ข้อได้ โดยการแทนค่าย้อนกลับ



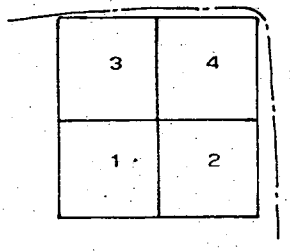

ฟรอนต์ที่ 1




ฟรอนต์ที่ 2

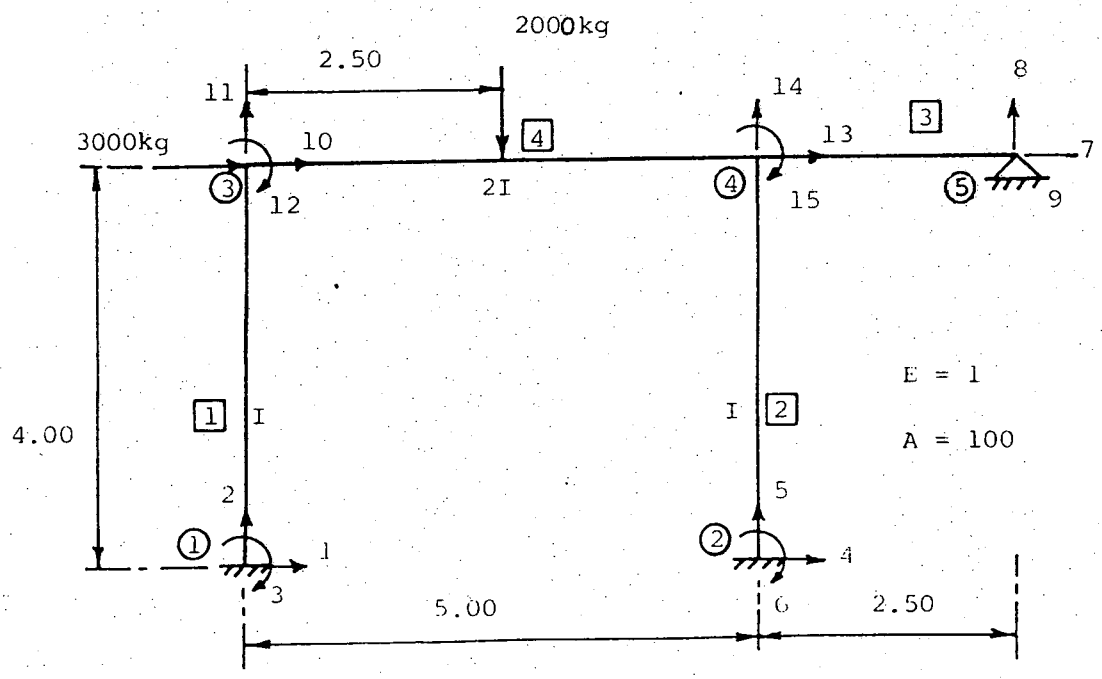



ฟรอนต์ที่ 3




ฟรอนต์ที่ 4

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะคลื่นของฟรอนทัลที่กวาดผ่านโครงสร้างทีละชิ้นส่วนจนครบทั้งโครงสร้าง




รูปที่ 3.2 ตัวอย่างโครงข้อแข็ง

พิจารณาโครงสร้างในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นโครงข้อแข็งที่มี 4 ชิ้นส่วนและจำนวนขั้ว เท่ากับ 5 ขั้ว โดยมีระดับขั้นความเสรี หมายเลขขั้ว หมายเลขชิ้นส่วนและคุณสมบัติอื่น ๆ ดังแสดงในรูป วิธีการฟรอนทัลจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

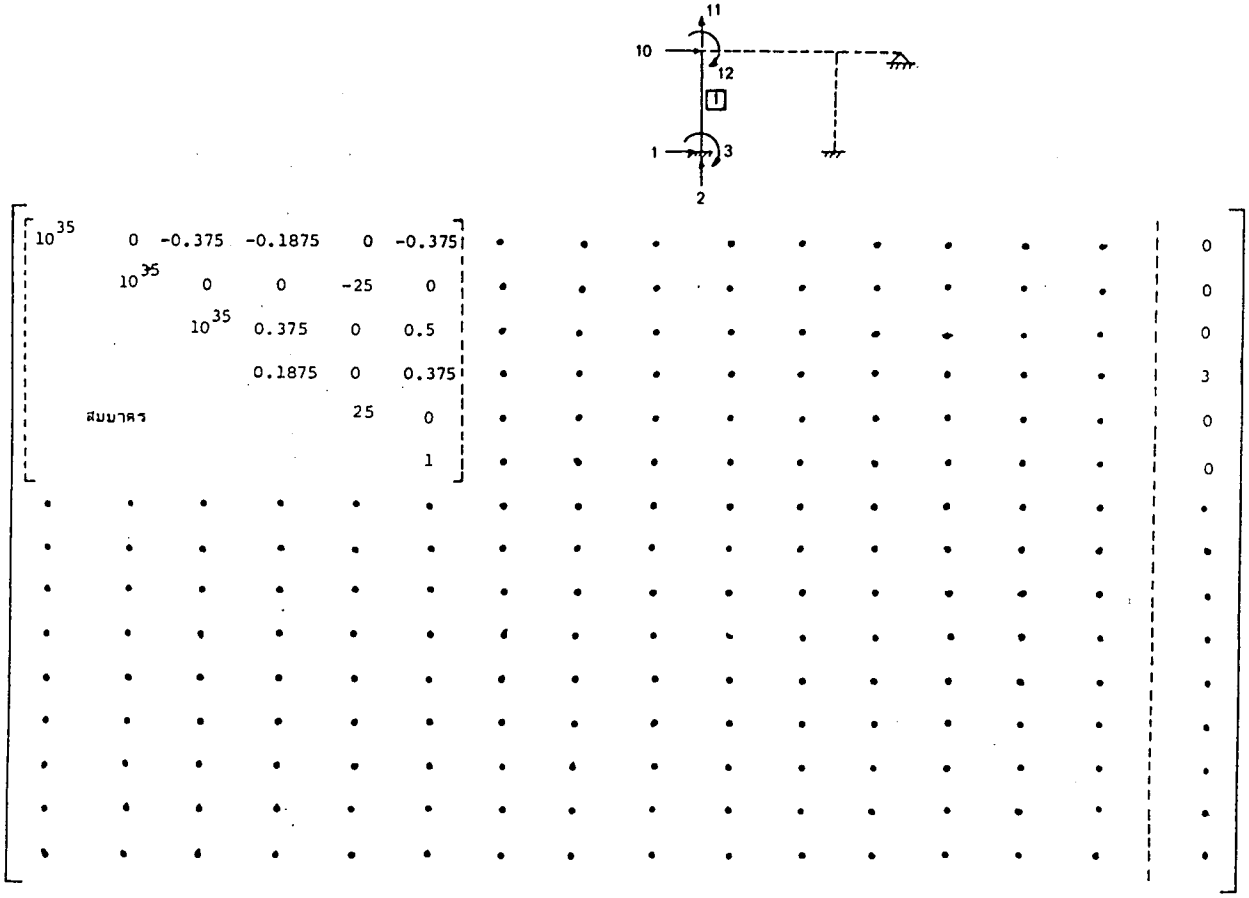
3.2.1 ฟรอนต์ที่ 1 (ชิ้นส่วนหมายเลข 1)

ในฟรอนต์นี้ชิ้นส่วนที่เข้ามาในฟรอนต์ คือชิ้นส่วนหมายเลข 1 ซึ่งประกอบด้วยขั้วหมายเลข 1 และ 3 โดยมีระดับขั้นความเสรี 1, 2, 3 และ 10, 11, 12 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 1นี้ สามารถหาได้โดยใช้สมการ (2.9), (2.13) และ (2.14) และแก้ไขสติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงให้สอดคล้องกับสภาพเงื่อนไขที่จุดรองรับตามวิธีที่ 2 ในหัวข้อ 2.5 (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 2) สัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงเหล่านี้จะนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของฟรอนต์ สำหรับในฟรอนต์ที่ 1 นี้ใช้หน่วยความจำเท่ากับ 27 (21 หน่วยสำหรับสัมประสิทธิ์สติฟเนสและ 6 หน่วยสำหรับเวกเตอร์ของแรง) โดยเก็บเฉพาะสัมประสิทธิ์สติฟเนสในแนวเส้นทะแยงมุมและส่วนที่อยู่เหนือแนวเส้นทะแยงมุม ดังแสดงในรูปที่ 3.3

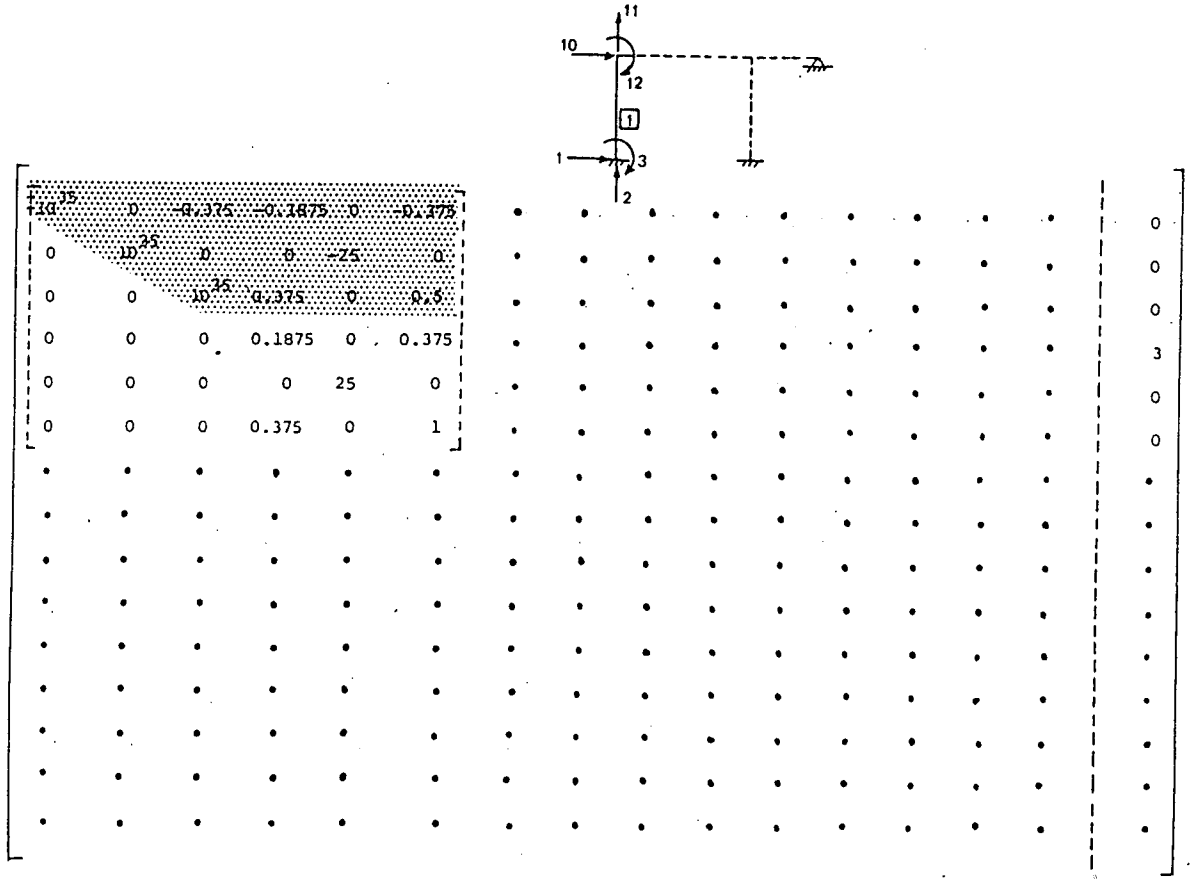
หลังจากนั้นจะทำการกำจัดของเกาซ์ โดยขั้วที่ถูกกำจัดในฟรอนต์ที่ 1 นี้คือขั้วหมายเลข 1 ซึ่งไม่ได้ต่อกับชิ้นอื่นอีกแล้ว สำหรับขั้วที่ 1 นี้มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 1, 2 และ 3 ดังนั้นจะทำการกำจัดเฉพาะสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงที่เกี่ยวข้องกับระดับขั้นความเสรี 1, 2, 3 เท่านั้น ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์แล้ว จะถูกเก็บบันทึกไว้ในแผ่นจานแม่เหล็กเพื่อรอเรียกใช้งานในช่วงการแทนค่าย้อนกลับ (ส่วนที่บันทึกคือ บริเวณที่แรเงา ในรูปที่ 3.4)

3.2.2 ฟรอนต์ที่ 2 (ชิ้นส่วนหมายเลข 2)

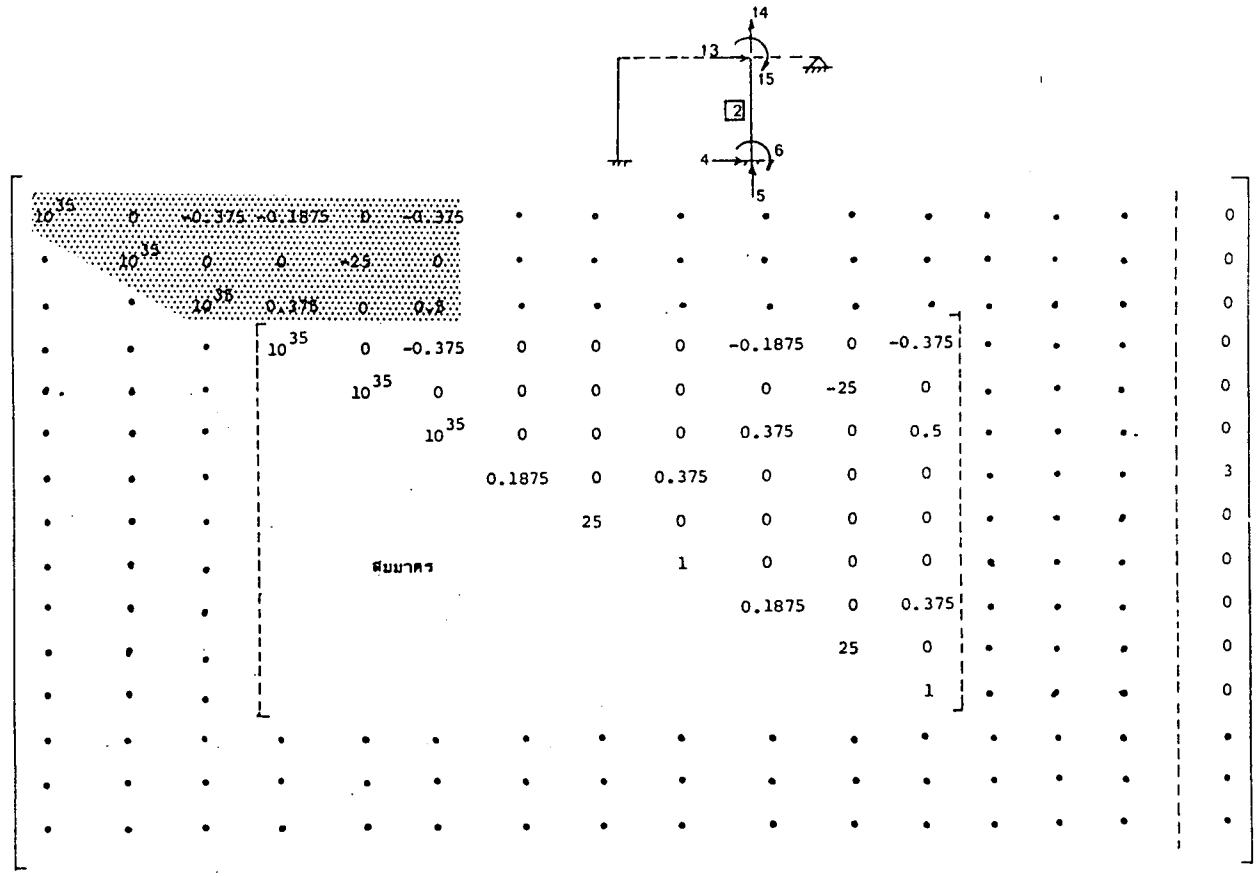
ลักษณะการทำงานจะเช่นเดียวกับในฟรอนต์ที่ 1 เพียงแต่ในฟรอนต์นี้จะมีจำนวนขั้วในฟรอนต์เท่ากับ 3 ขั้ว คือ ขั้วหมายเลข 2, 3 และ 4 โดยขั้วหมายเลข 2 จะอยู่ก่อนหมายเลข 3 และ 4 เนื่องจากขั้วหมายเลข 2 จะถูกกำจัดในฟรอนต์นี้ จากนั้นขั้นตอนจะเหมือนกับในฟรอนต์ที่ 1 ซึ่งเมื่อผ่านการกำจัดของเกาซ์แล้ว จะเก็บค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงไว้ในแผ่นจานแม่เหล็ก สำหรับในฟรอนต์ที่ 2 นี้จะใช้หน่วยความจำเท่ากับ 45 หน่วย (36 หน่วยสำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และ 6 หน่วยสำหรับเวกเตอร์ของแรง) ดังแสดงในรูปที่ 3.5-3.6



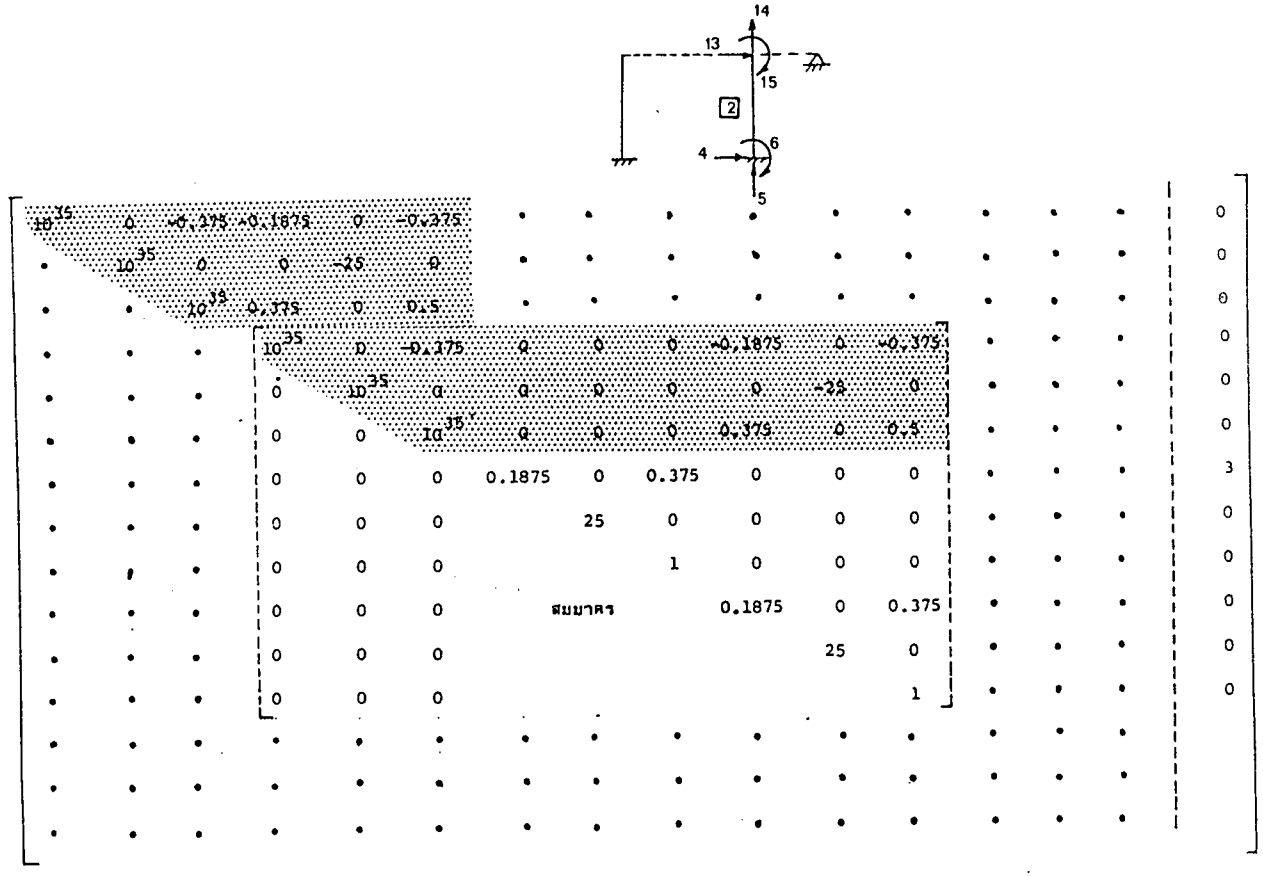

รูปที่ 3.3 ฟรอนต์ที่ 1 การรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนส



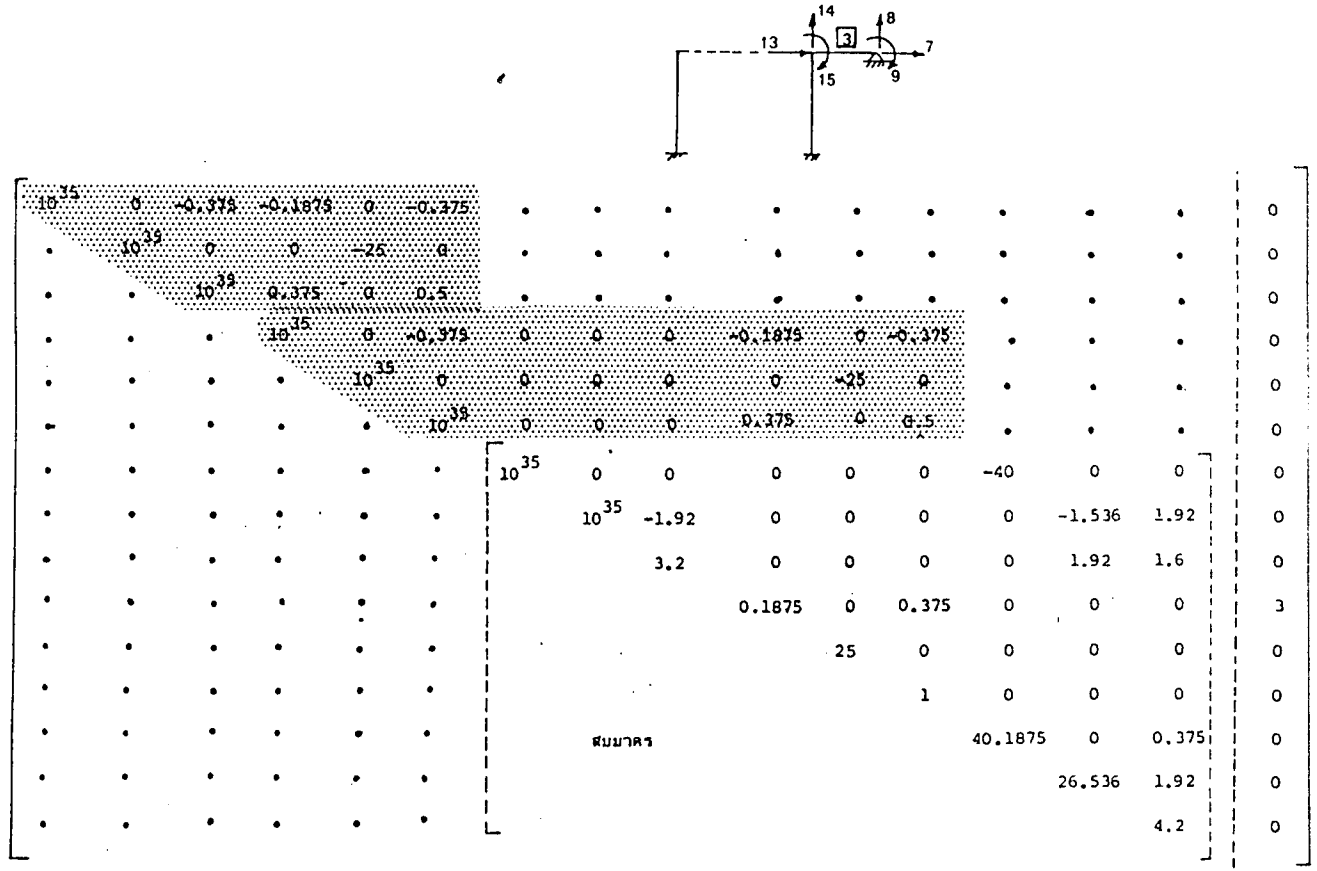

รูปที่ 3.4 ฟรอนต์ที่ 1 การกำจัดของเกาซ์



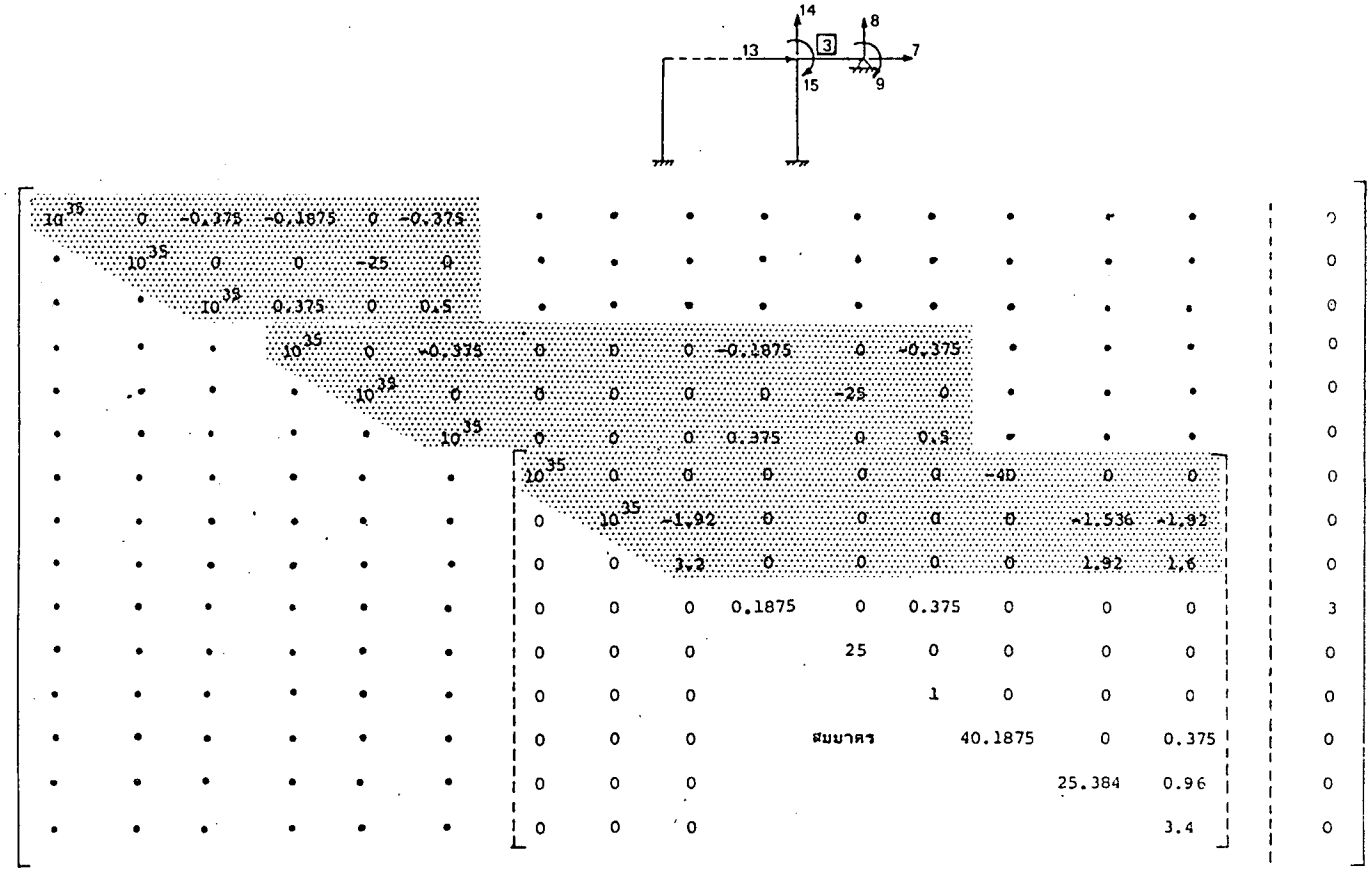

รูปที่ 3.5 ฟรอนต์ที่ 2 การรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนส



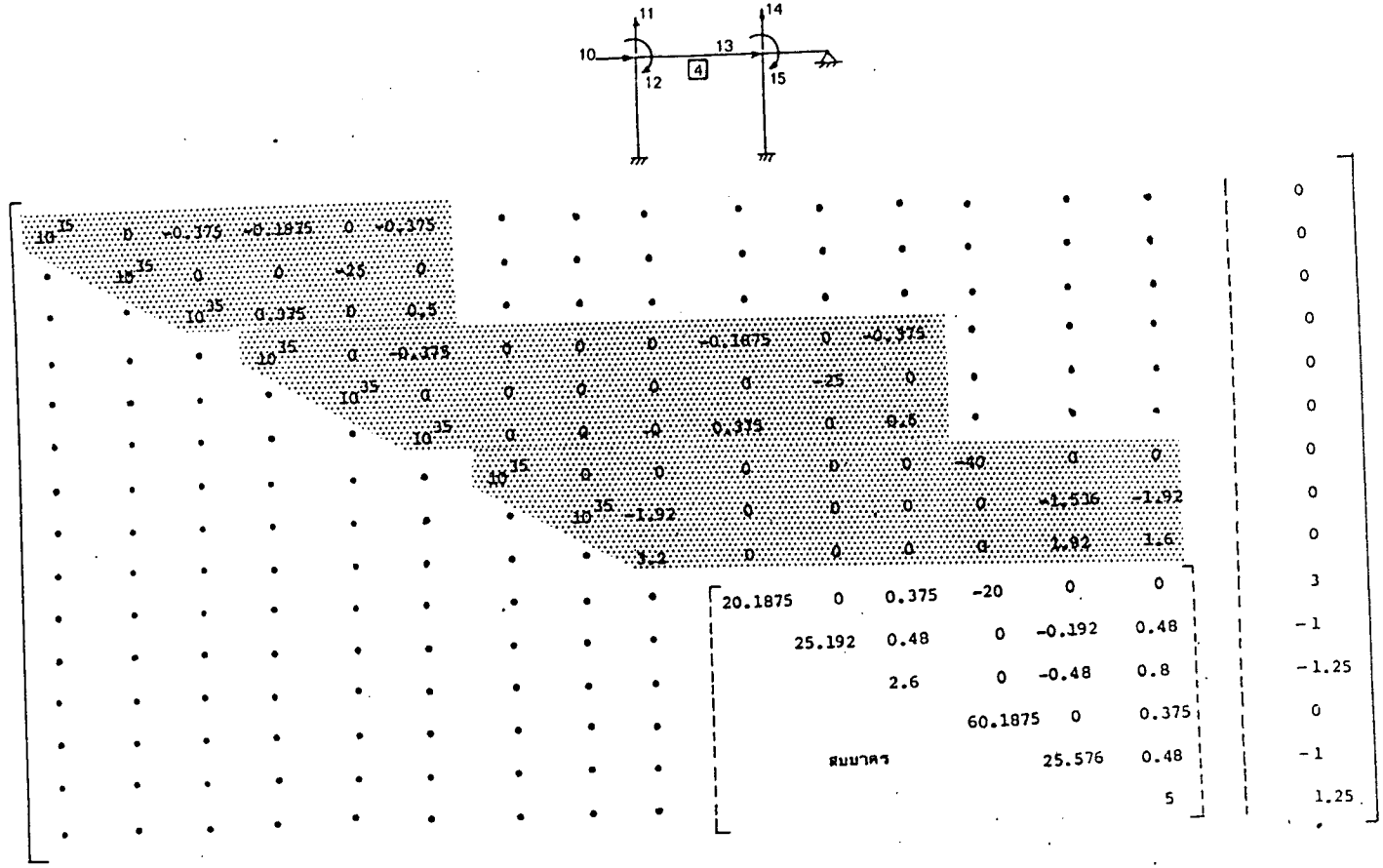

รูปที่ 3.6 ฟรอนต์ที่ 2 การกำจัดของเกาซ์



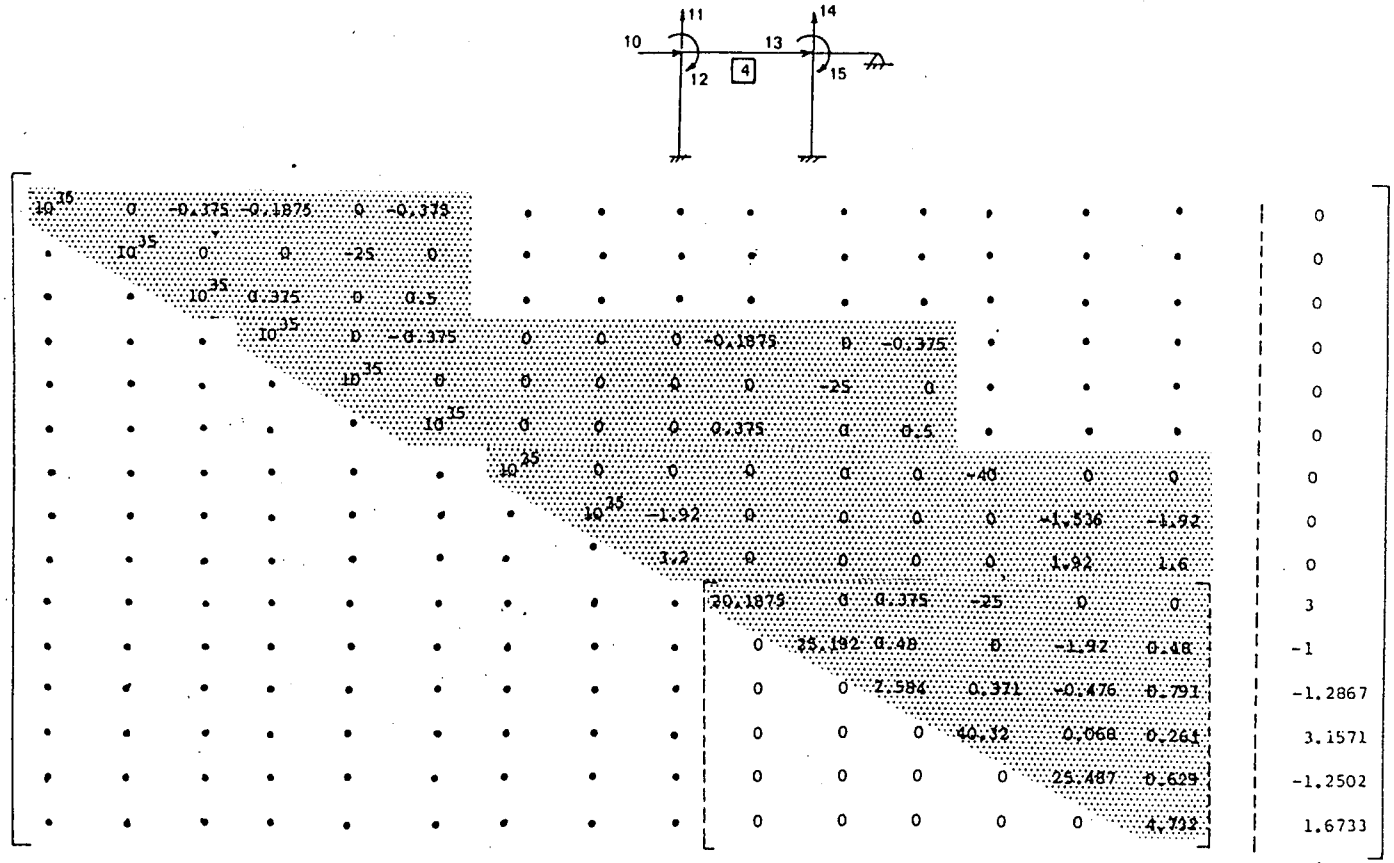

รูปที่ 3.7 ฟรอนต์ที่ 3 การรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนส




รูปที่ 3.8 ฟรอนต์ที่ 3 การกำจัดของเกาซ์




รูปที่ 3.9 ฟรอนต์ที่ 4 การรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนส




รูปที่ 3.10 ฟรอนต์ที่ 4 การกำจัดของเกาซ์

3.2.3 ฟรอนต์ที่ 3 (ชิ้นส่วนหมายเลข 3)

ในฟรอนต์ที่ 3 นี้ขั้วที่อยู่ในฟรอนต์คือขั้วหมายเลข 5, 3 และ 4โดยขั้วหมายเลข 5 จะถูกกำจัดออก และสำหรับในฟรอนต์ที่ 3 นี้ใช้หน่วยความจำ 45 หน่วย (36 หน่วยสำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และ 6 หน่วยสำหรับเวกเตอร์ของแรง) ดังแสดงในรูปที่ 3.7-3.8

3.2.4 ฟรอนต์ที่ 4 (ชิ้นส่วนหมายเลข 4)

ในฟรอนต์ที่ 4 ซึ่งเป็นฟรอนต์สุดท้าย ขั้วที่อยู่ในฟรอนต์คือ หมายเลข 3 และ 4 โดยถูกกำจัดออกทั้งสองขั้ว เนื่องจากเป็นฟรอนต์สุดท้าย สำหรับในฟรอนต์นี้ใช้หน่วยความจำเท่ากับ 27 หน่วย (21 หน่วยสำหรับสัมประสิทธิ์สติฟเนสและ 6 หน่วยสำหรับเวกเตอร์ของแรง) ดังแสดงในรูปที่ 3.9-3.10

3.2.5 การแทนค่าย้อนกลับ

สำหรับการแทนค่าย้อนกลับนั้นจะเริ่มจากชิ้นส่วนสุดท้ายย้อนกลับมาหาชิ้นส่วนแรก โดยจะอ่านค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์ ซึ่งบันทึกไว้ในแผ่นจานแม่เหล็ก (บริเวณที่แรเงาในรูปที่ 3.10) มาใช้ในการแทนค่าย้อนกลับจะได้ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วดังต่อไปนี้

$$\{D\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.1421 \\ 0.2357 \\ -0.0349 \\ -0.6278 \\ 0.0761 \\ -0.0578 \\ 0.3536 \end{Bmatrix} \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \\ (4) \\ (5) \\ (6) \\ (7) \\ (8) \\ (9) \\ (10) \\ (11) \\ (12) \\ (13) \\ (14) \\ (15) \end{matrix}$$

ส่วนการหาค่าแรงลัพธ์ในชิ้นส่วน หาได้โดยใช้สมการ (2.24) ในหัวข้อที่ 2.6 จะได้แรงลัพธ์ในชิ้นส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.11

โครงสร้างในรูปที่ 3.2 ถ้าวิเคราะห์ด้วยวิธีไดเร็กสติฟเนส[3] พบว่าจะต้องใช้หน่วยความจำเท่ากับ 120 หน่วย สำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและใช้ 15 หน่วยสำหรับเก็บค่าเวกเตอร์ของแรง แต่ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการฟรอนทัลนั้น หน่วยความจำที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดของฟรอนต์ที่ใหญ่ที่สุด จากตัวอย่างโครงสร้างข้างต้น ขนาดของฟรอนต์ที่ใหญ่ที่สุดจะใช้หน่วยความจำเท่ากับ 36 หน่วย สำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและ 9 หน่วยสำหรับเก็บค่าเวกเตอร์ของแรง ซึ่งเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่า วิธีการฟรอนทัล ใช้หน่วยความจำในการเก็บค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงน้อยกว่าวิธีไดเร็กสติฟเนสประมาณ 3 เท่า (เปรียบเทียบกันเฉพาะกรณีตัวอย่างโครงสร้างในรูปที่ 3.2 เท่านั้น)

## 3.3 โปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยวิธีการฟรอนทัล

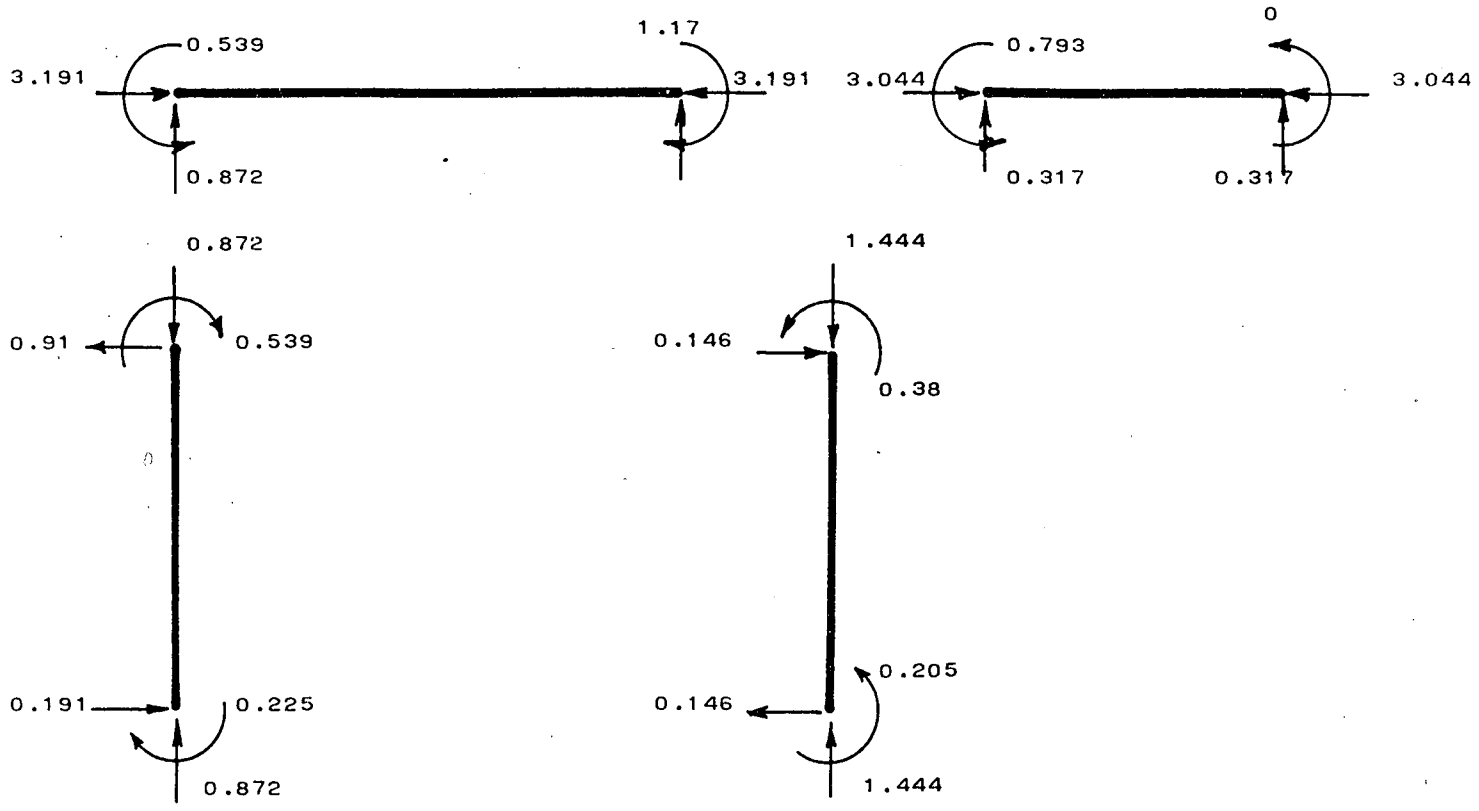
วิธีการฟรอนทัลที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 นั้น พบว่าจะต้องมีขั้นตอนในการประกอบและการรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรง การจัดอันดับขั้วสำหรับฟรอนต์ปัจจุบันและฟรอนต์ต่อไป การกำหนดระดับขั้นความเสรีของขั้วในฟรอนต์ การทำการกำจัดของเกาซ์ การเคลื่อนย้ายสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงสำหรับฟรอนต์ต่อไป การบันทึกสัมประสิทธิ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์แล้วลงในแผ่นจานแม่เหล็ก ฯลฯ ขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้มีรายละเอียดดังโปรแกรมต่อไปนี้ (พิจารณาแผนภูมิในรูปที่ 3.12 ประกอบ)

### 3.3.1 โปรแกรม EXECUTE DATA

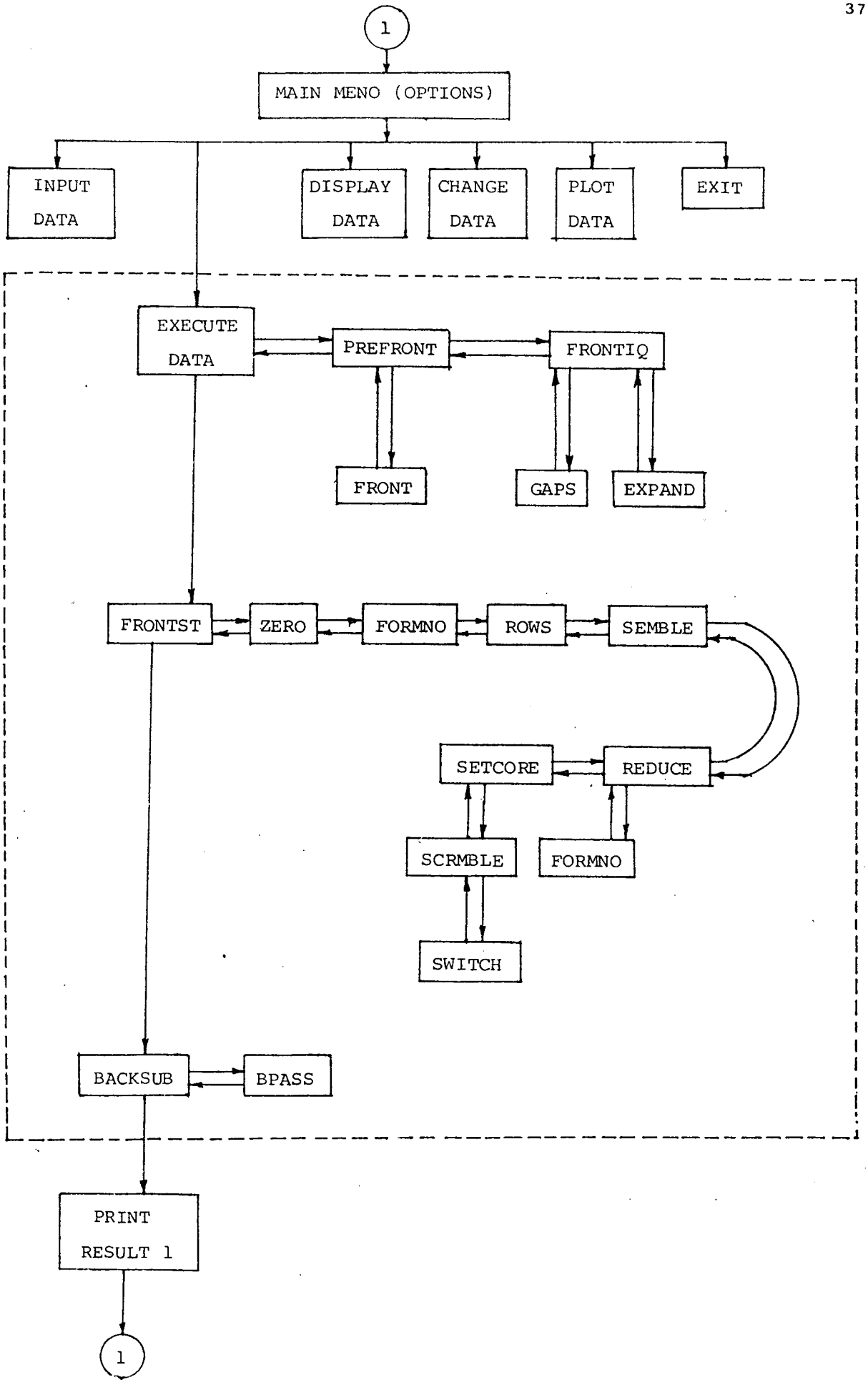
โปรแกรม EXECUTE DATA จะประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย

- PREFRONT
- FRONT
- FRONTIQ
- GAPS
- EXPAND

ม 17358055




รูปที่ 3.11 แรงสัพธ์ในชิ้นส่วนโครงข้อแข็งรูปที่ 3.2




รูปที่ 3.12 แผนภูมิของโปรแกรมการวิเคราะห์โครงข้อแข็งด้วยวิธีการฟรอนทัล

แต่ละโปรแกรมย่อยมีหน้าที่ในการทำงานดังต่อไปนี้

3.1.1.1 โปรแกรมย่อย PREFRONT

PREFRONT มีหน้าที่ในการบันทึกจำนวนชิ้นส่วนที่จะประกอบเข้าที่ขั้วใด ๆ ซึ่งจะเท่ากับจำนวนครั้งที่ขั้วนั้น ถูกเรียกเข้าไปในฟรอนต์ ยกตัวอย่างเช่น โครงสร้างในรูปที่ 3.2 จะพบว่า

จำนวนชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าที่ขั้วหมายเลข 1 = 1 (คือชิ้นส่วนหมายเลข 1)

จำนวนชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าที่ขั้วหมายเลข 2 = 1 (คือชิ้นส่วนหมายเลข 2)

จำนวนชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าที่ขั้วหมายเลข 3 = 2 (คือชิ้นส่วนหมายเลข 1 และ 4)

จำนวนชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าที่ขั้วหมายเลข 4 = 3 (คือชิ้นส่วนหมายเลข 2,3 และ 4)

จำนวนชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าที่ขั้วหมายเลข 5 = 1 (คือชิ้นส่วนหมายเลข 3)

ข้อมูลเหล่านี้จะบันทึกไว้ในแถวลำดับ (Array) IB ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ทั้งนี้เพื่อเก็บไว้ใช้งานในโปรแกรมย่อย FRONT

3.3.1.2 โปรแกรมย่อย FRONT

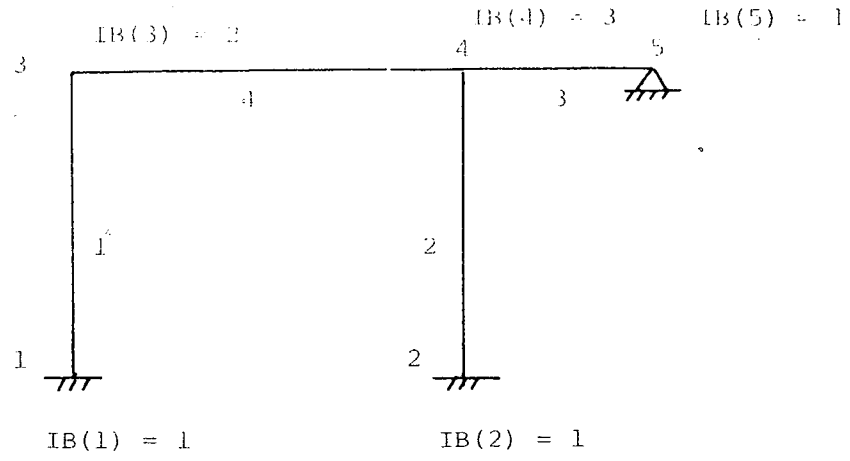
ในการทำงานของโปรแกรมย่อย PREFRONT จะเรียกโปรแกรมย่อย FRONT มาใช้งานอีกต่อหนึ่ง โดยโปรแกรมย่อย FRONT มีหน้าที่ในการสร้างแถวลำดับ MOC ซึ่งแถวลำดับ MOC นี้เป็นตัวแสดงว่าในแต่ละฟรอนต์นั้นมีขั้วอะไรอยู่บ้าง โดยจะจัดขั้วที่ต้องถูกกำจัดออกไปในแต่ละฟรอนต์ไว้ข้างหน้าสุด นอกจากนี้ยังกำหนดตัวแปร M, MQ, N และ NQ โดยที่

M = จำนวนขั้วที่จะถูกกำจัดออกในฟรอนต์

MQ = ระดับขั้นความเสรีที่ถูกกำจัดออกในฟรอนต์

N = จำนวนขั้วทั้งหมดในฟรอนต์

และ NQ = ระดับขั้นความเสรีทั้งหมดในฟรอนต์




รูปที่ 3.13 การบันทึกแถวลำดับ IB ในการทำงานของโปรแกรมย่อย PREFRONT

**ฟรอนต์ที่ 1**

| MQ | NQ | M | N | N | MOC(1) | MOC(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 6 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |

**ฟรอนต์ที่ 2**

| MQ | NQ | M | N | N | MOC(1) | MOC(2) | MOC(3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 9 | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 |

**ฟรอนต์ที่ 3**

| MQ | NQ | M | N | N | MOC(1) | MOC(2) | MOC(3) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 9 | 1 | 3 | 3 | 5 | 3 | 4 |

**ฟรอนต์ที่ 4**

| MQ | NQ | M | N | N | MOC(1) | MOC(2) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 6 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 |

รูปที่ 3.14 การบันทึกข้อมูลในลักษณะของ Sequential Text File ชื่อ "FRONT"

สำหรับในกรณีตัวอย่างรูปที่ 3.2 พบว่า

| ฟรอนต์ที่ | แถวลำดับ MOC | M | MQ | N | NQ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | [1] , 2 | 1 | 3 | 2 | 6 |
| 2 | [2] , 3, 4 | 1 | 3 | 3 | 9 |
| 3 | [5] , 3, 4 | 1 | 3 | 3 | 9 |
| 4 | [3] , [4] | 2 | 6 | 2 | 6 |

หมายเหตุ [ ] แสดงขั้วที่ถูกกำจัดออกจากฟรอนต์

ในโปรแกรมย่อย FRONT นี้ค่าตัวแปร MQ, NQ, M, N และแถวลำดับ MOC จะถูกบันทึกลงแผ่นจานแม่เหล็ก โดยเก็บอยู่ในลักษณะของ Sequential Text File ใช้ชื่อว่า "FRONT" ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ทั้งนี้เพื่อเก็บเป็นข้อมูลสำหรับโปรแกรมอื่นต่อไป

### 3.3.1.3 โปรแกรมย่อย FRONTIQ

โปรแกรมย่อย FRONTIQ ทำหน้าที่ในการจัดเรียบเรียงข้อมูลเกี่ยวกับขั้วในฟรอนต์ปัจจุบัน (Current Front) กับขั้วในฟรอนต์ต่อไป (Next Front) โดยจะอ่านข้อมูลจาก Sequential Text File ที่ชื่อว่า "FRONT" เพื่อนำค่าตัวแปร MQ, NQ, M, N และแถวลำดับ MOC จากแผ่นจานแม่เหล็ก ซึ่งบันทึกไว้ในการทำงานของโปรแกรมย่อย FRONT มาใช้งานในโปรแกรมย่อย FRONTIQ นี้

ในโปรแกรมย่อย FRONTIQ นี้จะสร้างแถวลำดับขึ้นอีก 2 ตัว คือ AMOC และ BMOC โดย AMOC จะใช้เก็บหมายเลขขั้วในฟรอนต์ปัจจุบัน และ BMOC ใช้เก็บหมายเลขขั้วในฟรอนต์ต่อไป นอกจากนี้ยังกำหนดค่าตัวแปร MQ, NQ, M1, N1 และค่าตัวแปร MR, NR, M2, N2 โดยที่

MQ = ระดับขั้นความเสรีที่ถูกกำจัดออกในฟรอนต์ปัจจุบัน

NQ = ระดับขั้นความเสรีทั้งหมดในฟรอนต์ปัจจุบัน

M1 = จำนวนขั้วที่ถูกกำจัดออกในฟรอนต์ปัจจุบัน

N1 = จำนวนขั้วทั้งหมดในฟรอนท์ปัจจุบัน

MR = ระดับขั้นความเสรีที่ถูกกำจัดออกในฟรอนต์ต่อไป

NR = ระดับขั้นความเสรีทั้งหมดในฟรอนต์ต่อไป

M2 = จำนวนขั้วที่ถูกกำจัดออกในฟรอนต์ต่อไป

N2 = จำนวนขั้วทั้งหมดในฟรอนต์ต่อไป

สำหรับในตัวอย่างรูปที่ 3.2 พบว่า

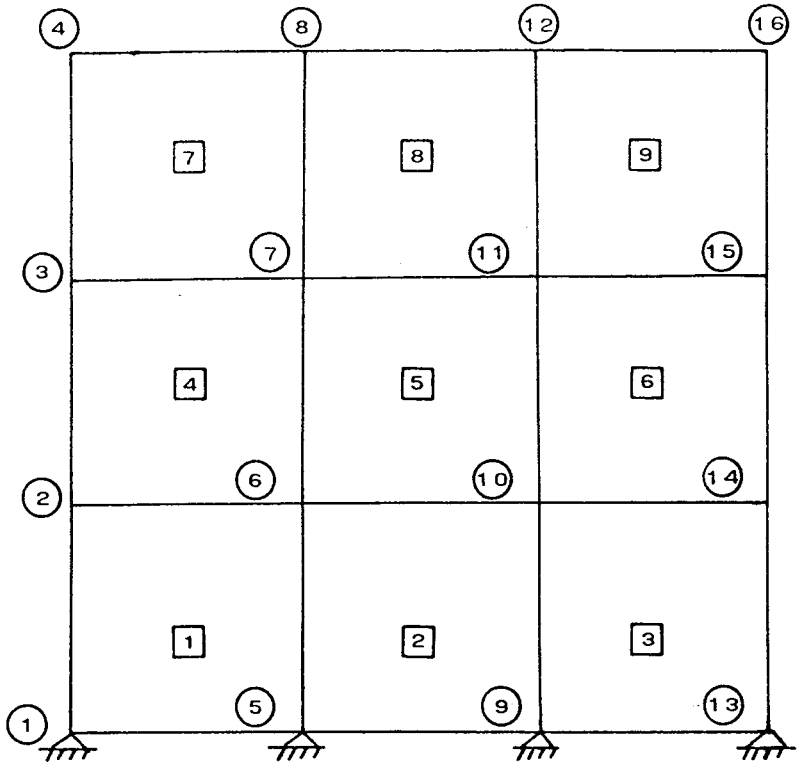
| ฟรอนต์ที่ | แถวลำดับ AMOC | แถวลำดับ AMOC | MQ | NQ | M1 | N1 | MR | NR | M2 | N2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | [1] , 3 | [2] 3,4 | 3 | 6 | 1 | 2 | 3 | 9 | 1 | 3 |
| 2 | [2] ,3,4 | [5] 3,4 | 3 | 9 | 1 | 3 | 3 | 9 | 1 | 3 |
| 3 | [5] ,3,4 | [3] , [4] | 3 | 0 | 1 | 3 | 6 | 6 | 2 | 2 |
| 4 | [3] , [4] | - | 6 | 6 | 2 | 2 | - | - | - | - |

โปรแกรมย่อย FRONTIQ จะเรียกโปรแกรมย่อยอีก 2 โปรแกรมคือ โปรแกรมย่อย GAPS และ EXPAND เพื่อทำงานในขั้นต่อไป

3.3.1.4 โปรแกรมย่อย GAPS

โปรแกรมย่อย GAPS จะทำหน้าที่เปรียบเทียบขั้วที่ไม่ได้ถูกกำจัดในฟรอนต์ปัจจุบันกับขั้วที่ไม่ได้ถูกกำจัดในฟรอนต์ต่อไป เพื่อจัดตำแหน่งของขั้วที่ไม่ได้ถูกกำจัดใน 2 ฟรอนต์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกันมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาในการสลับตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรง (รายละเอียดอยู่ในโปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH) ในกรณีตัวอย่างรูปที่ 3.2 นี้พบว่า ตำแหน่งขั้วที่ไม่ได้ถูกกำจัดในฟรอนต์ปัจจุบันและในฟรอนต์ต่อไป ส่วนใหญ่จะอยู่ตรงกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการชี้ให้เห็นชัดเจนจะขอยกตัวอย่างในรูปที่ 3.15

ในรูปที่ 3.15 เป็นโครงสร้างซนิดไฟไนต์เอเลเมนต์ ซึ่งมีจำนวนขั้วเท่ากับ 4 ขั้วในหนึ่งชิ้นส่วน ระดับขั้นความเสรีของแต่ละขั้วเท่ากับ 2 และโครงสร้างดังกล่าวประกอบด้วย 9 ชิ้นส่วน สำหรับในกรณีนี้ก่อนถึงโปรแกรมย่อย GAPS จะพบว่า




รูปที่ 3.15 โครงสร้างไฟไนต์ เอ เล เมนต์

| ฟรอนต์ที่ | MQ | MQ | M1 | N1 | AMOC |
|---|---|---|---|---|---|
| | MR | NR | M2 | N2 | BMOC |
| 1 | 2 | 8 | 1 | 4 | [1] 2 5 6 |
| | 2 | 10 | 1 | 5 | [2] 3 5 6 7 |
| 2 | 2 | 10 | 1 | 5 | [2] 3 5 6 7 |
| | 4 | 12 | 2 | 6 | [3] [4] 5 6 7 8 |
| 3 | 4 | 12 | 2 | 6 | [3] [4] 5 6 7 8 |
| | 2 | 12 | 1 | 6 | [5] 6 7 8 9 19 |
| 4 | 2 | 12 | 1 | 6 | [5] 6 7 8 9 10 |
| | 2 | 12 | 1 | 6 | [6] 7 8 9 10 11 |
| 5 | 2 | 12 | 1 | 6 | [6] 7 8 9 10 11 |
| | 4 | 12 | 2 | 6 | [7] [8] 9 10 11 12 |
| 6 | 4 | 12 | 2 | 6 | [7] [8] 9 10 11 12 |
| | 4 | 12 | 2 | 6 | [9] [13] 10 11 12 14 |
| 7 | 4 | 12 | 2 | 6 | [9] [13] 10 11 12 14 |
| | 4 | 10 | 2 | 5 | [10] [14] 11 12 15 |
| 8 | 4 | 10 | 2 | 5 | [10] [14] 11 12 15 |
| | 8 | 8 | 4 | 4 | [11] [12] [15] [16] |
| 9 | 8 | 8 | 4 | 4 | [11] [12] [15] [16] |
| | - | - | - | - | [11] [12] [15] [16] |

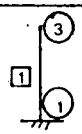
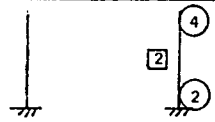
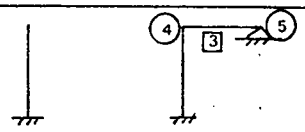
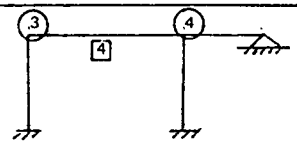
จะเห็นว่า ในฟรอนต์ที่ 3, 4, 5, 6 และ 7 นั้น ขั้วที่ไม่ได้ถูกกำจัดในฟรอนต์ปัจจุบันและฟรอนต์ต่อไป มีตำแหน่งไม่ตรงกัน ดังนั้นโปรแกรมย่อย GAPS จะจัดตำแหน่งใน AMOC และ BMOC เสียใหม่ดังนี้

| ฟรอนต์ที่ | MQ | NQ | M1 | N1 | AMOC |
|---|---|---|---|---|---|
| | MR | NR | M2 | N2 | BMOC |
| 1 | 2 | 8 | 1 | 4 | [1] 2 5 6 |
| | 2 | 10 | 1 | 5 | [2] 3 5 6 7 |
| 2 | 2 | 10 | 1 | 5 | [2] 3 5 6 7 |
| | 4 | 12 | 2 | 6 | [3] [4] 5 6 7 8 |
| 3 | 4 | 12 | 2 | 6 | [3] [4] 5 6 7 8 |
| | 2 | 12 | 1 | 6 | [5] 9 10 6 7 8 |
| 4 | 2 | 12 | 1 | 6 | [5] 9 10 6 7 8 |
| | 2 | 12 | 1 | 6 | [6] 9 10 11 7 8 |
| 5 | 2 | 12 | 1 | 6 | [6] 9 10 11 7 8 |
| | 4 | 12 | 2 | 6 | [7] [8] 10 11 9 12 |
| 6 | 4 | 12 | 2 | 6 | [7] [8] 10 11 9 12 |
| | 4 | 12 | 2 | 6 | [9] [13] 10 11 14 12 |
| 7 | 4 | 12 | 2 | 6 | [9] [13] 10 11 14 12 |
| | 4 | 10 | 2 | 5 | [10] [14] 12 11 15 |
| 9 | 4 | 10 | 2 | 5 | [10] [14] 12 11 15 |
| | 8 | 8 | 4 | 4 | [11] [12] [15] [16] |
| 9 | 8 | 8 | 4 | 4 | [11] [12] [15] [16] |
| | - | - | - | - | [11] [12] [15] [16] |

### 3.3.1.5 โปรแกรมย่อย EXPAND

เมื่อโปรแกรมย่อย GAPS จัดตำแหน่งของขั้วที่ไม่ได้ถูกกำจัดในฟรอนต์ปัจจุบันและในฟรอนต์ต่อไปแล้ว โปรแกรมย่อย FRONTIQ จะเรียกโปรแกรมย่อย EXPAND ทำงานในขั้นต่อไป หน้าที่หลักของโปรแกรมย่อย EXPAND มีอยู่ 2 ประการคือ

ประการที่ 1 ทำหน้าที่พิจารณาข้อของชิ้นส่วนที่จะเข้ามาอยู่ในฟรอนต์ปัจจุบันว่ามีระดับขั้นความเสรีที่เท่าใด ในการนี้จะทำได้โดยการสร้างแถวลำดับ LE สำหรับในตัวอย่างรูปที่ 3.2 พบว่า

| ฟรอนต์ที่ | | หมายเลขข้อที่เข้ามาในฟรอนต์ ระดับขั้นความเสรีของข้อ | | รูปประกอบ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | 1 | 2 |  |
| | LE | ① ② ③ | ④ ⑤ ⑥ | |
| 2 | | 2 | 4 |  |
| | LE | ① ② ③ | ⑦ ⑧ ⑨ | |
| 3 | | 4 | 5 |  |
| | LE | ⑦ ⑧ ⑨ | ① ② ③ | |
| 4 | | 3 | 4 |  |
| | LE | ① ② ③ | ④ ⑤ ⑥ | |

จากตารางข้างต้นอธิบายได้ว่า

ในฟรอนต์ที่ 1 ข้อที่เข้ามาในฟรอนต์คือข้อหมายเลข 1 และ 3 ซึ่งระดับขั้นความเสรีของข้อหมายเลข 1 เท่ากับ 1, 2, 3 และระดับขั้นความเสรีของข้อหมายเลข 3 เท่ากับ 4, 5, 6 ตามลำดับ

ในฟรอนต์ที่ 2-4 จะมีลักษณะเดียวกันกับฟรอนต์ที่ 1 กล่าวคือ จะบอกหมายเลขข้อและระดับขั้นความเสรีของข้อที่เข้ามาอยู่ในฟรอนต์

ประการที่ 2 ทำหน้าที่พิจารณาว่าข้อที่ไม่ได้ถูกกำจัดในฟรอนต์ปัจจุบันนั้น ในฟรอนต์ต่อไปจะมีระดับขั้นความเสรีใดบ้าง ซึ่งในกรณีนี้จะทำได้โดยการสร้างแถวลำดับ LF สำหรับข้อที่ถูกกำจัดออกในฟรอนต์ปัจจุบัน ค่าแถวลำดับ LF จะเท่ากับศูนย์ พิจารณาตัวอย่างรูปที่ 3.2 จะได้ว่า

| ฟรอนต์ที่ | หมายเลขขั้ว แถวลำดับ LF | AMOC | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | 1 | 3 | |
| | LF | ⓪⓪⓪ | ④⑤⑥ | |
| 2 | | 2 | 3 | 4 |
| | LF | ⓪⓪⓪ | ④⑤⑥ | ⑦⑧⑨ |
| 3 | | 5 | 3 | 4 |
| | LF | ⓪⓪⓪ | ①②③ | ④⑤⑥ |
| 4 | | 3 | 4 | |
| | LF | ⓪⓪⓪ | ⓪⓪⓪ | |

จากตารางข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

ในฟรอนต์ที่ 1 ขั้วที่ปรากฏในฟรอนต์มีขั้วหมายเลข 1 และ 3 ซึ่งขั้วหมายเลข 1 ถูกกำจัดออกในฟรอนต์นี้ (LF = 0, 0, 0) ขั้วหมายเลข 3 นั้นระดับขั้นความเสรีในฟรอนต์ต่อไปเท่ากับ 4, 5, 6

ในฟรอนต์ที่ 2-4 มีลักษณะทำนองเดียวกันกับในฟรอนต์ที่ 1 ค่าตัวแปร MQ, KQ (KQ=MQ+1), NQ, NR, KS (KS= ระดับขั้นความเสรีทั้งหมดใน 1 ชิ้นส่วน ในกรณีนี้เท่ากับ 6) และแถวลำดับ LE กับ LF จะถูกบันทึกลงในแผ่นจานแม่เหล็ก ในลักษณะ Random-Access Test File ใช้ชื่อ "FRONTIQ" ดังแสดงในรูปที่ 3.16 เพื่อเก็บข้อมูลไว้ใช้ในโปรแกรม FRONTST ต่อไป

### 3.3.2 โปรแกรม FRONTST

โปรแกรม FRONTST ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยดังนี้

- FORMNO
- SEMBLE
- REDUCE

①

| MQ | KQ | NQ | NR | KS | LE(1) | LE(2) | LE(3) | LE(4) | LE(5) | LE(6) | LF(1) | LF(2) | LF(3) | LF(4) | LF(5) | LF(6) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 4 | 6 | 9 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 6 |

ฟรอนต์ที่ 2 (การบันทึกครั้งที่ 2)

②

| MQ | KQ | NQ | NR | KS | LE(1) | LE(2) | LE(3) | LE(4) | LE(5) | LE(6) | LF(1) | LF(2) | LF(3) | LF(4) | LF(5) | LF(6) | LF(7) | LF(8) | LF(9) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 4 | 9 | 9 | 6 | 1 | 2 | 3 | 7 | 8 | 9 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

ฟรอนต์ที่ 3 (การบันทึกครั้งที่ 3)

③

| MQ | KQ | NQ | NR | KS | LE(1) | LE(2) | LE(3) | LE(4) | LE(5) | LE(6) | LF(1) | LF(2) | LF(3) | LF(4) | LF(5) | LF(6) | LF(7) | LF(8) | LF(9) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 4 | 9 | 6 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

ฟรอนต์ที่ 4 (การบันทึกครั้งที่ 4)

④

| MQ | KQ | NQ | NR | KS | LE(1) | LE(2) | LE(3) | LE(4) | LE(5) | LE(6) | LF(1) | LF(2) | LF(3) | LF(4) | LF(5) | LF(6) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 7 | 6 | 0 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**รูปที่ 3.16** การบันทึกข้อมูลในลักษณะของ Random Access Text File ชื่อ "FRONTIQ"

- ZERO
- SETCORE
- SCRMBLE
- SWITCH

โปรแกรม FRONTST เป็นโปรแกรมสำคัญในวิธีฟรอนทัล เนื่องจากทำหน้าที่ในการรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรง (โปรแกรมย่อย SEMBLE) การจัดหมายเลขของสัมประสิทธิ์สติฟเนสในแนวทะแยงในแต่ละฟรอนต์(โปรแกรมย่อย FORMNO) การกำจัดด้วยวิธีการของเกาซ์ (โปรแกรมย่อย REDUCE) การบันทึกค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงของขั้วที่ผ่านการกำจัดแล้วลงในแผ่นจานแม่เหล็ก ตลอดจนการจัดอันดับของระดับขั้นความเสรีใหม่สำหรับการรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ต่อไป (โปรแกรมย่อย SETCORE, SCRMBLE และ SWITCH) ในการนี้จะอ่านค่าตัวแปร MQ, KQ, NQ, NR, KS และแถวลำดับ LE กับ LF ที่บันทึกไว้ในแผ่นจานแม่เหล็กมาใช้งาน

3.3.2.1 โปรแกรมย่อย FORMNO

ในวิธีการฟรอนทัลนี้ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงของทุกชิ้นส่วนในระบบพิกัดโครงสร้างจะต้องหาไว้ก่อนแล้วบันทึกลงแผ่นจานแม่เหล็กเพื่อรอการเรียกในการนำไปใช้งาน (ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงเหล่านี้ต้องผ่านการแก้ไขสภาพจุดที่รองรับให้สอดคล้องกับสภาพเงื่อนไขที่จุดรองรับตามหัวข้อที่ 2.5 เสียก่อน) หรืออาจจะหาค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในโปรแกรม FRONTST ก็ได้ ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงเหล่านี้จะเก็บอยู่ในลักษณะแถวลำดับ 1 มิติ (One Dimensional Array)

ในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์ในแต่ละฟรอนต์ก็เก็บอยู่ในลักษณะของแถวลำดับ 1 มิติ เช่นกัน ดังนั้นเวลานำสัมประสิทธิ์สติฟเนสมารวมกันในแต่ละฟรอนต์ก็ดี หรือเวลาทำการกำจัดของเกาซ์ก็ดี จำเป็นต้องใช้ดัชนีบอกตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเหล่านั้นในโปรแกรมจะกำหนดเอาค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสที่อยู่ในแถวทะแยงมุมเป็นหลักและเนื่องจากเมตริกซ์มีลักษณะสมมาตร ดังนั้นจะใช้เพียงส่วนอยู่เหนือแนวทะแยงมุมเท่านั้น(Upper Triangular) ค่าดัชนีเหล่านี้ถ้าระดับขั้นความเสรีของทั้งฟรอนต์(NQ) เท่ากับ 6 จะมีค่าดังนี้ 1, 7, 12, 16, 19

และ 21 ส่วนค่าดัชนีบอกตำแหน่งของเวกเตอร์ของแรงจะเท่ากับ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.17

ถ้าระดับขั้นความเสรีของทั้งฟรอนเท่ากับ 9 ค่าดัชนีเหล่านี้จะเท่ากับ 1, 10, 18, 25, 31, 36, 40, 43 และ 45

3.3.2.2 โปรแกรมย่อย SEMBLE, REDUCE, ZERO และ SETCORE

โปรแกรมย่อย SEMBLE จะอาศัยข้อมูลจากแถวลำดับ ซึ่งจะบอกระดับขั้นความเสรีของขั้วที่จะเข้ามาอยู่ในฟรอน ในกรณีตัวอย่างรูปที่ 3.2 จะพบว่า

ในฟรอนต์ที่ 1 ชิ้นส่วนหมายเลข 1 นี้ประกอบด้วยขั้วหมายเลข 1 และ 3 และจากค่าแถวลำดับ เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4, 5, 6 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงจะเข้าไปอยู่ที่ระดับขั้นความเสรีที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ของฟรอนต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.18

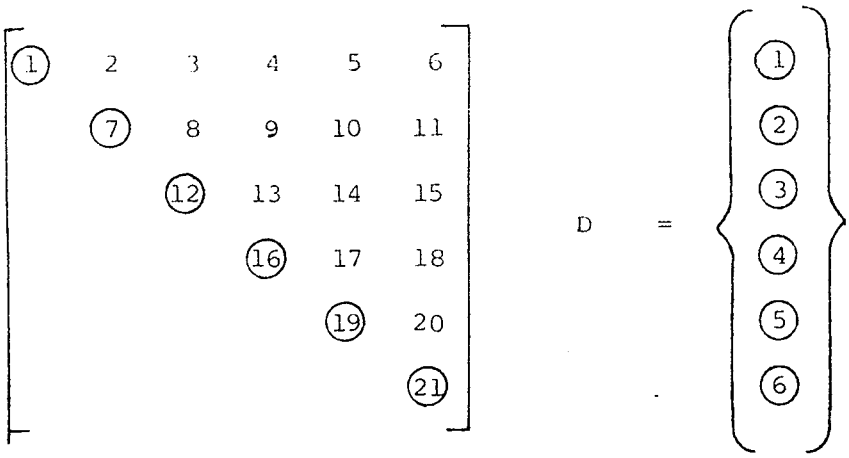
โปรแกรมย่อย REDUCE จะทำการกำจัดของเกาซ์สำหรับในฟรอนต์ที่ 1 นี้ ค่า MQ = 3 ซึ่งหมายถึงระดับขั้นความเสรีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 1, 2 และ 3

เมื่อผ่านการกำจัดของเกาซ์แล้วจะได้เมตริกซ์ดังแสดงในรูปที่ 3.19

จากนั้นจะเก็บข้อมูลอันได้แก่ จำนวนสัมประสิทธิ์สติฟเนสที่เก็บบันทึก, NE ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงที่เกี่ยวข้องกับระดับขั้นความเสรีที่ 1, 2 และ 3 ลงในแผ่นจานแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.20 (ส่วนที่เก็บคือส่วนที่แรเงา)

การเก็บข้อมูลข้างต้นจะเก็บในลักษณะ Random-Access Text File ใช้ชื่อ "FROST" และจะเรียกข้อมูลเพื่อใช้งานในโปรแกรม BACKSUB

สัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงที่ถูกบันทึกลงในแผ่นจานแม่เหล็กแล้ว จะถูกแทนค่าด้วยศูนย์เพื่อเตรียมไว้สำหรับสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ต่อไป โดยโปรแกรมย่อย ZERO จะได้เมตริกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.21 (ส่วนที่ถูกแทนค่าด้วยศูนย์คือส่วนที่แรเงา)

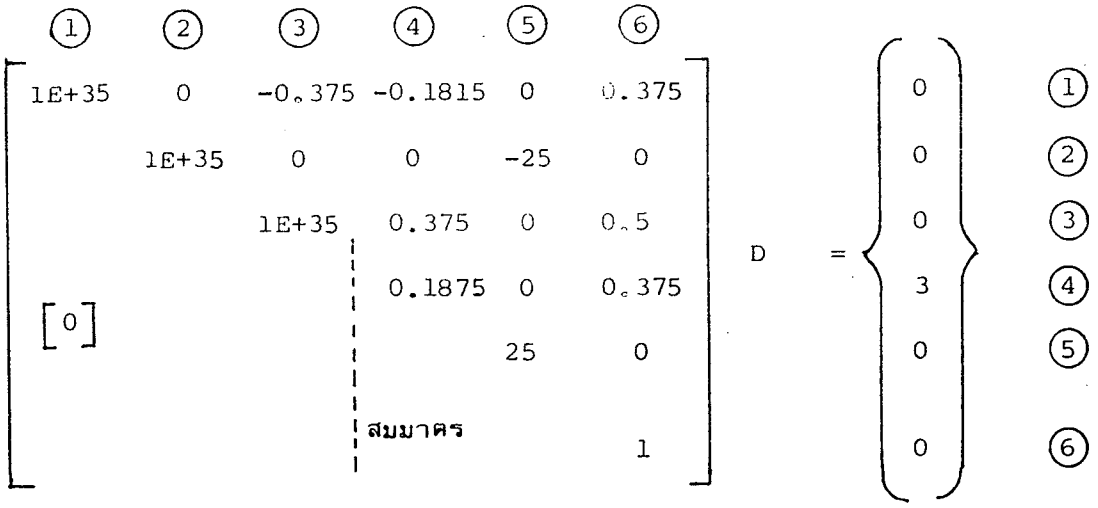



สติฟเนสเมตริกซ์ เวกเตอร์ของแรง

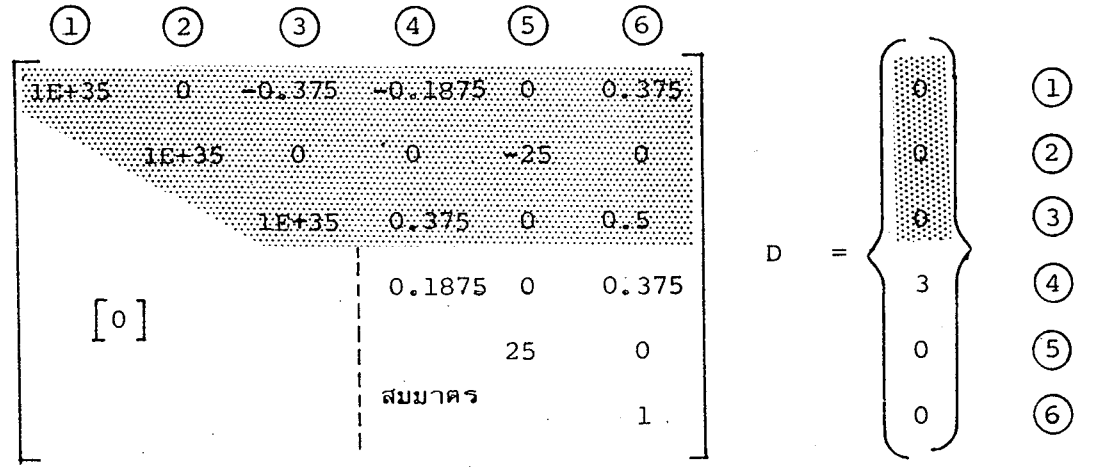
รูปที่ 3.17 ตำแหน่งในแนวเส้นทแยงมุมของสติฟเนสเมตริกซ์และตำแหน่งของเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1E+35 | 0 | -0.375 | -0.1875 | 0 | 0.375 | | 0 | ① |
| | 1E+35 | 0 | 0 | -25 | 0 | | 0 | ② |
| | | 1E+35 | 0.375 | 0 | 0.5 | | 0 | ③ |
| | | | 0.1875 | 0 | 0.375 | D = | 3 | ④ |
| | สมมาตร | | | 25 | 0 | | 0 | ⑤ |
| | | | | | 1 | | 0 | ⑥ |

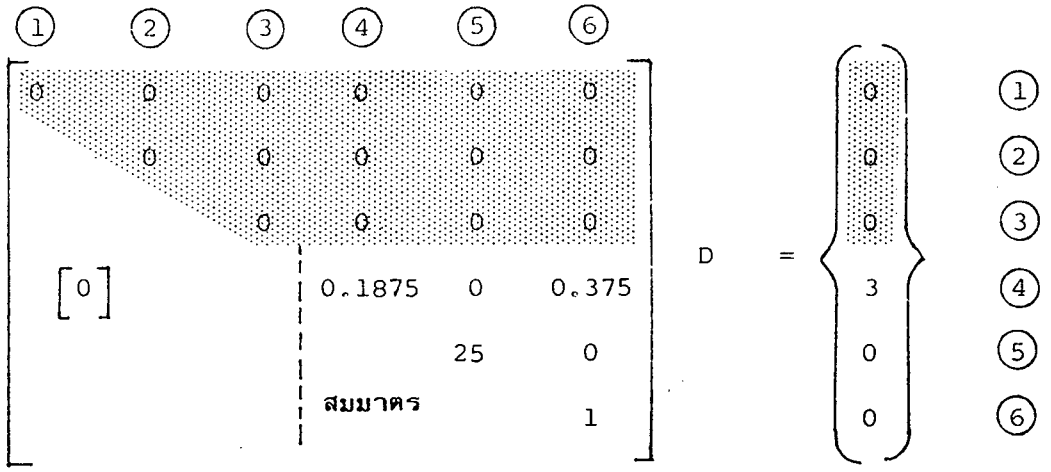
รูปที่ 3.18 การประกอบสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 1




รูปที่ 3.19 การกำจัดของเกาซ์ในฟรอนต์ที่ 1




รูปที่ 3.20 การเก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดในฟรอนต์ที่ 1 แล้ว




รูปที่ 3.21 การแทนค่าด้วยศูนย์ในฟรอนต์ที่ 1 (โปรแกรมย่อย ZERO) หลังจากเก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์แล้ว

สำหรับโปรแกรมย่อย SETCORE จะทำหน้าที่ในการเตรียมที่และตำแหน่งสำหรับการรวมสติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ต่อไปซึ่งเป็นไปได้ 3 กรณีด้วยกันคือ

กรณีที่ 1 ขนาดของฟรอนต์ต่อไปเล็กกว่าฟรอนต์ปัจจุบัน (IN<O, NR<NQ)

กรณีที่ 2 ขนาดของฟรอนต์ต่อไปเท่ากับฟรอนต์ปัจจุบัน (IN = 1, NR = NQ)

กรณีที่ 3 ขนาดของฟรอนต์ต่อไปใหญ่กว่าฟรอนต์ปัจจุบัน (IN<1, NR>NQ)

กรณีที่ 1 ขนาดของฟรอนต์ต่อไปเล็กกว่าฟรอนต์ปัจจุบัน

ในกรณีนี้ โปรแกรมย่อย SETCORE จะจัดตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสในฟรอนต์เสียใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากแถวลำดับ LF โดยใช้โปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH จากนั้นจะทำการลดขนาดของฟรอนต์ปัจจุบันลงให้เท่ากับขนาดของฟรอนต์ต่อไป และใช้โปรแกรมย่อย FORMNO ในการจัดอันดับสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงเสียใหม่

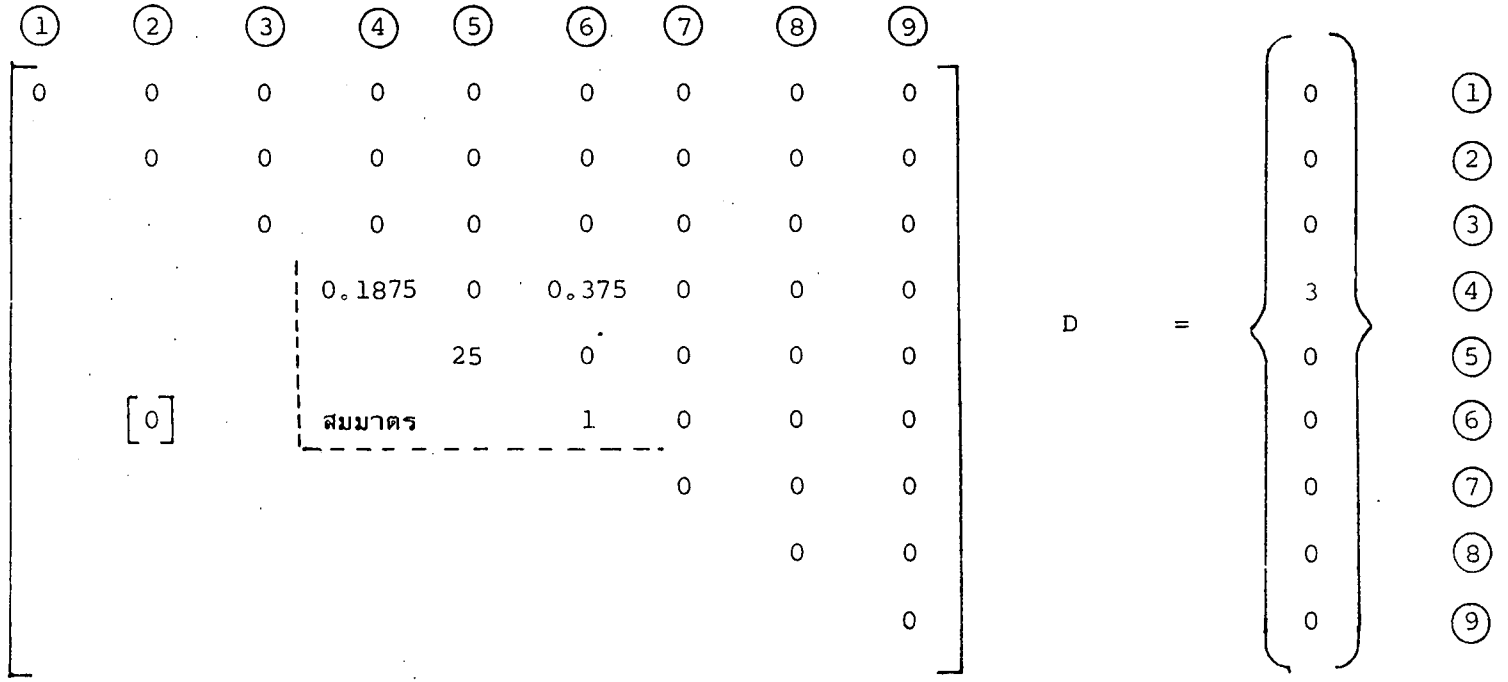
กรณีที่ 2 ขนาดของฟรอนต์ต่อไปเท่ากับฟรอนต์ปัจจุบัน

ในกรณีนี้ โปรแกรมย่อย SETCORE จะใช้โปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH ในการสลับตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากแถวลำดับ LF เพียงอย่างเดียว

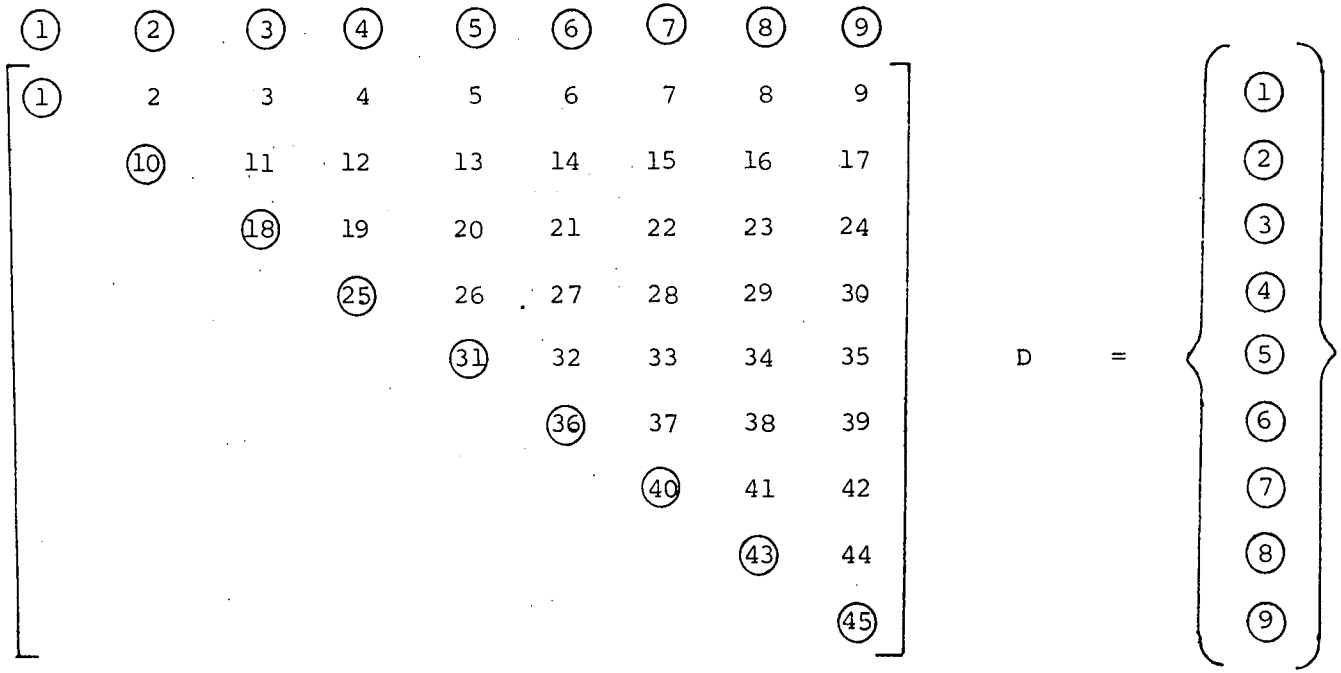
กรณีที่ 3 ขนาดของฟรอนต์ต่อไปใหญ่กว่าฟรอนต์ปัจจุบัน

ในกรณีนี้ โปรแกรมย่อย SETCORE จะขยายขนาดของฟรอนต์ปัจจุบันออกไปให้เท่ากับขนาดของฟรอนต์ต่อไป จากนั้นใช้โปรแกรมย่อย FORMNO จัดอันดับของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงเสียใหม่แล้วจึงใช้โปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH ในการจัดและสลับตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงให้เป็นไปตามข้อมูลของแถวลำดับ LF

สำหรับในฟรอนต์ที่ 1 นี้ปรากฏว่า ขนาดของฟรอนต์ต่อไปใหญกว่าขนาดของฟรอนต์ปัจจุบัน (ฟรอนต์ที่ 2 ระดับขั้นความเสรีของฟรอนต์เท่ากับ 9) ดังนั้นจะเป็นไปตามกรณีที่ 3 โดยขนาดของฟรอนต์จะขยายออกดังแสดงในรูปที่ 3.22 แล้วโปรแกรมย่อย FORMNO จะจัดอันดับของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.23 ต่อจากนั้นโปรแกรมย่อย SCRMBLE




รูปที่ 3.22 การขยายขนาดของฟรอนต์ที่ 1 จากระดับขั้นความเสรีของฟรอนต์เท่ากับ 6 เป็นระดับขั้นความเสรีของฟรอนต์เท่ากับ 9




รูปที่ 3.23 การจัดอันดับของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 1 ใหม่ โดยโปรแกรมย่อย FORMNO

และ SWITCH จะสลับตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงให้เป็นไปตามข้อมูลของแถวลำดับ LF ดังแสดงในรูปที่ 3.24 (สำหรับในฟรอนต์ที่ 1 นี้ แถวลำดับ LF ของขั้วที่เหลือในฟรอนต์เท่ากับ 4, 5 และ 6 ทำให้ไม่ต้องสลับตำแหน่ง เพราะจากการขยายฟรอนต์พบว่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสที่เหลือจากการกำจัดอยู่ในระดับขั้นความเสรีที่ 4, 5 และ 6 อยู่แล้ว) ถึงขั้นตอนนี้จะเป็นการสิ้นสุดในฟรอนต์ที่ 1

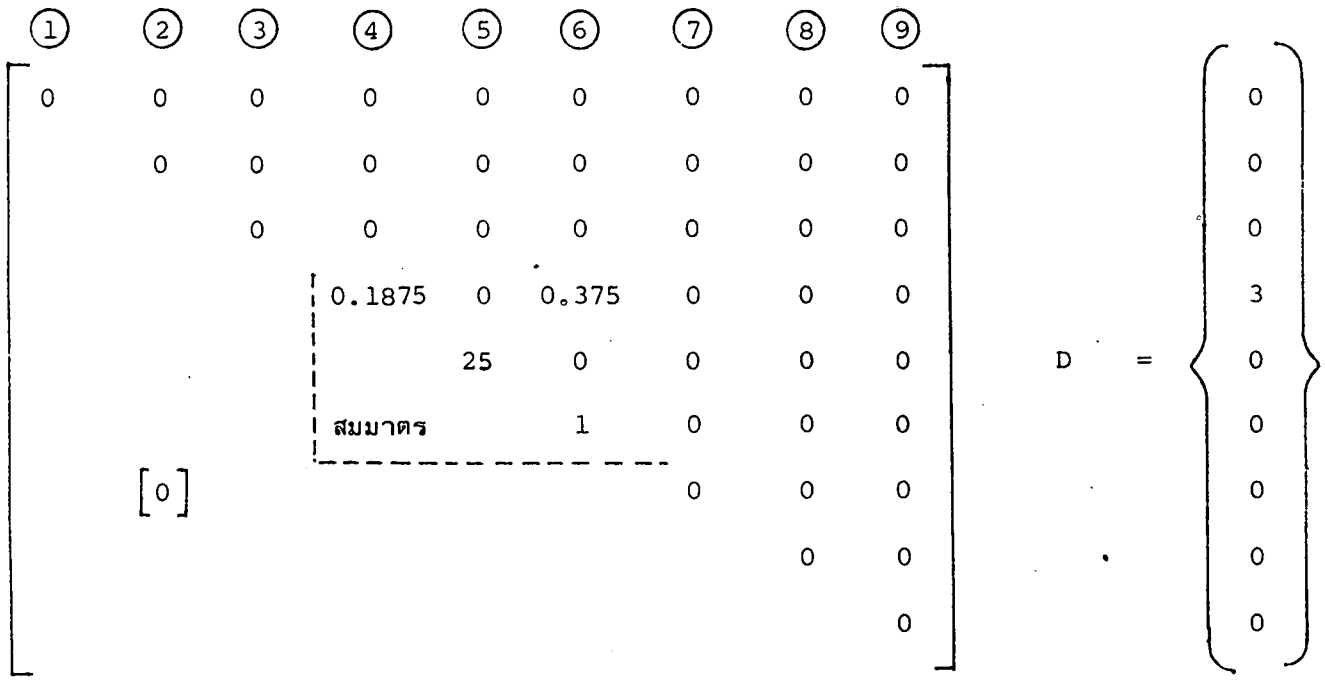
ในฟรอนต์ที่ 2 ชิ้นส่วนของฟรอนต์นี้คือชิ้นส่วนหมายเลข 2 ซึ่งประกอบด้วยขั้วหมายเลข 2 และ 4 จากค่าแถวลำดับ LF เท่ากับ 1, 2, 3 และ 7, 8, 9 ทำให้ทราบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสของชิ้นส่วนจะเข้าไปอยู่ที่ระดับขั้นความเสรีที่ 1, 2, 3 และ 7, 8, 9 ตามลำดับ ทำนองเดียวกันกับเวกเตอร์ของแรง ดังแสดงในรูปที่ 3.25

จากนั้นการทำการกำจัดเกาซ์และการบันทึกค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดแล้วจะมีลักษณะทำนองเดียวกันกับในฟรอนต์ที่ 1 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3.26-3.28

ในฟรอนต์ที่ 2 นี้ ปรากฏว่าขนาดของฟรอนต์ต่อไปเท่ากับขนาดของฟรอนต์ปัจจุบัน ดังนั้นจะเป็นไปตามกรณีที่ 2 โดยโปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH จะสลับตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากแถวลำดับ LF ดังแสดงในรูปที่ 3.29 (สำหรับในฟรอนต์ที่ 2 นี้ก็เช่นเดียวกันกับในฟรอนต์ที่ 1 คือ แถวลำดับ LF ของขั้วที่เหลือในฟรอนต์เท่ากับ 4, 5, 6 และ 7, 8, 9 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ไม่ต้องสลับตำแหน่ง เพราะสัมประสิทธิ์สติฟเนสที่เหลือจากการกำจัดต่างก็อยู่ในระดับขั้นความเสรีที่ 4, 5, 6 และ 7, 8, 9 อยู่แล้ว)

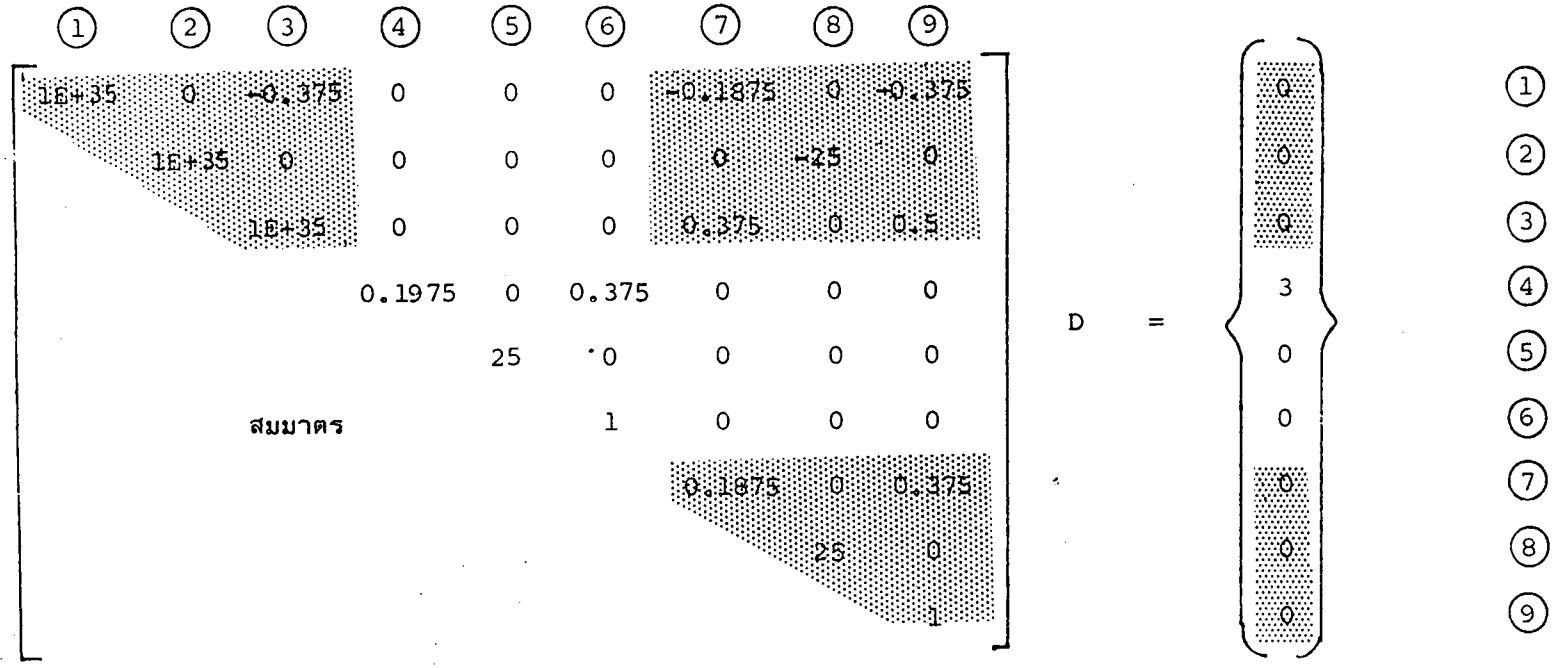
ในฟรอนต์ที่ 3 ลักษณะการทำงานตั้งแต่การรวมสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรง การกำจัดของเกาซ์และการบันทึกข้อมูลที่ผ่านการกำจัดแล้ว จะมีลักษณะทำนองเดียวกันกับในฟรอนต์ที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.30-3.33

ในส่วนการทำงานของโปรแกรมย่อย SETCORE จะพบว่า ขนาดของฟรอนต์ต่อไปเล็กกว่าขนาดของฟรอนต์ปัจจุบัน เพราะฉะนั้นจะเป็นไปตามกรณีที่ 1 คือ ใช้โปรแกรม SCRMBLE และ SWITCH จัดตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงเสียใหม่ เพื่อให้สอดคล้อง

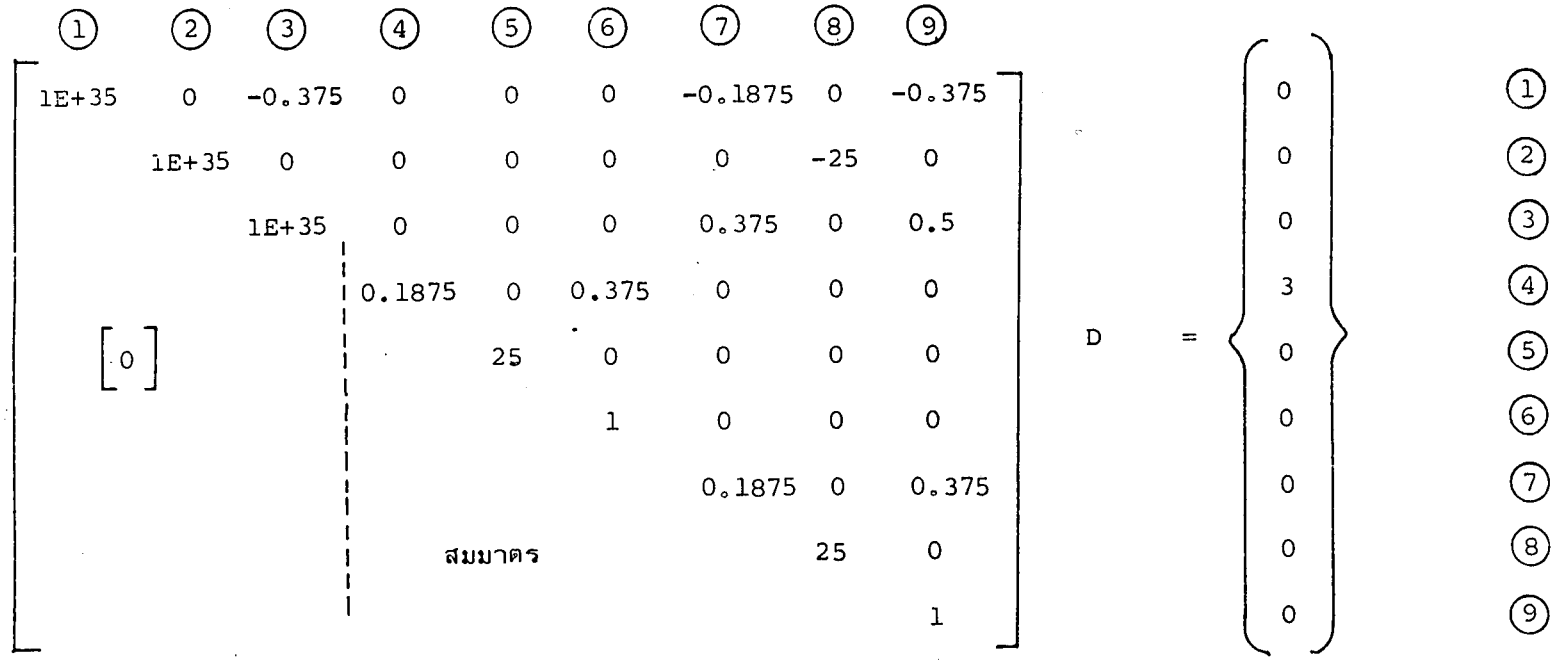



รูปที่ 3.24 การสลับตำแหน่งสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 1โดยโปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH

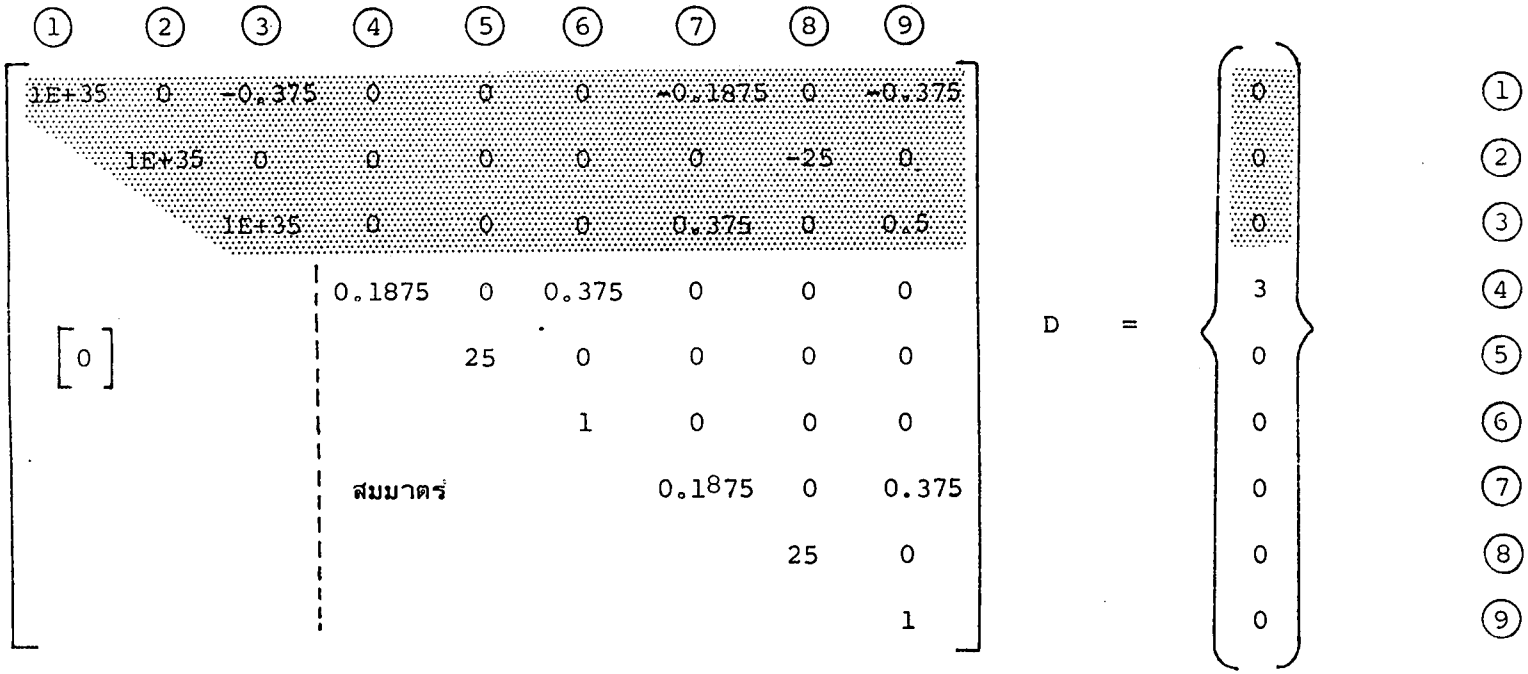
(ในฟรอนต์ที่ 1 นี้ ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงจากการขยายฟรอนต์อยู่ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการแล้ว)



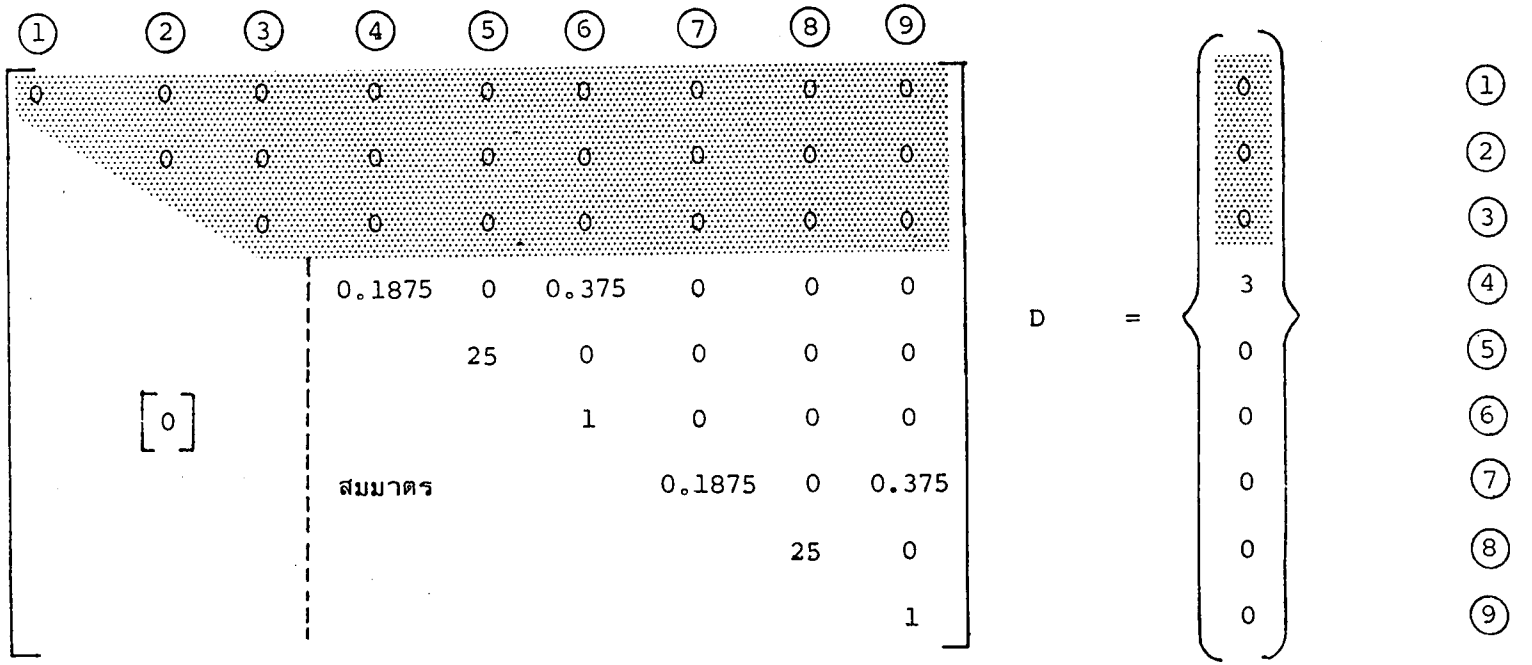

รูปที่ 3.25 การประกอบสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 2(สัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงส่วนที่เข้ามาใหม่ คือ ส่วนที่แรเงา)



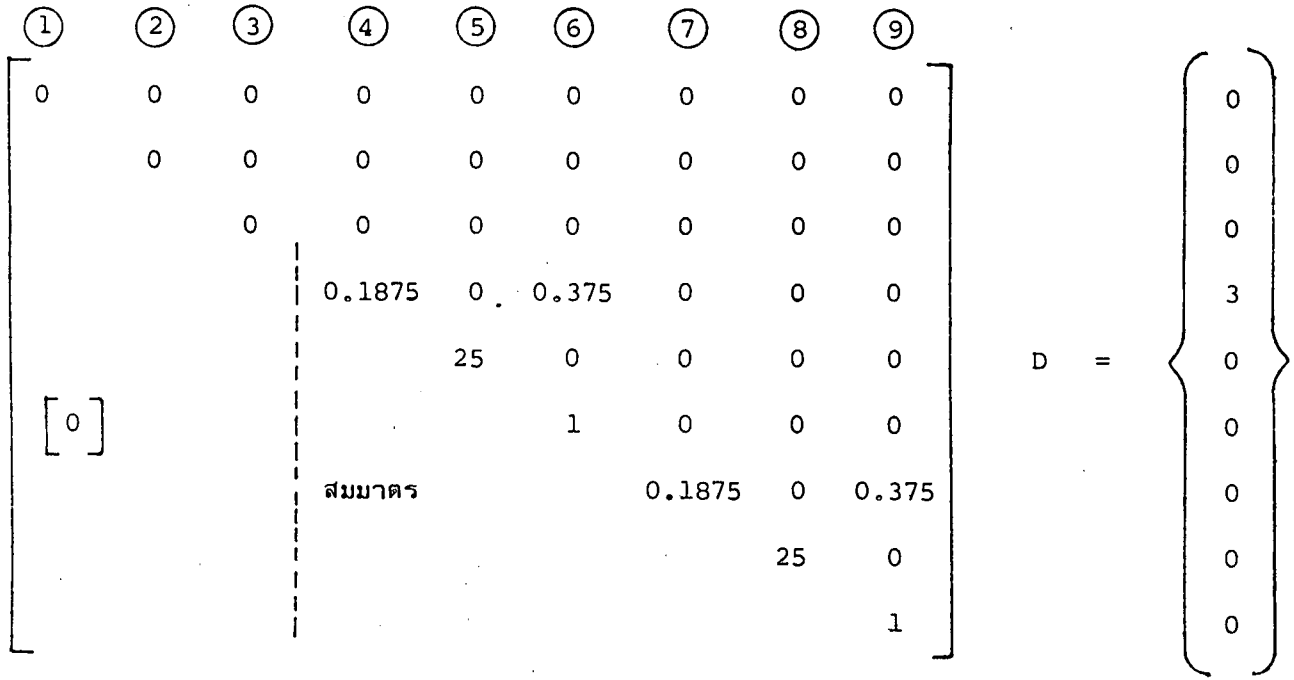

รูปที่ 3.26 การกำจัดของเกาซ์ในฟรอนต์ที่ 2



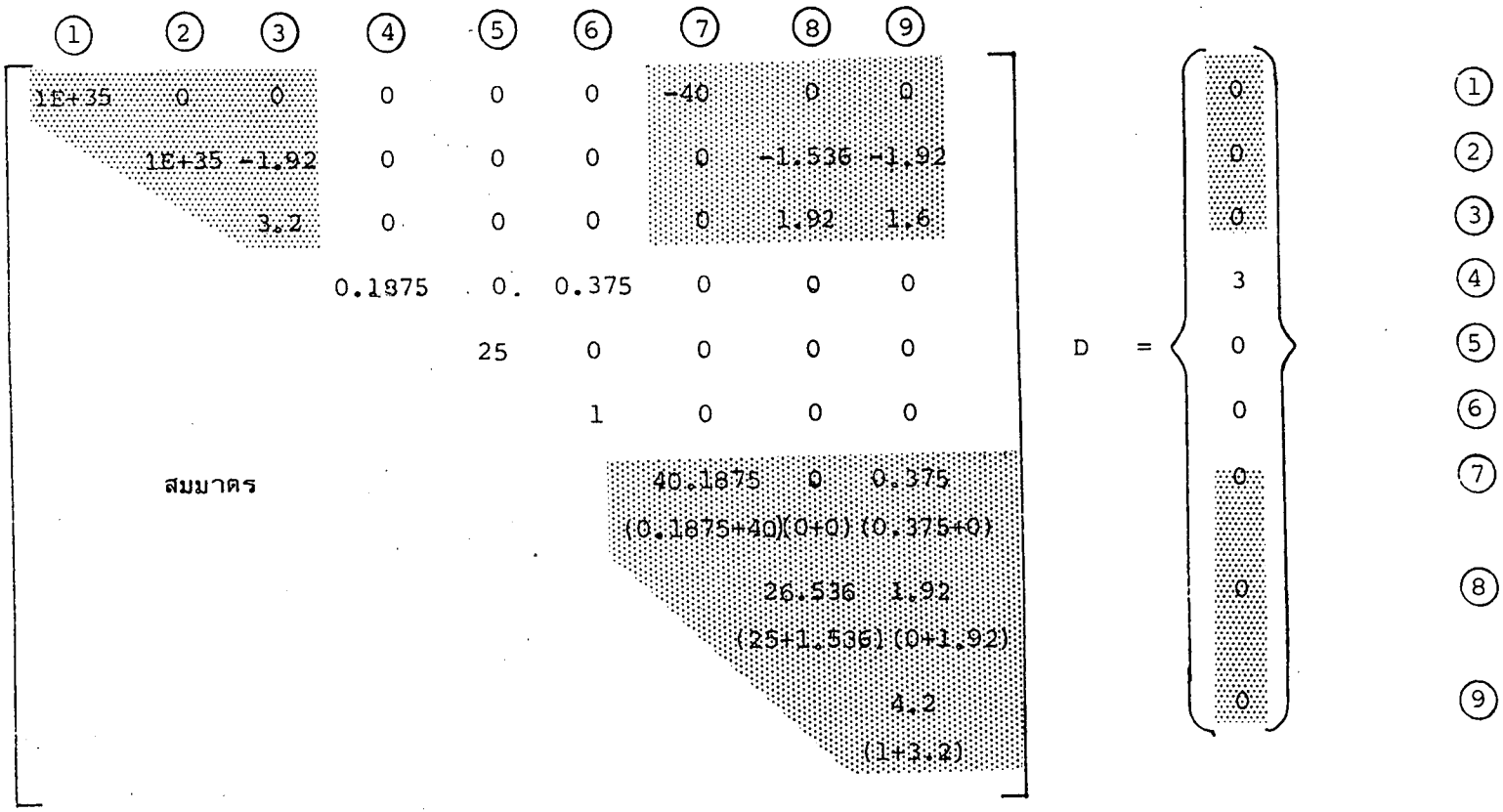

รูปที่ 3.27 การเก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดในฟรอนต์ที่ 2 แล้ว (ส่วนที่เก็บคือส่วนที่แรเงา)



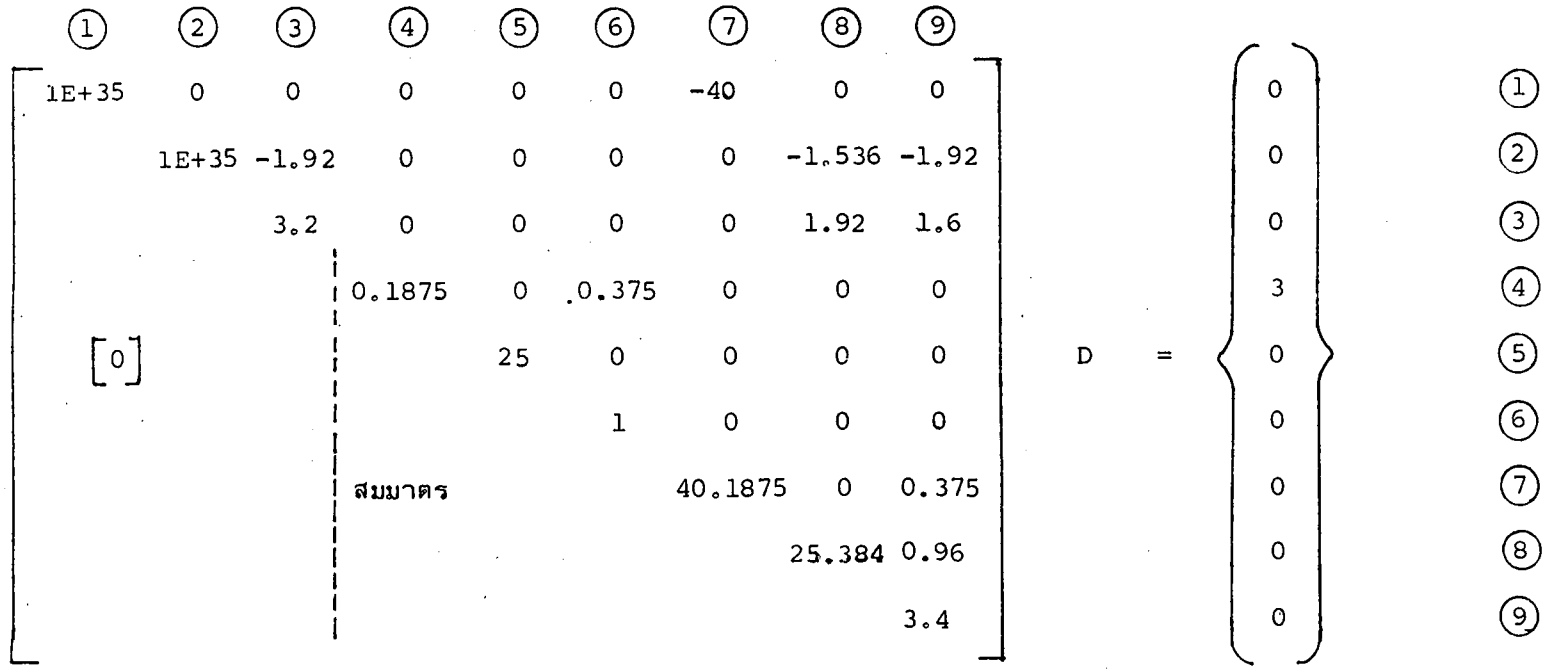

รูปที่ 3.28 การแทนค่าด้วยศูนย์ในฟรอนต์ที่ 2 (โปรแกรมย่อย ZERO) หลังจากเก็บข้อมูลสัมประสิทธ์สติฟเนสเมตริกซ์แล้ว ส่วนที่ถูกแทนค่าด้วยศูนย์คือส่วนที่แรเงา



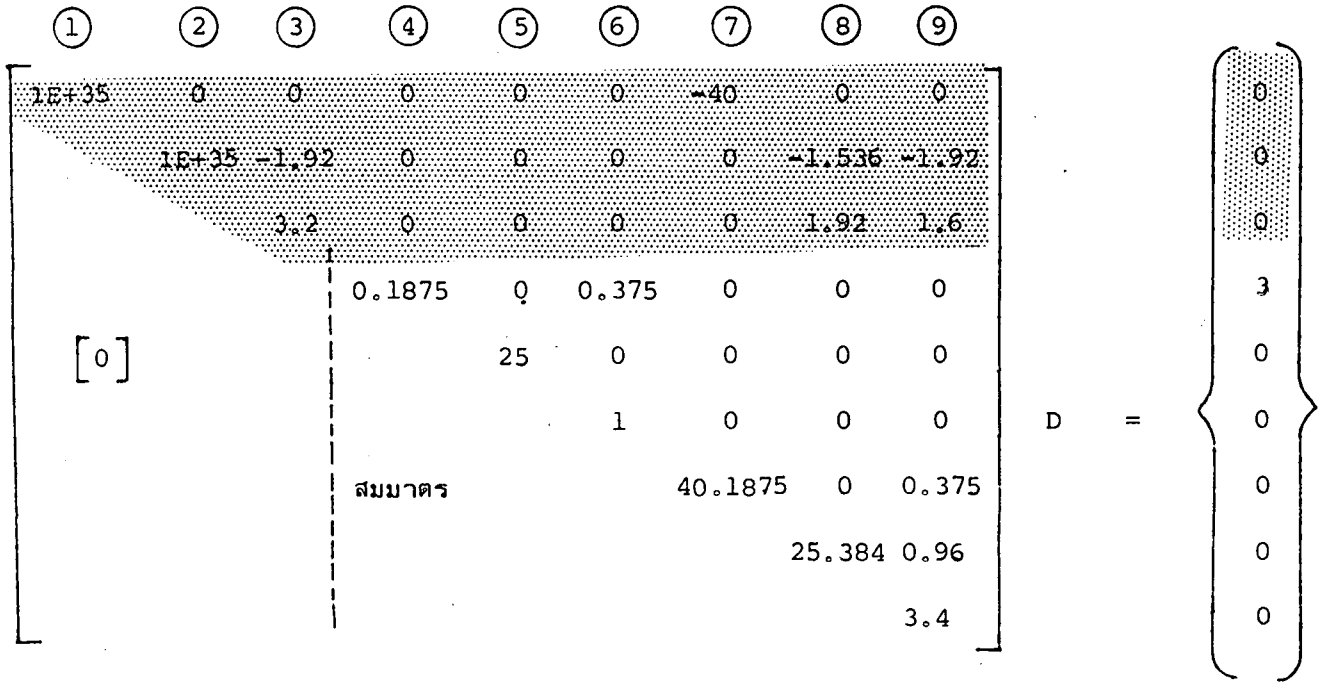

รูปที่ 3.29 การสลับตำแหน่งสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 2 โดยโปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH (ในฟรอนต์ที่ 2 นี้ ตำแหน่งของสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงที่เหลือในฟรอนต์อยู่ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการแล้ว



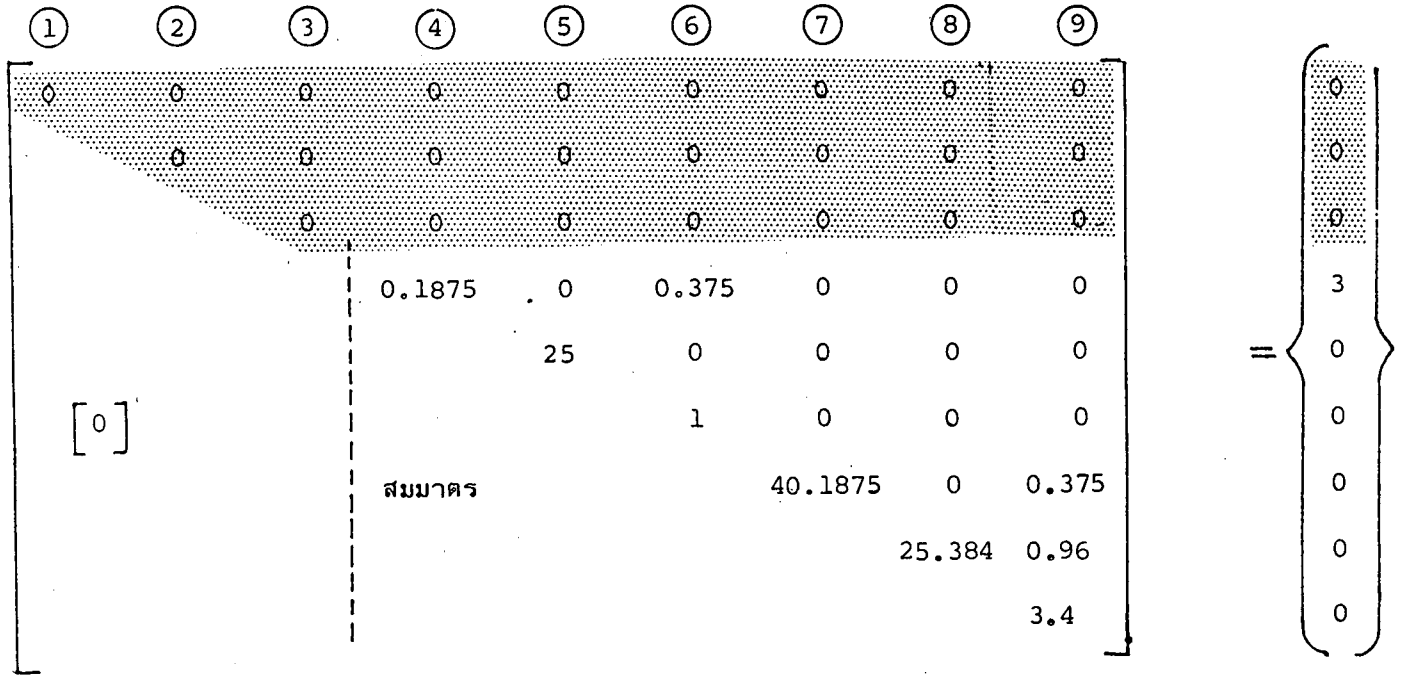

รูปที่ 3.30 การประกอบสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 3 (สัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงส่วนที่เข้ามาใหม่คือส่วนที่แรเงา)




รูปที่ 3.31 การกำจัดของเกาซ์ในฟรอนต์ที่ 3




รูปที่ 3.32 การเก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์สติฟเสนเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์ในฟรอนต์ที่ 3 แล้ว (ส่วนที่เก็บคือส่วนที่แรเงา)




รูปที่ 3.33 การแทนค่าด้วยศูนย์ในฟรอนต์ที่ 3(โปรแกรมย่อย ZERO) หลังจากเก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์แล้ว ส่วนที่ถูกแทนค่าด้วยศูนย์คือส่วนที่แรเงา)

กับข้อมูลที่ได้จากแถวลำดับ LF ดังแสดงในรูปที่ 3.34 จากนั้นจะลดขนาดของฟรอนต์ลงดังแสดงในรูปที่ 3.35 และใช้โปรแกรมย่อย FORMNO ในการจัดอันดับสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงเสียใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.36

ในฟรอนต์ที่ 4 (ฟรอนต์สุดท้าย) การทำงานในส่วนต้นจะเหมือนในฟรอนต์อื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.37-3.39 แต่ในส่วนของโปรแกรม ZERO และ SETCORE ไม่ต้องทำเนื่องจากเป็นฟรอนต์สุดท้าย

### 3.3.3 โปรแกรม BACKSUB

ในขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม FRONTST จะได้สัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้างซึ่งผ่านการกำจัดของเกาซ์มาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การแทนค่าย้อนกลับเพื่อให้ได้คำตอบของสมการสมดุลย์ ซึ่งในที่นี้คือ ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วของโครงสร้าง โปรแกรม BACKSUB และโปรแกรมย่อย BPASS จะทำหน้าที่ในการแทนค่าย้อนกลับ ในกรณีตัวอย่างรูปที่ 3.2 จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ฟรอนต์ที่ 1 โปรแกรมจะอ่านค่าข้อมูลจากแฟ้ม "FRONTIQ" แบบย้อนกลับ (อ่านข้อมูลที่บันทึกครั้งสุดท้ายย้อนกลับมาหาการบันทึกครั้งแรก) เพื่อนำค่าตัวแปร MQ, KQ, NR, KS และแถวลำดับ LE กับ LF มาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.40 จากนั้นจะอ่านข้อมูลจากแฟ้ม "FROST" แบบย้อนกลับ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.41

เมื่อแทนค่าย้อนกลับจะได้ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วดังนี้

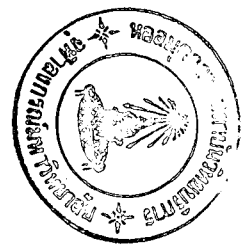
$$D(6) = \frac{X(6)}{A(21)} = \frac{1.6733}{4.7316} = 0.3536$$

$$D(5) = \frac{X(5)-D(6)A(20)}{A(19)} = \frac{-1.2502-(0.3536)(0.6290)}{25.4866} = -0.578$$

$$D(4) = \frac{X(4)-D(5)A(17)-D(6)A(18)}{A(16)}$$

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.1875 | 0 | 0.375 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (25) | (26) | (27) | (28) | (29) | (30) | (4) | (12) | (19) |
| | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | (31) | (32) | (33) | (34) | (35) | (5) | (13) | (20) |
| | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | (36) | (37) | (38) | (39) | (6) | (14) | (21) |
| | สมมาตร | | 40.1875 | 0 | 0.375 | 0 | 0 | 0 |
| | | | (40) | (41) | (42) | (7) | (15) | (22) |
| | | | | 25.384 | 0.96 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | (43) | (44) | (8) | (16) | (23) |
| | | | | | 3.4 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | (45) | (9) | (17) | (24) |
| | | | | | | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | (1) | (2) | (3) |
| | [0] | | | | | | 0 | 0 |
| | | | | | | [0] | (10) | (11) |
| | | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | | (18) |

$$D = \begin{Bmatrix} 3 \\ (4) \\ 0 \\ (5) \\ 0 \\ (6) \\ 00 \\ (7) \\ 0 \\ (8) \\ 0 \\ (9) \\ 0 \\ (1) \\ 0 \\ (2) \\ 0 \\ (3) \end{Bmatrix}$$



รูปที่ 3.34 การสลับตำแหน่งสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 3โดยโปรแกรมย่อย SCRMBLE และ SWITCH ตำแหน่งในวงเล็บคือตำแหน่งเดิมก่อนการสลับ (ดูการจัดตำแหน่งด้วยโปรแกรมย่อย FORMNO ในรูปที่ 3.23 ประกอบ)

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.1875 | 0 | 0.375 | 0 | 0 | 0 |
| | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | สมมาตร | | 40.1875 | 0 | 0.375 |
| | | | | 25.384 | 0.96 |
| | | | | | 3.4 |

$$D = \begin{Bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \begin{matrix} ① \\ ② \\ ③ \\ ④ \\ ⑤ \\ ⑥ \end{matrix}$$

รูปที่ 3.35 การลดขนาดของฟรอนต์จากเดิมในฟรอนต์ที่ 3 มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 9 เหลือระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 6 เพื่อเตรียมไว้สำหรับสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 4

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.1875 | 0 | 0.375 | 0 | 0 | 0 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| [25] | [26] | [27] | [28] | [29] | [30] |
| | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
| | [31] | [32] | [33] | [34] | [35] |
| | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | (12) | (13) | (14) | (15) |
| | | [36] | [37] | [38] | [39] |
| | สมมาตร | | 40.1875 | 0 | 0.375 |
| | | | (16) | (17) | (18) |
| | | | [40] | [41] | [42] |
| | | | | 25.384 | 0.96 |
| | | | | (19) | (20) |
| | | | | [43] | [44] |
| | | | | | 3.4 |
| | | | | | (21) |
| | | | | | [45] |

$$\begin{Bmatrix} 3 \\ (1) \\ [4] \\ 0 \\ (2) \\ [5] \\ 0 \\ (3) \\ [6] \\ 0 \\ (4) \\ [7] \\ 0 \\ (5) \\ [8] \\ 0 \\ (6) \\ [9] \end{Bmatrix}$$

รูปที่ 3.36 เมื่อลดขนาดของฟรอนต์ลงแล้วจะจัดอันดับของสัมประสิทธิ์สติฟเนสเสียใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของฟรอนต์ต่อไป (ในที่นี้คือฟรอนต์ที่ 4 ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 6) ตัวเลขใน () คืออันดับของสัมประสิทธิ์สติฟเนสซึ่งจัดใหม่โดยโปรแกรมย่อย FORMNO ตัวเลขใน [ ] คือ

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20.1875 | 0 | 0.375 | -20 | 0 | 0 | |
| (0.1875+20) | (0+0) | (0.375+0) | (0+(-20)) | 0+0 | (0+0) | (3+0) |
| | 25.192 | 0.48 | 0 | -0.192 | 0.48 | -1 |
| | (0.192+25) | (0+0.48) | (0+0) | (0+(-0.192) | (0+0.48) | (0+1) |
| | | 2.6 | 0 | -0.48 | 0.8 | -1.25 |
| | | (1+1.6) | (0+0) | (0+(-0.48)) | (0+0.8) | (0+1.25) |
| | สมมาตร | | 60.1875 | 0 | 0.375 | 0 |
| | | | (40.375+20) | (0+0) | )0.375+0 | (0+1) |
| | | | | 25.576 | 0.48 | -1 |
| | | | | (25.384+0.192) | (0.86+(-0.48)) | (0+1) |
| | | | | | 5 | +1.25 |
| | | | | | (3.4+1.6) | (0+(1.25) |

รูปที่ 3.37 การประกอบสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงในฟรอนต์ที่ 4

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20.1875 | 0 | 0.375 | -20 | 0 | 0 | | | 3 |
| | 25.192 | 0.48 | 0 | -0.192 | 0.48 | | | -1 |
| | | 2.5839 | 0.3715 | -0.4763 | 0.7909 | | | -1.2867 |
| | | | 40.3198 | 0.0684 | 0.2613 | D | = | 3.1571 |
| | [0] | | | 25.4866 | 0.6290 | | | -1.2502 |
| | | | | | 4.7316 | | | 1.6733 |

รูปที่ 3.38 การกำจัดของเกาซ์ในฟรอนต์ที่ 4

$$
\begin{array}{cccccc}
\textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} & \textcircled{4} & \textcircled{5} & \textcircled{6} \\
\left[\begin{array}{cccccc}
20.1875 & 0 & 0.375 & -20 & 0 & 0 \\
 & 25.192 & 0.48 & 0 & -0.192 & 0.48 \\
 & & 2.5839 & 0.3715 & -0.4763 & 0.7909 \\
 & \left[0\right] & & 40.3198 & 0.0689 & 0.2613 \\
 & & & & 25.4866 & 0.6290 \\
 & & & & & 4.7316
\end{array}\right]
\end{array}
\quad D = \left\{\begin{array}{c} 3 \\ -1 \\ -1.2867 \\ 3.1571 \\ -1.2502 \\ 1.6733 \end{array}\right\}
$$

**รูปที่ 3.39** การเก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์ในฟรอนต์ที่ 4 แล้ว

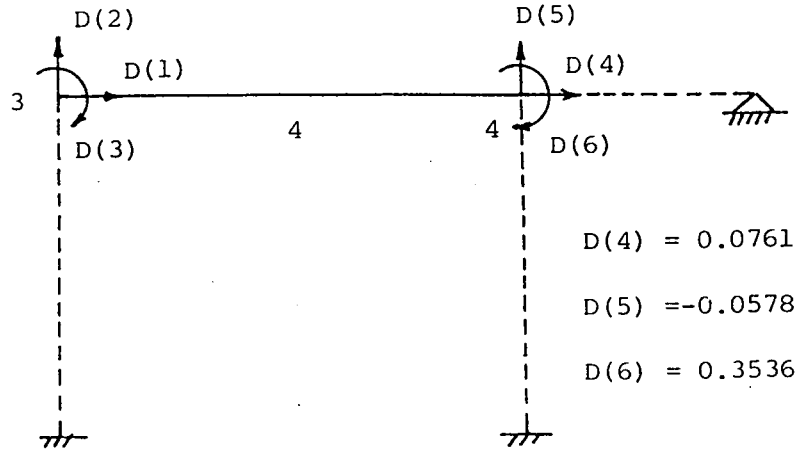
การบันทึกครั้งที่ 4

| MQ | KQ | NQ | NR | KS | LE(1) | LE(2) | LE(3) | LE(4) | LE(5) | LE(6) | LF(1) | LF(2) | LF(3) | LF(4) | LF(5) | LF(6) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 7 | 6 | 0 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**รูปที่ 3.40** การอ่านข้อมูลจากแฟ้ม "FRONTIQ" แบบย้อนหลัง

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20.1815 | 0 | 0.375 | -20 | 0 | 0 | 3 |
| | 25.192 | 0.48 | 0 | -0.192 | 0.48 | -1 |
| | | 2.5839 | 0.3715 | -0.4763 | 0.7909 | -1.2867 |
| | | | 40.3198 | 0.0689 | 0.2613 | 3.1571 |
| | | | | 25.4866 | 0.6290 | -1.2502 |
| | | | | | 4.7316 | 1.6733 |

**รูปที่ 3.41** ข้อมูลจากแฟ้ม "FROST" ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์แล้ว




D(1) = 0.2357

D(2) =-0.0349

D(3) =-0.6278

D(4) = 0.0761

D(5) =-0.0578

D(6) = 0.3536

**รูปที่ 3.42** ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วของชิ้นส่วนหมายเลข 4

$$= \frac{3.1571-(0.3536)(0.2613)-(-0.0578)(0.0689)}{40.3198} = 0.0761$$

$$D(3) = \frac{X(3)-D(4)A(13)-D(5)A(14)-D(6)A(15)}{A(12)}$$

$$= \frac{-1.2867-(0.3536)(0.7909)-(-0.0578)(-0.4763)-(0.0761)(0.3715)}{2.5839}$$

$$= -0.6278$$

$$D(2) = \frac{X(2)-D(3)A(8)-D(4)A(9)-D(5)A(10)-D(6)A(11)}{A(7)}$$

$$= \frac{-1-(0.3536)(0.48)-(-0.0578)(-0.192)-(-0.6278)(0.48)}{25.192}$$

$$= -0.0349$$

$$D(1) = \frac{X(1)-D(2)A(2)-D(3)A(3)-D(4)A(4)-D(5)A(5)-D(6)A(6)}{A(1)}$$

$$= \frac{3-(-20)(0.0761)-(-0.6278)(0.375}{20.1875} = 0.2357$$

เนื่องจากชิ้นส่วนที่ 4 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสุดท้ายประกอบด้วยขั้วหมายเลข 3 และ 4 ซึ่งแถวลำดับ LE แสดงค่าระดับขั้นความเสรีของขั้วที่เข้าสู่ฟรอนต์เท่ากับ 1, 2, 3 (สำหรับขั้วหมายเลข 3) และ 4, 5, 6 (สำหรับขั้วหมายเลข 4) เพราะฉะนั้นจะได้ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วของชิ้นส่วนหมายเลข 4 ดังแสดงในรูปที่ 3.42

ฟรอนที่ 2 โปรแกรมจะทำงานโดยอ่านค่าตัวแปร MQ, KQ, NQ, NR, KS และแถวลำดับ LE กับ LF จากแฟ้ม "FRONTIQ" แบบย้อนกลับ ได้ค่าดังแสดงในรูปที่ 3.43

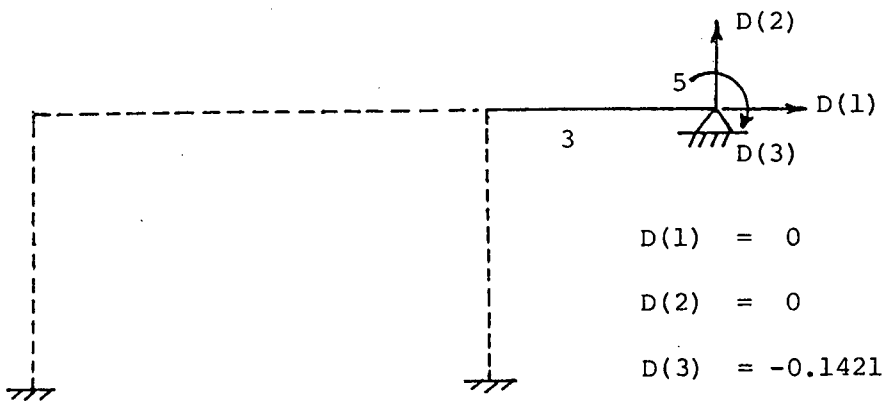
| MQ | KQ | NQ | NR | KS | LE(1) | LE(2) | LE(3) | LE(4) | LE(5) | LE(6) | LF(1) | LF(2) | LF(3) | LF(4) | LF(5) | LF(6) | LF(7) | LF(8) | LF(9) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 4 | 9 | 6 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

รูปที่ 3.4.3 การอ่านข้อมูลจากแฟ้ม "FRONTIQ" แบบย้อนหลัง

| ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1E+35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -40 | 0 | 0 |
| | 1E+35 | -1.92 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1.536 | -1.92 |
| | | 3.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.92 | 1.6 |

$$D = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

รูปที่ 3.44 ข้อมูลจากแฟ้ม "FROST" ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสเมตริกซ์และเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดของเกาซ์แล้ว




รูปที่ 3.45 ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วของชิ้นส่วนหมายเลข 3

จากนั้นต้องจัดตำแหน่งค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วเสียใหม่ โดยในฟรอนต์ที่ 1 ได้ค่าการเคลื่อนที่ของขั้วหมายเลข 3 และ 4 แต่ในฟรอนต์นี้ขั้วหมายเลข 3 และ 4 มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 4, 5, 6 และ 7, 8, 9 ตามลำดับ เพราะฉะนั้น

D(4) ในฟรอนต์ที่ 2 = D(1) ในฟรอนต์ที่ 1 = 0.2357

D(5) " = D(2) " = -0.0349

D(6) " = D(3) " = -0.6278

D(7) " = D(4) " = 0.0761

D(8) " = D(5) " = -0.0578

D(9) " = D(6) " = 0.3536

เช่นเดียวกันกับในฟรอนต์ที่ 1 จะอ่านข้อมูลจากแฟ้ม "FROST" ได้ค่าสัมประสิทธิ์สติฟเนสและเวกเตอร์ของแรงที่ผ่านการกำจัดแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.44

สำหรับในกรณีนี้จะแทนค่าย้อนกลับในเฉพาะส่วนที่แรเงาดังนี้

$$X'(1) = X(1)-D(4)A(4)-D(5)A(5)-D(6)A(6)-D(7)A(7)-D(8)A(8)-D(9)A(9)$$

$$= 0-(0.0761)(-40) = 3.044$$

$$X'(2) = X(2)-D(4)A(12)-D(5)A(13)-D(6)A(14)-D(7)A(15)-D(8)A(16)-D(9)A(17)$$

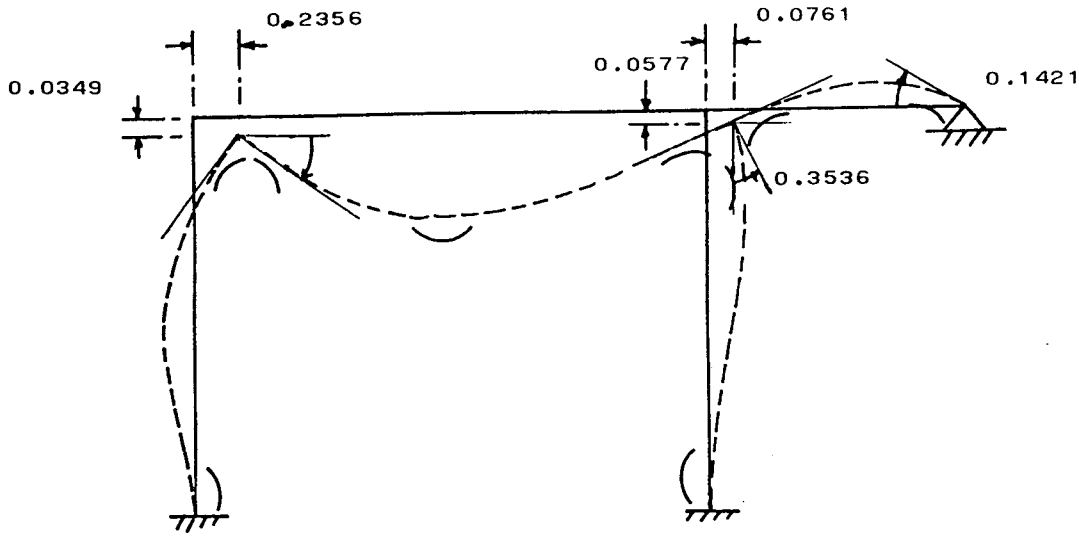
$$= 0-(-0578)(-1.536)-(0.3536)(-1.92) = 0.5901$$

$$X'(3) = X(3)-D(4)A(19)-D(5)A(20)-D(6)A(21)-D(7)A(22)-D(8)A(23)-D(10)A(24)$$

$$= 0-(-0.0578)(1.92)-(0.3536)(1.6) = -0.4548$$

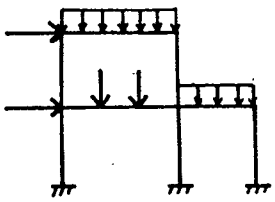
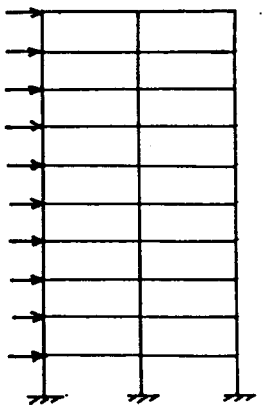
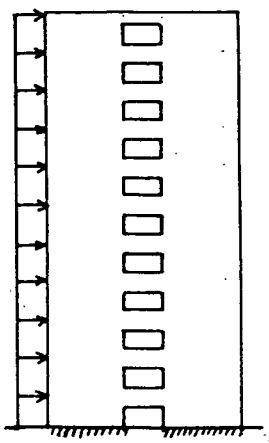
หลังจากนั้นจะแทนค่าย้อนกลับในส่วนที่เหลือ ดังนี้

$$D(3) = \frac{X'(3)}{A(18)} = \frac{-0.4548}{3.2} = -0.1421$$




รูปที่ 3.46 ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วของโครงสร้างตัวอย่าง

ตารางที่ 3.47 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีการฟรอนทัล ครึ่งแถบสมมาตร และ Active Column

| รูปโครงสร้าง | เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (นาที) | | |
|---|---|---|---|
| | วิธีการฟรอนทัล | ครึ่งแถบสมมาตร | Active Column (32) |
|  | 5 : 46<br>(2 : 34) | 2 : 28 | 2 : 23 |
|  | 29 : 44<br>(11 : 07) | 10 : 16 | 7 : 28 |
|  | 20 : 01<br>(7 : 58) | 3 : 47 | - |

$$D(2) = \frac{X'(2)-D(3)A(11)}{A(10)} = \frac{0.5901-(-0.1421)(-1.92)}{1E+35} = 3.1730E-36$$

$$D(1) = \frac{X'(1)-D(2)A(2)-D(3)A(3)}{A(1)} = \frac{3.044}{1E+35} = 3.044E-35$$

ดังนั้นค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วของชิ้นส่วนหมายเลข 3 จะมีค่าดังแสดงในรูปที่ 3.45

ฟรอนต์ที่ 3-4 มีลักษณะทำนองเดียวกับฟรอนต์ที่ 2 เมื่อแทนค่าย้อนกลับครบแล้ว จะได้ค่าการเคลื่อนที่ที่ขั้วของโครงสร้างครบทุกขั้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.46

สำหรับการหาค่าแรงลัพธ์ที่ขั้วนั้น สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (2.24) ในหัวข้อที่ 2.6 ได้แรงลัพธ์ของชิ้นส่วนดังแสดงในรูปที่ 3.11

อย่างไรก็ตามดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ว่า วิธีการฟรอนทัลจะประหยัดหน่วยความจำภายในเครื่อง (Income Memory) จึงเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำจำกัด แต่วิธีการฟรอนทัลนี้ต้องบันทึกข้อมูลลงในแผ่นจานแม่เหล็กเป็นจำนวนมาก ดังนั้นขนาดของโครงสร้างที่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จึงถูกจำกัดด้วยความจุของแผ่นจานแม่เหล็ก และข้อเสียอีกประการหนึ่งก็คือ การบันทึกข้อมูลกับการอ่านข้อมูลนั้นทำให้โปรแกรมใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมากเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.47

การแก้ไขเรื่องเวลานี้สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม The Apple Soft Complier (TASE)[31] แปลภาษาเบสิกให้เป็นภาษาเครื่อง ซึ่งจะทำให้โปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยวิธีการฟรอนทัลเร็วขึ้นกว่าเดิม 2-3 เท่าตัว (ดังแสดงในตารางที่ 3.47 ตัวเลขในวงเล็บในช่องวิธีการฟรอนทัลคือ เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่แปลเป็นภาษาเครื่องแล้ว)