

บทที่ 6

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ

รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งทำการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติดังที่อธิบายหลักการในบทที่ 5 ถูกนำเสนอในบทนี้ เพื่อเพิ่มความถูกต้องเที่ยงตรงของผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาค่าเร็วสูงแบบอัตโนมัติ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ได้ตั้งชื่อให้ว่า REMESH ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกอธิบายในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

6.1 ขั้นตอนการคำนวณ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ REMESH ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลักๆ 5 โปรแกรม โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

6.1.1 อ่านแฟ้มข้อมูลนำเข้าต่างๆของขอบเขตปัญหาซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ แฟ้มข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก (1st adaptive mesh) และแฟ้มข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ (nth adaptive mesh) โดยเรียกโปรแกรมย่อย [INPUT]

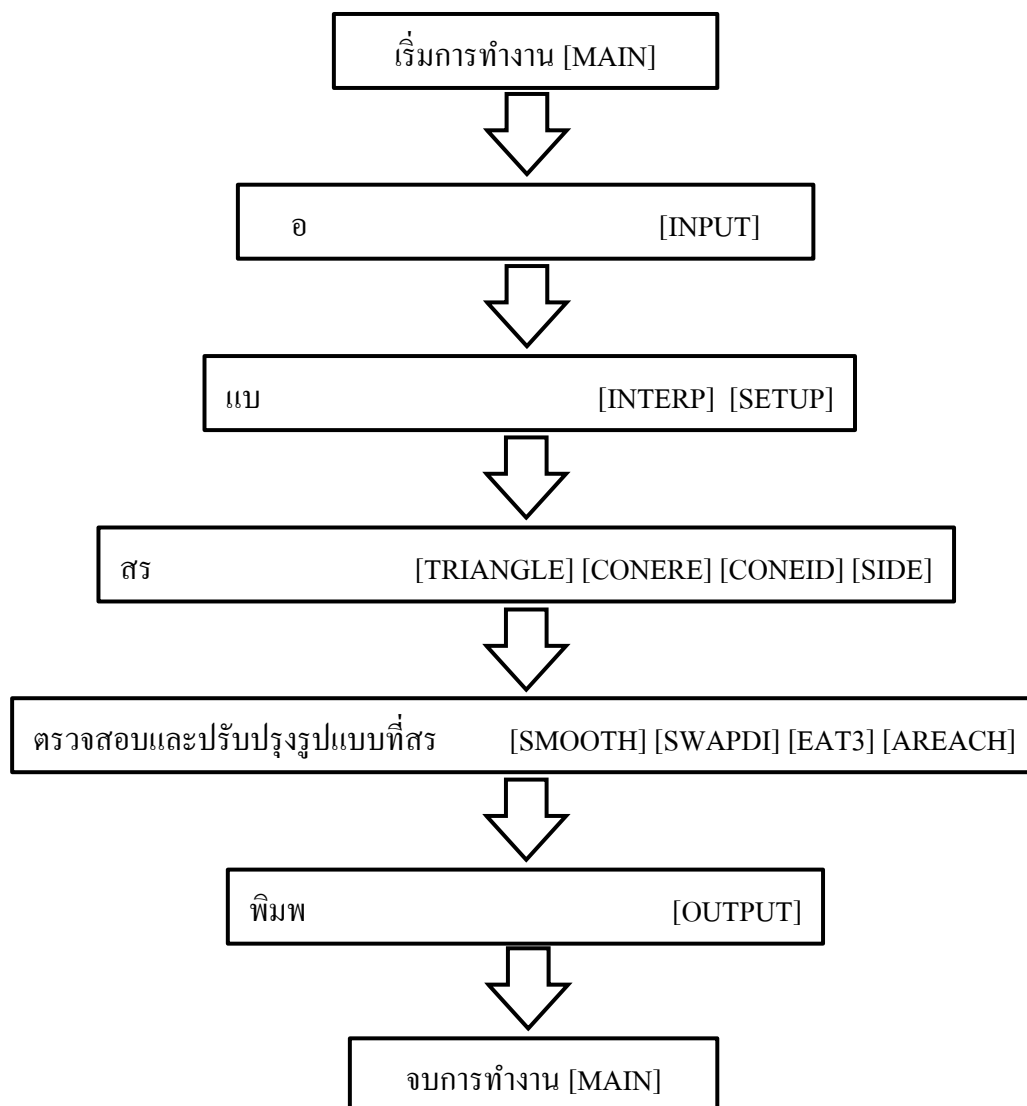
6.1.2 แบ่งขอบภายนอกทุกขอบของปัญหาออกเป็นช่วงเพื่อใช้ในการสร้างเอลิเมนต์ โดยเรียกโปรแกรมย่อย [INTERP] และ [SETUP]

6.1.3 สร้างเอลิเมนต์ภายในขอบเขตปัญหาพร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลสำหรับการตรวจสอบและปรับปรุงรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นในขั้นตอนต่อไป 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 เพิ่มข้อมูลนำเข้าและเพิ่มข้อมูลผลลัพธ์

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

เอลิเมนต์ที่มีการปรับขนาดเอลิเมนต์ (n^{th} adaptive mesh) โดยการใช้งานทั้ง 2 ประเภท มี
เพิ่มข้อมูลนำเข้าเป็นจำนวน 3 เพิ่ม คือ

6.3.1 เพิ่มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 1 แสดงขอบเขตของปัญหาที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเป็น
เพิ่มข้อมูลเดียวกันทั้ง 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

ส่วนที่ 5 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE

บรรทัดแรก คำอธิบายรายละเอียด

บรรทัดที่สอง ค่าสัดส่วนของค่าความร้อนจำเพาะ ค่ากำหนดสำหรับตรวจสอบค่า
เจาะจง จำนวนรอบในการคำนวณ

บรรทัดที่สาม คำอธิบายรายละเอียดสำหรับเงื่อนไขเริ่มต้นของการไหล

บรรทัดที่สี่ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว u ในแนวแกน x ค่าความเร็ว v ใน
แนวแกน y ค่าพลังงานรวม

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

6.3.2 เพิ่มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 2 แสดงการจัดเรียงเอลิเมนต์บนขอบเขตของปัญหา แบ่ง
ออกเป็น 2 เพิ่มข้อมูลตามประเภทการใช้งาน ดังนี้

6.3.2.1 เพิ่มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 2 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์
เริ่มแรก ประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ขนาดขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายจำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง
จำนวนจุดต่อทั้งหมดบนผนัง

บรรทัดที่สอง จำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง จำนวนจุด
ต่อทั้งหมดบนผนัง

ตัวอย่าง	NPOIG	NELEG	N1BODY	N2BODY
	5	3	1	2

ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเอลิเมนต์

บรรทัดแรก หมายเลขจุดต่อ ความยาวด้านของเอลิเมนต์ สัดส่วนของความยาวด้าน
ของเอลิเมนต์ มุมอันดับแรกในการสร้างเอลิเมนต์ มุมอันดับที่สองใน
การสร้างเอลิเมนต์ 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 คำอธิบายรายละเอียด

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 เพิ่มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 2 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มี
การปรับขนาดเอลิเมนต์ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ขนาดขอบเขตของปัญหา

บรรทัดแรก คำอธิบายจำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง
จำนวนจุดต่อทั้งหมดบนผนัง

บรรทัดที่สอง จำนวนจุดต่อ จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อเริ่มต้นบนผนัง จำนวนจุด
ต่อทั้งหมดบนผนัง

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 พิกัดใน
แนวแกน 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 เพิ่มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 3 สำหรับกำหนดลำดับการทำงานของโปรแกรมแบ่ง
ออกเป็น 2 เพิ่มข้อมูลตามประเภทการใช้งาน ดังนี้

6.3.3.1 เพิ่มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 3 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์
เริ่มแรก ประกอบด้วย

บรรทัดแรก	รหัสแสดงการสร้างรูปแบบเริ่มแรก ในที่นี้ใช้เท่ากับ 0
บรรทัดที่สอง	ค่าสัดส่วนของการกำหนดขอบเขตปัญหาที่ครอบคลุมขอบเขตปัญหา การไหลทั้งหมด
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 เพิ่มข้อมูลนำเข้าชุดที่ 3 สำหรับการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มี การปรับขนาดเอลิเมนต์ ประกอบด้วย

บรรทัดแรก	รหัสแสดงการสร้างรูปแบบที่ปรับขนาดเอลิเมนต์ ในที่นี้ใช้เท่ากับ 1
บรรทัดที่สอง	ความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุด ความยาวด้านของเอลิเมนต์น้อย ที่สุด ความยาวด้านของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการตรวจสอบ
บรรทัดที่สาม	ค่าสัดส่วนของความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุด
บรรทัดที่สี่	รหัสในการเลือกตัวบ่งชี้ที่ใช้ปรับขนาดเอลิเมนต์ (ในที่นี้ใช้ค่าความ หนาแน่น 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 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

เพื่อแสดงการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้นำตัวอย่างปัญหาการไหลผ่านลิ้นที่แสดงในบทที่ 4 มาทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง โดยเริ่มจากสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการจัดเรียงเอลิเมนต์อย่างไม่เป็นระเบียบเป็นรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก (1^{st} adaptive mesh) จากนั้นจึงทำการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ก่อนให้เกิดผลลัพธ์การไหลสำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก 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

```

เพิ่มข้อมูลนำเข้า 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 = 4.00000000E-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

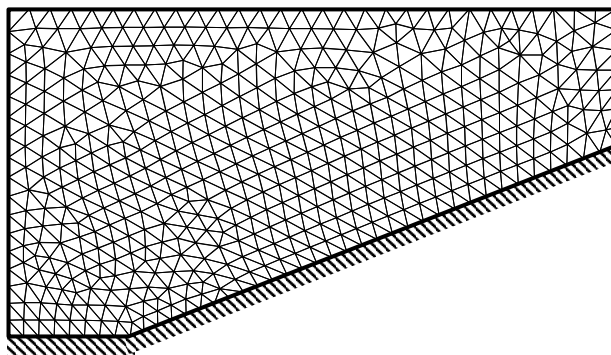
```

```

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

```

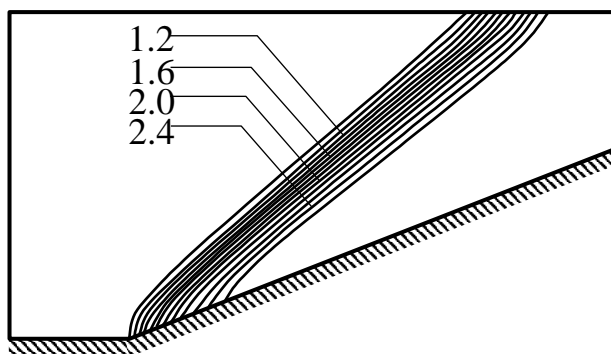
หลังจากทำการประมวลผลเสร็จสมบูรณ์ ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก แสดงในรูป 6.2 ประกอบด้วย 494 จุดต่อ 893 เอลิเมนต์และได้เพิ่มข้อมูลผลลัพธ์เพื่อใช้เป็นแฟ้มข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ชื่อ WEDG.IN1 ซึ่งมีรายละเอียดเช่นเดียวกันกับแฟ้มข้อมูล WEDG.IN0 ที่แสดงในบทที่ 4



รูป 6.2 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรกของปัญหาการไหลผ่านลิ่ม

จากนั้นจึงทำการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ได้เพิ่มข้อมูลผลลัพธ์ WEDG.SO1 ซึ่งมีรายละเอียดเช่นเดียวกันกับแฟ้มข้อมูล WEDG.SO0 ที่แสดงในบทที่ 4 และมีการกระจายของความหนาแน่น ดังแสดงในรูป 6.3 ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับรูป 4.4 ที่แสดงในบทที่ 4 กล่าวคือ เมื่ออากาศไหลผ่านระนาบเอียงเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลไปตามแนวของระนาบเอียง ก่อให้เกิดการอัดตัวของอากาศและคลื่นช็อกเอียงตัวขึ้นโดยมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่มุมของระนาบที่มีการเปลี่ยนแนว ค่าความหนาแน่นในบริเวณหลังแนวคลื่นช็อกมีค่ามากกว่าค่าความ

หนาแน่นในบริเวณก่อนแนวคลื่นช็อกและคลื่นช็อกเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง ทั้งนี้เนื่องจากขนาดเอลิเมนต์ที่วางตัวอยู่ในแนวคลื่นช็อกมีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ขนาดเอลิเมนต์ที่เล็กลงวางตัวอยู่ในบริเวณดังกล่าว เพื่อให้คลื่นช็อกเกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบลงหรือกล่าวได้ว่าผลเฉลยมีความถูกต้องเที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งทำได้โดยการนำค่าความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก มาใช้เป็นข้อมูลในการปรับขนาดเอลิเมนต์และสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 (2^{nd} adaptive mesh)



รูป 6.3 การกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรกของปัญหาการไหลผ่านลิ้ม

โดยการนำเพิ่มข้อมูลผลลัพธ์ 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

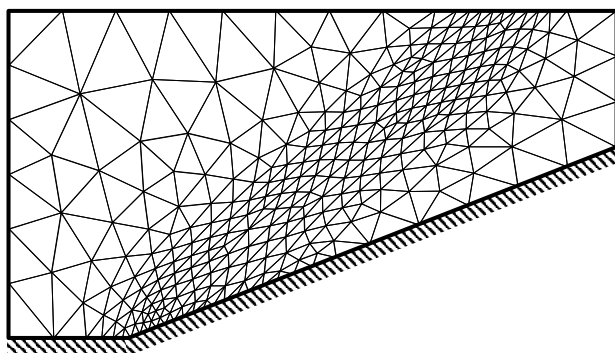
และสร้างแฟ้มข้อมูลนำเข้า WEDG.G2 โดยกำหนดให้ ความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุดเท่ากับ 0.11 ความยาวด้านของเอลิเมนต์น้อยที่สุดเท่ากับ 0.02 และสัดส่วนของความยาวด้านของเอลิเมนต์มากที่สุดเท่ากับ 3 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

```

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

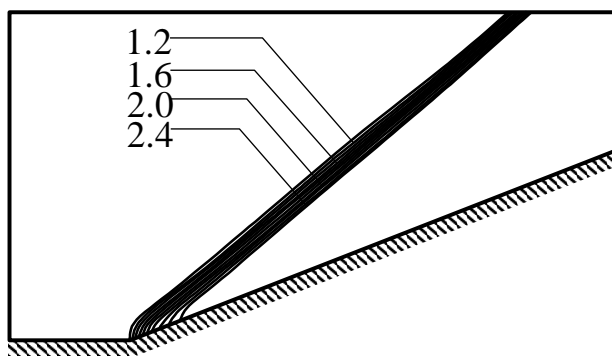
```

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



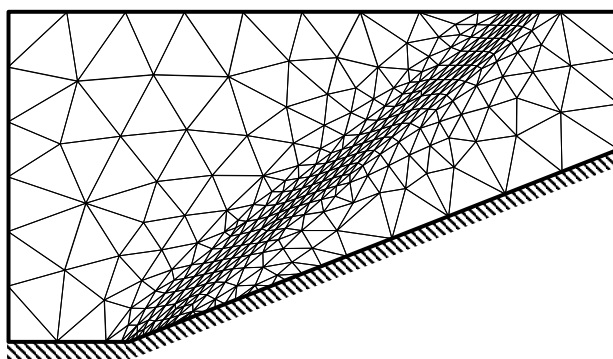
รูป 6.4 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 2 ของปัญหาการไหลผ่านลิ้ม

จากนั้นจึงนำแฟ้มข้อมูล WEDG.IN2 ไปเป็นแฟ้มข้อมูลนำเข้าสำหรับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FINITE ได้การกระจายของความหนาแน่น แสดงในรูป 6.5 พบว่าคลื่นช็อกเกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบลง เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 6.3 สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรก



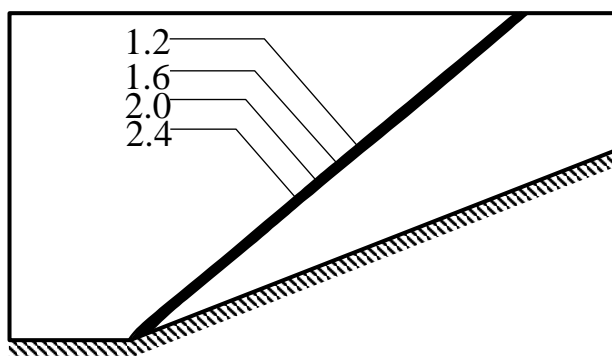
รูป 6.5 การกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ ครั้งที่ 2 ของปัญหาการไหลผ่านลิ้ม

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



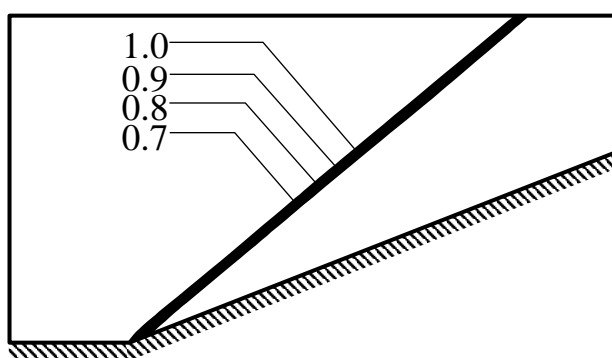
รูป 6.6 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ของปัญหาการไหลผ่านลิ้ม

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



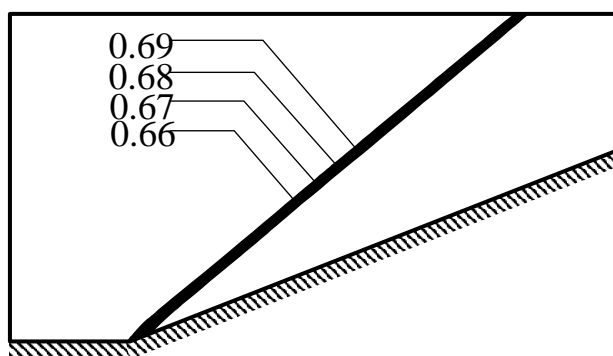
รูป 6.7 การกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์
ครั้งที่ 3 ของปัญหาการไหลผ่านลิ่ม

รูป 6.8 แสดงการกระจายของความเร็ว โดยอากาศไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูงอย่าง
สม่ำเสมอทั่วบริเวณการไหล ต่อมาอากาศไหลผ่านระนาบเอียงเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลไป
ตามแนวของระนาบเอียงก่อให้เกิดการอัดตัวของอากาศ ทำให้ความเร็วของการไหลลดลงอย่าง
รวดเร็ว



รูป 6.8 การกระจายของความเร็วที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3
ของปัญหาการไหลผ่านลิ่ม

รูป 6.9 แสดงการกระจายของพลังงานรวม ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการกระจายของ
ความเร็ว กล่าวคือ พลังงานรวมในบริเวณหลังแนวคลื่นช็อคจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานรวมใน
ขณะที่อากาศไหลเข้ามา



รูป 6.9 การกระจายของพลังงานรวมที่คำนวณได้สำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ของปัญหาการไหลผ่านลิ้ม

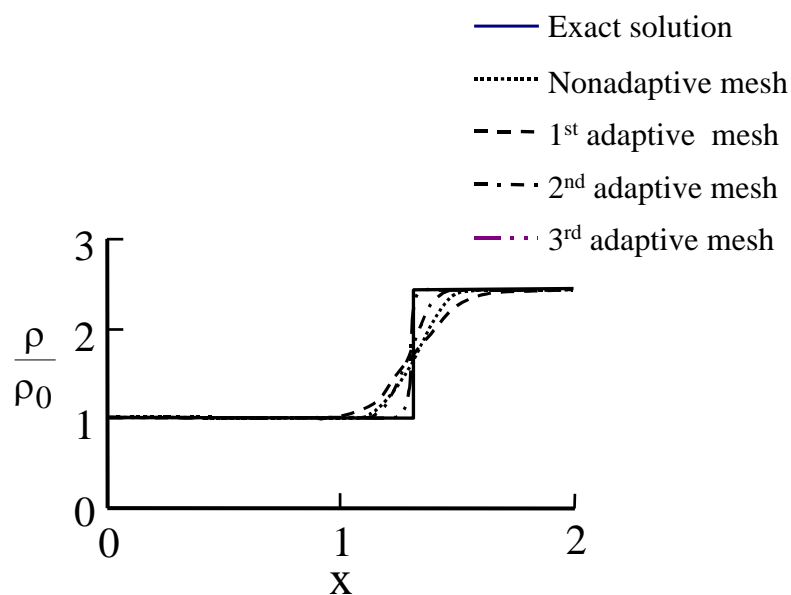
จากรูป 6.7-6.9 แสดงการกระจายของผลลัพธ์ต่างๆสำหรับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 พบว่าบริเวณที่เกิดคลื่นช็อกแคบลงเนื่องจากเอลิเมนต์ในบริเวณดังกล่าวมีขนาดเล็กเพียงพอ และทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องเที่ยงตรงมากขึ้น ขณะเดียวกันจำนวนเอลิเมนต์ของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ครั้งที่ 3 ก็มีจำนวนน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มแรกเนื่องจากขนาดเอลิเมนต์ในบ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

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดในการคำนวณของปัญหาการไหลผ่านลิ้ม

Mesh	Elements	Nodes	h_{\min}	h_{\max}	S_{\max}	CPU times (sec.)
Nonadaptive	900	496	-	0.06	1.0	95
1 st adaptive	893	494	0.05	0.07	1.0	90
2 nd adaptive	525	297	0.02	0.11	3.0	55
3 rd 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 เปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูป 6.10 เห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นที่ได้จากการคำนวณในแต่ละครั้งของการปรับขนาดเอลิเมนต์

มีค่าเข้าใกล้ผลเฉลยแม่นยำมากขึ้น ซึ่งถ้าทำการปรับขนาดเอลิเมนต์อีกหลายๆครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีความถูกต้องมากขึ้นไปอีก



รูป 6.10 เปรียบเทียบการกระจายของความหนาแน่นที่คำนวณได้กับผลเฉลยแม่นยำตามแนว A – A ของปัญหาการไหลผ่านลิ้ม

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