บทที่ 6

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ

รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งทำการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติดังที่อธิบายหลักการในบทที่ 5 ถูกนำเสนอในบทนี้ เพื่อเพิ่มความถูกต้องเที่ยงตรงของผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาการไหลความเร็วสูงแบบอัดตัวได้ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ได้ตั้งชื่อให้ว่า REMESH ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกอธิบายในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

6.1 ขั้นตอนการคำนวณ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลักๆ 5 โปรแกรมโดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

6.1.1 อ่านแฟ้มข้อมูลนำเข้าต่างๆของขอบเขตปัญหาซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ แฟ้มข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก (1^{st} adaptive mesh) และแฟ้มข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ (n^{th} adaptive mesh) โดยเรียกโปรแกรมย่อย [INPUT]

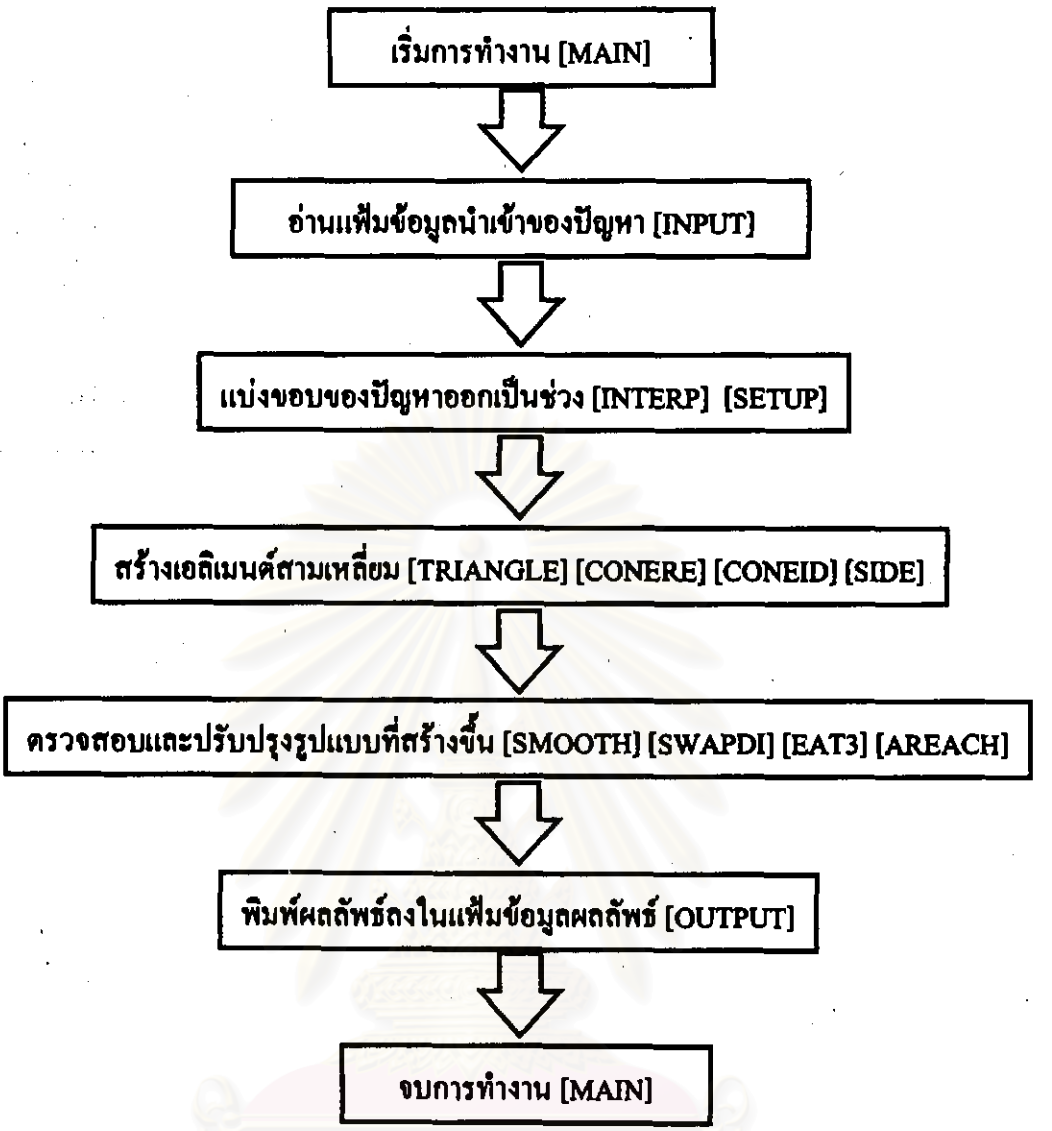
6.1.2 แบ่งขอบภายนอกทุกขอบของปัญหาออกเป็นช่วงเพื่อใช้ในการสร้างเอลิเมนต์ โดยเรียกโปรแกรมย่อย [INTERP] และ [SETUP]

6.1.3 สร้างเอลิเมนต์ภายในขอบเขตปัญหาพร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลสำหรับทำการตรวจสอบและปรับปรุงรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นในขั้นตอนต่อไป โดยเรียกโปรแกรมย่อย [TRIANGLE] [CONERE] [CONEID] และ [SIDE]

6.1.4 ตรวจสอบและปรับปรุงรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้น โดยเรียกโปรแกรมย่อย [SMOOTH] [SWAPDI] [EAT3] และ [AREACH]

6.1.5 พิมพ์ผลลัพธ์ในแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ โดยเรียกโปรแกรมย่อย [OUTPUT] และนำแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์มาคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ต่อไป

ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH สามารถสรุปโดยใช้แผนภูมิการทำงาน (Flow chart) ดังแสดงในรูป 6.1



รูป 6.1 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH

6.2 รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมดแสดงอยู่ในภาคผนวก ข ตอนท้ายเล่มของวิทยานิพนธ์นี้

6.3 แฟ้มข้อมูลนำเข้าและแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์

ในการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH นั้น แบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท คือ การสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก (1st adaptive mesh) และการสร้างรูปแบบไฟไนต์

เอลิเมนต์ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ (n^{th} adaptive mesh) โดยการใช้งานทั้ง 2 ประเภท มีแฟ้มข้อมูลนำเข้าเป็นจำนวน 3 แฟ้ม คือ

6.3.1 แฟ้มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 1 แสดงขอบเขตของปัญหาที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเป็นแฟ้มข้อมูลเดียวกันทั้ง 2 ประเภทการใช้งาน ประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ขนาดขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายจำนวนพื้นผิว จำนวนจุดต่อ จำนวนขอบของปัญหา

บรรทัดที่สอง จำนวนพื้นผิว จำนวนจุดต่อ จำนวนขอบของปัญหา

ตัวอย่าง

```
NREG        NFN         NBCS
1           5           5
```

ส่วนที่ 2 ข้อมูลของจุดต่อบนขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายรายละเอียด

บรรทัดที่สอง หมายเลขจุดต่อ พิกัดในแนวแกน x พิกัดในแนวแกน y

ตัวอย่าง

```
COORDINATES
1       0.0     0.0
2       0.4     0.0
```

ส่วนที่ 3 ข้อมูลของขอบบนขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายรายละเอียด

บรรทัดที่สอง หมายเลขขอบ จำนวนจุดบนขอบ รหัสของขอบ เงื่อนไขขอบเขต

บรรทัดที่สาม หมายเลขจุดทั้งหมดบนขอบ

ตัวอย่าง

```
BOUNDARY SEGMENTS
1       2       0       3
1       2
```

ส่วนที่ 4 ข้อมูลของพื้นผิวบนขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายรายละเอียด

บรรทัดที่สอง หมายเลขพื้นผิว จำนวนขอบบนพื้นผิว

บรรทัดที่สาม หมายเลขขอบทั้งหมดบนพื้นผิว

ตัวอย่าง

```
REGION SPECIFICATION
1       5
1       2       3       4       5
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 5 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE

บรรทัดแรก คำอธิบายรายละเอียด

บรรทัดที่สอง ค่าสัดส่วนของค่าความร้อนจำเพาะ ค่ากำหนดสำหรับตรวจสอบค่าเจาะจง จำนวนรอบในการคำนวณ

บรรทัดที่สาม คำอธิบายรายละเอียดสำหรับเงื่อนไขเริ่มต้นของการไหล

บรรทัดที่สี่ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว u ในแนวแกน x ค่าความเร็ว v ในแนวแกน y ค่าพลังงานรวม

ตัวอย่าง

```
GAMMA          EPSLAM         NTIME
1.4            0.01           2000
INITIAL CONDITIONS
1.0    1.0     0.0    0.698412
```

6.3.2 แฟ้มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 2 แสดงการจัดเรียงเอลิเมนต์บนขอบเขตของปัญหา แบ่งออกเป็น 2 แฟ้มข้อมูลตามประเภทการใช้งาน ดังนี้

6.3.2.1 แฟ้มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 2 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ขนาดขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายจำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง จำนวนจุดต่อทั้งหมดบนผนัง

บรรทัดที่สอง จำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง จำนวนจุดต่อทั้งหมดบนผนัง

ตัวอย่าง

```
NPOIG          NELEG          N1BODY         N2BODY
5              3              1              2
```

ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเอลิเมนต์

บรรทัดแรก หมายเลขจุดต่อ ความยาวด้านของเอลิเมนต์ สัดส่วนของความยาวด้านของเอลิเมนต์ มุมอันดับแรกในการสร้างเอลิเมนต์ มุมอันดับที่สองในการสร้างเอลิเมนต์ พิกัดในแนวแกน x พิกัดแนวแกน y

ตัวอย่าง

```
1      0.2    1.0    1.0    0.0    0.0    0.0
```

ส่วนที่ 3 การจัดเรียงจุดต่อภายในเอลิเมนต์

บรรทัดแรก หมายเลขเอลิเมนต์ หมายเลขจุดต่อ 3 จุด

ตัวอย่าง

```
1      1      2      5
```

ส่วนที่ 4 เงื่อนไขเริ่มต้นของการไหล

บรรทัดแรก ค่าอธิบายรายละเอียด

บรรทัดที่สอง หมายเลขจุดต่อ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว u ในแนวแกน x ความเร็ว v ในแนวแกน y ค่าพลังงานรวม

ตัวอย่าง
```
INITIAL CONDITIONS
1     1.0   1.0   0.0   0.698412
```

6.3.2.2 แฟ้มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 2 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ขนาดขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายจำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง จำนวนจุดต่อทั้งหมดบนผนัง

บรรทัดที่สอง จำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง จำนวนจุดต่อทั้งหมดบนผนัง

ตัวอย่าง
```
NPOIG     NELEG     N1BODY     N2BODY
494       893       1          41
```

ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ

บรรทัดแรก หมายเลขจุดต่อ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว u ในแนวแกน x ความเร็ว v ในแนวแกน y ค่าพลังงานรวม พิกัดในแนวแกน x พิกัดในแนวแกน y

ตัวอย่าง
```
1     1.0   1.0   0.0   0.698412    0.0   0.0
```

ส่วนที่ 3 การจัดเรียงจุดต่อภายในเอลิเมนต์

บรรทัดแรก หมายเลขเอลิเมนต์ หมายเลขจุดต่อ 3 จุด

ตัวอย่าง
```
1     2     11    94
```

6.3.3 แฟ้มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 3 สำหรับกำหนดลำดับการทำงานของโปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 แฟ้มข้อมูลตามประเภทการใช้งาน ดังนี้

6.3.3.1 แฟ้มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 3 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก ประกอบด้วย

บรรทัดแรก รหัสแสดงการสร้างรูปแบบเริ่มแรก ในที่นี้ใช้เท่ากับ 0

บรรทัดที่สอง ค่าสัดส่วนของการกำหนดขอบเขตปัญหาที่ครอบคลุมขอบเขตปัญหาการไหลทั้งหมด

บรรทัดที่สาม รหัสการจัดเรียงลำดับเอลิเมนต์ใหม่ ถ้ามีค่ามากกว่า 1 ต้องจัดเรียงใหม่

บรรทัดที่สี่-บรรทัดที่สิบสาม รหัสการตรวจสอบและปรับปรุงรูปแบบของปัญหา

ตัวอย่าง

```
0
0.1
2
5
4
3
2
3
3
4
6
5
0
```

6.3.3.2 แฟ้มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 3 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ ประกอบด้วย

บรรทัดแรก รหัสแสดงการสร้างรูปแบบที่ปรับขนาดเอลิเมนต์ ในที่นี้ใช้เท่ากับ 1

บรรทัดที่สอง ความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุด ความยาวด้านของเอลิเมนต์น้อยที่สุด ความยาวด้านของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการตรวจสอบ

บรรทัดที่สาม ค่าสัดส่วนของความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุด

บรรทัดที่สี่ รหัสในการเลือกตัวบ่งชี้ที่ใช้ปรับขนาดเอลิเมนต์ (ในที่นี้ใช้ค่าความหนาแน่น มีรหัสเท่ากับ 1)

บรรทัดที่ห้า รหัสการจัดเรียงลำดับเอลิเมนต์ใหม่ ถ้ามีค่ามากกว่า 1 ต้องจัดเรียงใหม่

บรรทัดที่หก-บรรทัดที่สิบห้า รหัสการตรวจสอบและปรับปรุงรูปแบบ

ตัวอย่าง

```
1
0.08  0.03  0.06
3.0
1
2
5
4
3
2
3
3
4
6
5
0
```

6.4 ตัวอย่างสำหรับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

เพื่อแสดงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้นำตัวอย่างปัญหาการไหลผ่านลิ่มที่แสดงในบทที่ 4 มาทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง โดยเริ่มจากสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการจัดเรียงเอลิเมนต์อย่างไม่เป็นระเบียบเป็นรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก (1^{st} adaptive mesh) จากนั้นจึงทำการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ก่อให้เกิดผลลัพธ์การไหลสำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก มาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ (n^{th} adaptive mesh) ต่อไป

ลักษณะแฟ้มข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH จำนวน 3 แฟ้มข้อมูล ประกอบด้วย WEDG.FIX, WEDG.RE1 และ WEDG.G1 มีรายละเอียดดังนี้

แฟ้มข้อมูลนำเข้า WEDG.FIX

```
NREG      NFN       NBCS
 1         5          5
COORDINATES
 1         0.         0.
 2         0.4        0.
 3         2.         0.58235
 4         2.         1.
 5         0.         1.
BOUNDARY SEGMENTS
1      2      0      3
   1      2
2      2      0      3
   2      3
3      2      0      2
   3      4
4      2      0      2
   4      5
5      2      0      1
   5      1
REGION SPECIFICATION
1      5
1      2      3      4      5
INPUT GAMMA,EPSLAM,NTIME
 1.40       0.01       1000
INITIAL CONDITIONS
 1.         1.         0.         0.698412
```

แฟ้มข้อมูลนำเข้า WEDG.RE1

```
NPOIG          NELEG          N1BODY      N2BODY
5               3             1           2
1       0.05        1.          1.        0.        0.        0.
2       0.05        1.          1.        0.        0.4       0.
3       0.06        1.          1.        0.        2.        0.58235
```

```
4       0.07       1.        1.        0.        2.        1.
5       0.07       1.        1.        0.        0.        1.
   1       1       2       5
   2       2       4       5
   3       2       3       4
INITIAL CONDITIONS
1       1.        1.        0.       .698412
2       1.        1.        0.       .698412
3       1.        1.        0.       .698412
4       1.        1.        0.       .698412
5       1.        1.        0.       .698412
```

แฟ้มข้อมูลนำเข้า WEDG.G1

```
0
0.1
2
5
4
3
2
3
3
4
6
5
0
```

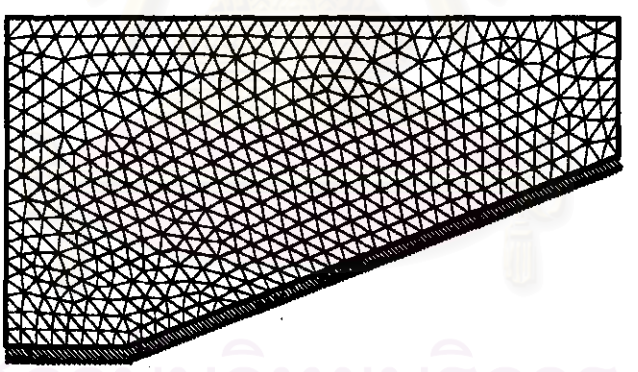
เมื่อทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH หน้าจอคอมพิวเตอร์จะปรากฏข้อความดังนี้

```
PLEASE TYPE INPUT FILE NAME : WEDG
PLEASE TYPE CURRENT VERSION : 1
  *** READING DATA
  GENERATING AN INITIAL GRID(0) OR REMESHING(1)?  0
  *** FILLING IN THE GAPS
  *** FILLING ISIDE FOR THE BACKGROUND GRID
  *** FILLING ELEMENT CONECTIVITY MATRIX
  ENTER EXPANSION FACTOR    1.000000E-01  AE =   4.0000000E-01
  *** GENERATING BOUNDARY NODES
  *** INTERPOLATING FROM THE BACKGROUND GRID
  AW FOR RE-ORDERING, (AW=1.:ALWAYS,AW=LARGE:NEVER)  2.000000
  *** FILLING ISIDE FOR THE GENERATED MESH
  *** WHAT SHALL WE DO NOW ?
      0 - QUIT
      1 - PLOT THE MESH
      2 - SMOOTH THE MESH
      3 - SWAP DIAGONALS
      4 - EAT 3 S
      5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
      6 - GET THE RE-START FILE
          5
  THE CHECKING WAS SUCCESSFUL !!!!
  TOTAL NUMBER OF GENERATED POINTS :  494
  TOTAL NUMBER OF GENERATED ELEMENTS :  893
  *** WHAT SHALL WE DO NOW ?
      0 - QUIT
      1 - PLOT THE MESH
```

```
    2 - SMOOTH THE MESH
    3 - SWAP DIAGONALS
    4 - EAT 3 S
    5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
    6 - GET THE RE-START FILE
         4
*** NR. OF 3"S REMOVED =           0
*** WHAT SHALL WE DO NOW ?
    0 - QUIT
    1 - PLOT THE MESH
    2 - SMOOTH THE MESH
    3 - SWAP DIAGONALS
    4 - EAT 3 S
    5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
    6 - GET THE RE-START FILE
         3
  35 SIDES HAVE BEEN SWAPPED
   0 SIDES HAVE BEEN SWAPPED
*** FILLING ISIDE
*** WHAT SHALL WE DO NOW ?
    0 - QUIT
    1 - PLOT THE MESH
    2 - SMOOTH THE MESH
    3 - SWAP DIAGONALS
    4 - EAT 3 S
    5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
    6 - GET THE RE-START FILE
         2
ENTER NUMBER OF SMOOTHING LOOPS
         3
*** WHAT SHALL WE DO NOW ?
    0 - QUIT
    1 - PLOT THE MESH
    2 - SMOOTH THE MESH
    3 - SWAP DIAGONALS
    4 - EAT 3 S
    5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
    6 - GET THE RE-START FILE
         3
   0 SIDES HAVE BEEN SWAPPED
*** WHAT SHALL WE DO NOW ?
    0 - QUIT
    1 - PLOT THE MESH
    2 - SMOOTH THE MESH
    3 - SWAP DIAGONALS
    4 - EAT 3 S
    5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
    6 - GET THE RE-START FILE
         4
*** NR. OF 3"S REMOVED =           0
*** WHAT SHALL WE DO NOW ?
    0 - QUIT
    1 - PLOT THE MESH
    2 - SMOOTH THE MESH
    3 - SWAP DIAGONALS
    4 - EAT 3 S
    5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
    6 - GET THE RE-START FILE
         6
*** WHAT SHALL WE DO NOW ?
    0 - QUIT
```

```
     1 - PLOT THE MESH
     2 - SMOOTH THE MESH
     3 - SWAP DIAGONALS
     4 - EAT 3 S
     5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
     6 - GET THE RE-START FILE
          5
 THE CHECKING WAS SUCCESSFUL !!!!
 TOTAL NUMBER OF GENERATED POINTS :  494
 TOTAL NUMBER OF GENERATED ELEMENTS :  893
 *** WHAT SHALL WE DO NOW ?
     0 - QUIT
     1 - PLOT THE MESH
     2 - SMOOTH THE MESH
     3 - SWAP DIAGONALS
     4 - EAT 3 S
     5 - AREA CHECK/OUTPUT NO OF NODES AND ELEMENTS
     6 - GET THE RE-START FILE
          0
 Stop - Program terminated
```

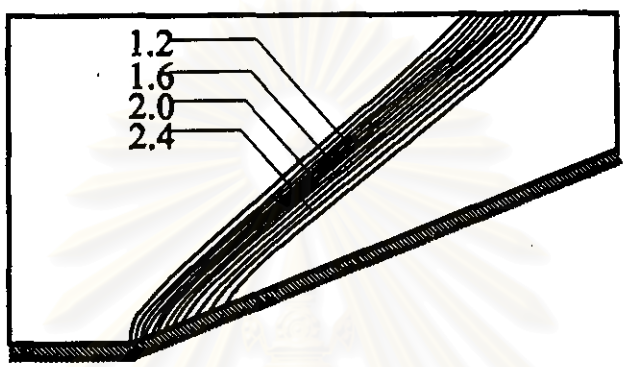
หลังจากทำการประมวลผลเสร็จสมบูรณ์ ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก แสดงในรูป 6.2 ประกอบด้วย 494 จุดต่อ 893 เอลิเมนต์และได้แฟ้มข้อมูลผลลัพธ์เพื่อใช้เป็นแฟ้มข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ชื่อ WEDG.IN1 ซึ่งมีรายละเอียดเช่นเดียวกันกับแฟ้มข้อมูล WEDG.IN0 ที่แสดงในบทที่ 4



รูป 6.2 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรกของปัญหาการไหลผ่านลิ่ม

จากนั้นจึงทำการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ได้แฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ WEDG.SO1 ซึ่งมีรายละเอียดเช่นเดียวกันกับแฟ้มข้อมูล WEDG.SO0 ที่แสดงในบทที่ 4 และมีการกระจายของความหนาแน่น ดังแสดงในรูป 6.3 ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับรูป 4.4 ที่แสดงในบทที่ 4 กล่าวคือ เมื่ออากาศไหลผ่านระนาบเอียงเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลไปตามแนวของระนาบเอียง ก่อให้เกิดการอัดตัวของอากาศและคลื่นช็อคเอียงตัวขึ้นโดยมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่มุมของระนาบที่มีการเปลี่ยนแนว ค่าความหนาแน่นในบริเวณหลังแนวคลื่นช็อคมีค่ามากกว่าค่าความ

หนาแน่นในบริเวณก่อนแนวคลื่นช็อคและคลื่นช็อคเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง ทั้งนี้เนื่องจากขนาดเอลิเมนต์ที่วางตัวอยู่ในแนวคลื่นช็อคมีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ขนาดเอลิเมนต์ที่เล็กลงวางตัวอยู่ในบริเวณดังกล่าว เพื่อให้คลื่นช็อคเกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบลงหรือกล่าวได้ว่าผลเฉลยมีความถูกต้องเที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งทำได้โดยการนำค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก มาใช้เป็นข้อมูลในการปรับขนาดเอลิเมนต์และสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 (2^{nd} adaptive mesh)



รูป 6.3 การกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรกของปัญหาการไหลผ่านลิ่ม

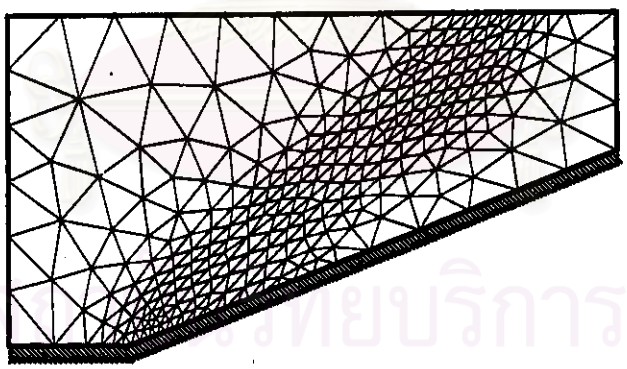
โดยการนำแฟ้มข้อมูลผลลัพธ์ WEDG.RN1 ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE มาเปลี่ยนชื่อเป็น WEDG.RE2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับขนาดเอลิเมนต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

```
NPOIN     NELEM     N1        N2
494       893       1         41
1    .10000E+01 .10000E+01 .00000E+00 .69841E+00 .00000E+00 .0000E+00
2    .11672E+01 .93997E+00 .63876E-01 .68382E+00 .40000E+00 .0000E+00
3    .10000E+01 .10000E+01-.15474E-16 .69841E+00 .49993E-01 .0000E+00
                                :
                                :
492 .10000E+01 .10000E+01 .71745E-16 .69841E+00 .31039E+00 .7201E+00
493 .21830E+01 .80110E+00 .25360E+00 .65290E+00 .16480E+01 .9029E+00
494 .15204E+01 .89573E+00 .14328E+00 .66879E+00 .15004E+01 .9043E+00
1      2      11     94
2      94     11     95
3      95     11     12
             :
             :
891    494    365    366
892    311    312    310
893    339    310    312
```

และสร้างแฟ้มข้อมูลนำเข้า WEDG.G2 โดยกำหนดให้ ความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุดเท่ากับ 0.11 ความยาวด้านของเอลิเมนต์น้อยที่สุดเท่ากับ 0.02 และสัดส่วนของความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุดเท่ากับ 3 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

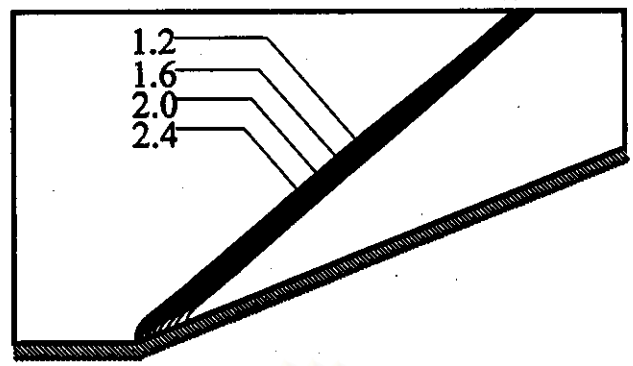
```
1
0.11   0.02   0.04
3.0
1
2
5
4
3
2
3
3
4
6
5
0
```

เมื่อทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ แสดงในรูป 6.4 ประกอบด้วย 297 จุดต่อ 525 เอลิเมนต์ โดยมีเอลิเมนต์ขนาดเล็กวางตัวอยู่ในบริเวณที่เกิดคลื่นช็อคและมีเอลิเมนต์ขนาดใหญ่ขึ้นวางตัวอยู่ในบริเวณอื่นๆ



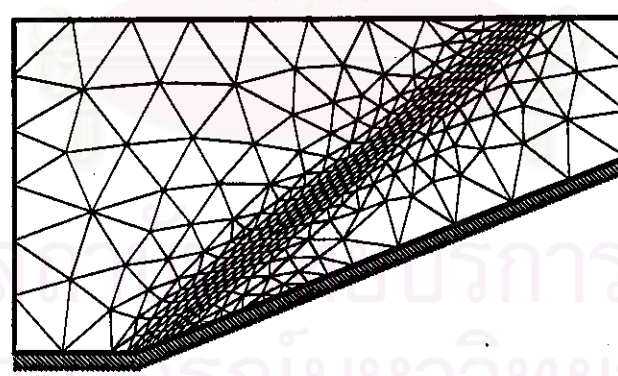
รูป 6.4 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 ของปัญหาการไหลผ่านลิ่ม

จากนั้นจึงนำแฟ้มข้อมูล WEDG.IN2 ไปเป็นแฟ้มข้อมูลนำเข้าสำหรับทำการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ได้การกระจายของความหนาแน่น แสดงในรูป 6.5 พบว่าคลื่นช็อคเกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบลง เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 6.3 สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก



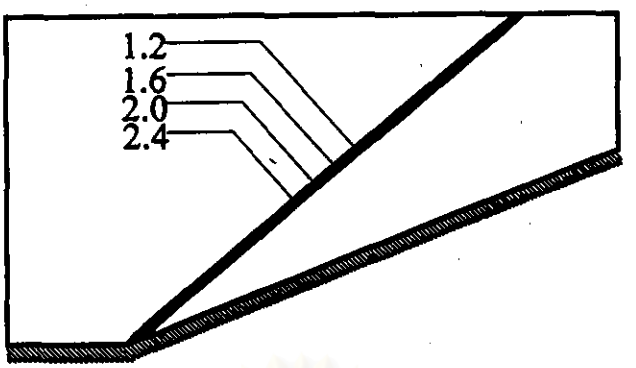
รูป 6.5 การกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 ของปัญหาการไหลผ่านถิ่ม

และเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความถูกต้องเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น จึงทำการปรับขนาดเอลิเมนต์อีกครั้งหนึ่ง โดยนำค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 มาใช้เป็นข้อมูลในการปรับขนาดเอลิเมนต์ ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 (3^{rd} adaptive mesh) แสดงในรูป 6.6 ประกอบด้วย 295 จุดต่อ 525 เอลิเมนต์ โดยมีเอลิเมนต์ขนาดเล็กเป็นจำนวนมากวางตัวอยู่ในบริเวณที่เกิดคลื่นช็อก และมีเอลิเมนต์ขนาดใหญ่ขึ้นวางตัวอยู่ในบริเวณอื่นๆ และเมื่อคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE อีกครั้งหนึ่ง ได้การกระจายของผลลัพธ์ต่างๆ ดังแสดงในรูป 6.7 –6.9



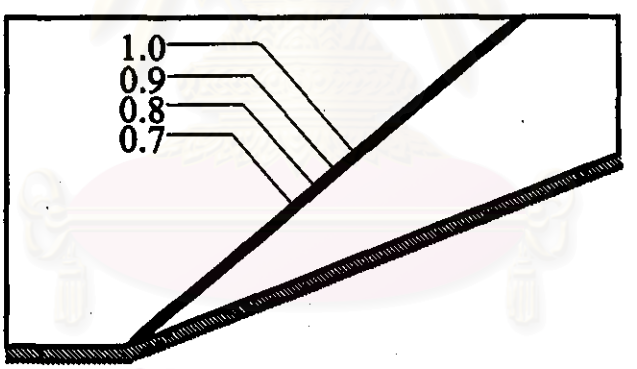
รูป 6.6 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ของปัญหาการไหลผ่านถิ่ม

รูป 6.7 แสดงการกระจายของความหนาแน่น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับรูป 6.5 พบว่า คลื่นช็อกมีความคมชัดมากขึ้นและแบ่งบริเวณการไหลออกเป็น 2 บริเวณได้อย่างชัดเจน คือ บริเวณส่วนหน้าของคลื่นช็อกซึ่งอากาศมีความหนาแน่นต่ำ และบริเวณส่วนหลังของคลื่นช็อกซึ่งอากาศมีความหนาแน่นสูง



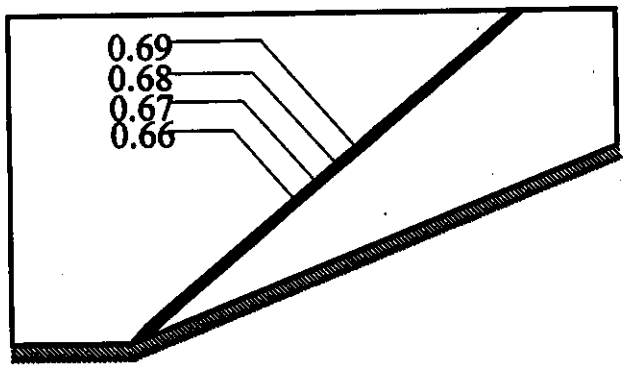
รูป 6.7 การกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ของปัญหาการไหลผ่านถิ่ม

รูป 6.8 แสดงการกระจายของความเร็ว โดยอากาศไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูงอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณการไหล ต่อมาอากาศไหลผ่านระนาบเอียงเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลไปตามแนวของระนาบเอียงก่อให้เกิดการอัดตัวของอากาศ ทำให้ความเร็วของการไหลลดลงอย่างรวดเร็ว



รูป 6.8 การกระจายของความเร็วที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ของปัญหาการไหลผ่านถิ่ม

รูป 6.9 แสดงการกระจายของพลังงานรวม ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกระจายของความเร็ว กล่าวคือ พลังงานรวมในบริเวณหลังแนวคลื่นช็อคจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานรวมในขณะที่อากาศไหลเข้ามา



รูป 6.9 การกระจายของพลังงานรวมที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ของปัญหาการไหลผ่านถิ่ม

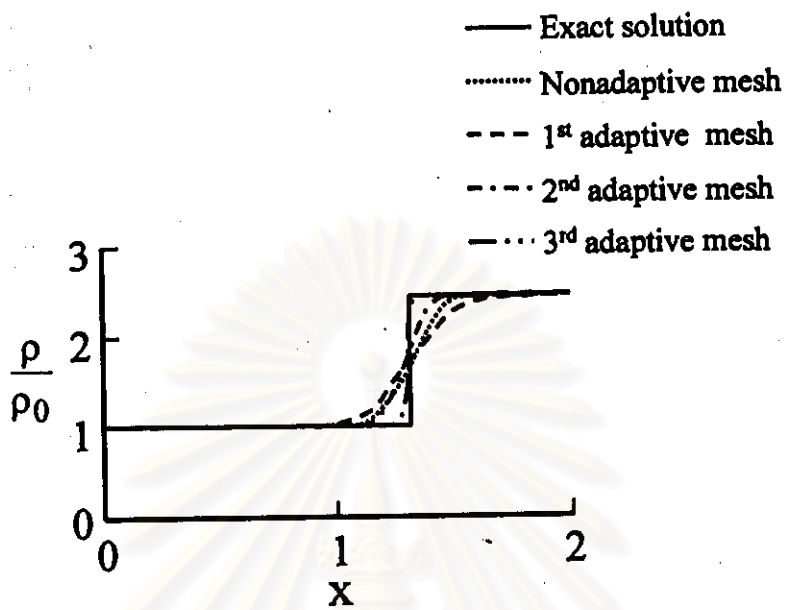
จากรูป 6.7-6.9 แสดงการกระจายของผลลัพธ์ต่างๆสำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 พบว่าบริเวณที่เกิดคลื่นช็อคแคบลงเนื่องจากเอลิเมนต์ในบริเวณดังกล่าวมีขนาดเล็กเพียงพอ และทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องเที่ยงตรงมากขึ้น ขณะเดียวกันจำนวนเอลิเมนต์ของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ก็มีจำนวนน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรกเนื่องจากขนาดเอลิเมนต์ในบริเวณอื่นๆมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งช่วยลดเวลาในการคำนวณและลดเนื้อที่ของหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยรายละเอียดของขนาดเอลิเมนต์ที่ใช้และเวลาในการคำนวณ (บนเครื่องคอมพิวเตอร์ รุ่น PENTIUM 100) ได้แสดงในตารางที่ 6.1 โดยความหมายของ h_{min} , h_{max} และ s_{max} ได้อธิบายในบทที่ 5

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดในการคำนวณของปัญหาการไหลผ่านถิ่ม

Mesh	Elements	Nodes	h_{min}	h_{max}	s_{max}	CPU times (sec.)
Nonadaptive	900	496	-	0.06	1.0	95
1st adaptive	893	494	0.05	0.07	1.0	90
2nd adaptive	525	297	0.02	0.11	3.0	55
3rd adaptive	525	295	0.01	0.15	4.0	80

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 และรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ณ. ตำแหน่ง $y = 0.7$ ตามแนวตัด A–A ดังแสดงในรูป 4.2 เปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูป 6.10 เห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณในแต่ละครั้งของการปรับขนาดเอลิเมนต์มีค่า

เข้าใกล้ผลเฉลยแม่นตรงมากขึ้น ซึ่งถ้าทำการปรับขนาดเอลิเมนต์อีกหลายๆครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีความถูกต้องมากขึ้นไปอีก



รูป 6.10 เปรียบเทียบการกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้กับผลเฉลยแม่นตรงตามแนว A – A ของปัญหาการไหลผ่านลิ่ม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE และ REMESH ที่อธิบายในบทที่ 4 และบทที่ 6 ตามลำดับ จะถูกนำไปแก้ปัญหาการไหลต่างๆ ซึ่งรวบรวมอยู่ในบทที่ 7 เพื่อแสดงประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งสองโปรแกรมที่ทำงานควบคู่กัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย