บทที่ 6

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการไหลแบบไม่อัดตัวชนิดหนืดที่สภาวะอยู่ตัว

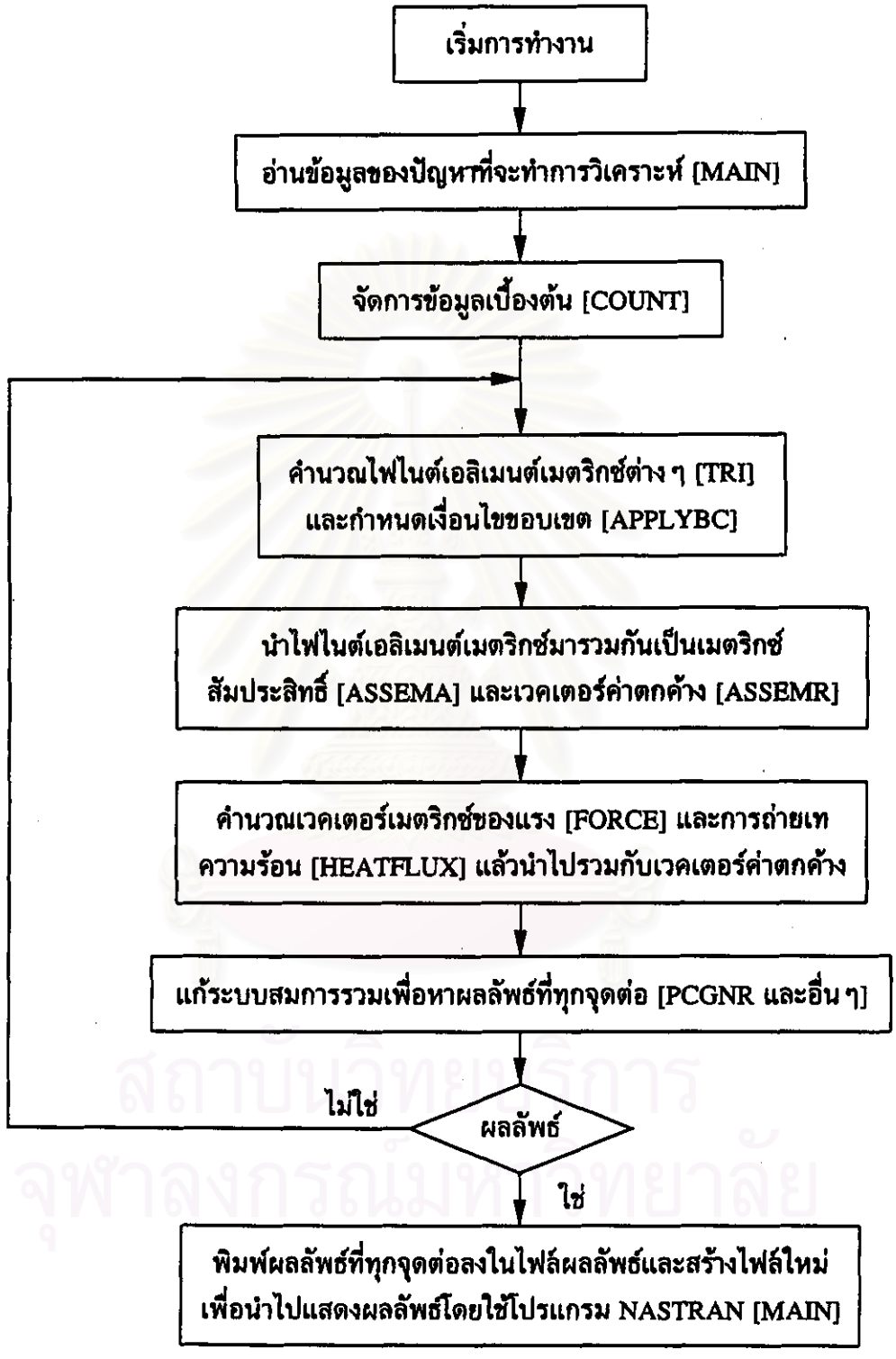
สมการไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์เอลิเมนต์เมตริกซ์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นรวมทั้งขั้นตอนการประยุกต์กระบวนการทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสันในบทที่ 4 ตลอดจนระเบียบวิธีการเคลื่อนลงในทิศทางสังยุคที่สร้างจากความลาดชันในบทที่ 5 ถูกนำมาใช้ในการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกันด้วยภาษาฟอร์แทรนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การไหลแบบไม่อัดตัวชนิดหนืดที่สภาวะอยู่ตัว โดยจุดประสงค์หลักของการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวสามารถทำการคำนวณบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้และทำความเข้าใจได้ง่าย ดังนั้นผู้ใช้จึงสามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ไปใช้วิเคราะห์การไหลได้สะดวก รวมทั้งยังสามารถทำการปรับปรุงเพื่อนำไปใช้ในงานวิจัยอื่น ๆที่เกี่ยวข้องกันหลังจากที่ได้ทำความเข้าใจในตัวโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้แล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นนี้มีชื่อว่า INCF ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 ขั้นตอนการคำนวณ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ INCF ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นนี้ มีโปรแกรมหลัก (Main program) ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมย่อย (Subroutine) ทั้งหมด 13 โปรแกรม ได้แก่ COUNT, APPLYBC, ASSEMA, ASSEMR, SPRSIN, SPRSTM, SPRSAX, PCGNR, ATIMES, ASOLVE, TRI, FORCE และ HEATFLUX ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 6.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1.1 อ่านข้อมูลของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากไฟล์ข้อมูลนำเข้าซึ่งประกอบด้วย

- จำนวนจุดต่อของความเร็ว (Velocity nodes) และอุณหภูมิ (Temperature nodes)
- จำนวนจุดต่อของความดัน (Pressure nodes)
- จำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์
- จำนวนเอลิเมนต์ที่มีด้านอยู่บนขอบเขตที่ต้องกำหนดความดัน
- จำนวนเอลิเมนต์ที่มีด้านอยู่บนขอบเขตที่ต้องกำหนดฟลักซ์ความร้อน
- จำนวนรอบของกระบวนการทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน



รูปที่ 6.1 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ INCF

- ค่าของความคลาดเคลื่อนที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดการคำนวณ

- คุณสมบัติต่าง ๆของของไหล ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืดพลศาสตร์× 1000 สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน×1000 ความร้อนจำเพาะเมื่อปริมาตรคงที่/1000 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยสมมุติ รวมไปถึงความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง

- ข้อมูลของทุกจุดต่อ ได้แก่ หมายเลขประจำจุดต่อ เงื่อนไขขอบเขตของจุดต่อ และพิกัดของจุดต่อ

- ข้อมูลของทุกเอลิเมนต์ ได้แก่ หมายเลขประจำเอลิเมนต์และจุดต่อที่อยู่บนเอลิเมนต์นั้น ๆ

- ข้อมูลของขอบเขตที่ต้องกำหนดความดัน ได้แก่ หมายเลขบอกลำดับและจุดต่อที่อยู่บนด้านของเอลิเมนต์ที่อยู่บนขอบเขตดังกล่าว

- ข้อมูลของขอบเขตที่ต้องกำหนดฟลักซ์ความร้อน ได้แก่ หมายเลขบอกลำดับและจุดต่อที่อยู่บนด้านของเอลิเมนต์ที่อยู่บนขอบเขตดังกล่าว

6.1.2 จัดการข้อมูลเบื้องต้นโดยการเรียกโปรแกรมย่อย COUNT เพื่อนำข้อมูลนำเข้ามาสร้างข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้น โดยข้อมูลที่สร้างขึ้นนี้จะทำให้ทราบว่าที่แต่ละจุดต่อ มีเอลิเมนต์ใดบ้างที่ใช้จุดต่อนั้นร่วมกัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการทำงานในโปรแกรมย่อยอื่น ๆต่อไป

6.1.3 เข้าสู่กระบวนการทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเริ่มต้นโดยการเรียกโปรแกรมย่อย TRI เพื่อสร้างไฟไนต์เอลิเมนต์เมตริกซ์ต่าง ๆสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.5 แล้วทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตโดยการเรียกโปรแกรมย่อย APPLYBC

6.1.4 นำไฟไนต์เอลิเมนต์เมตริกซ์ที่กำหนดเงื่อนไขขอบเขตแล้วมารวมกันเป็นเมตริกซ์สัมประสิทธิ์และเวคเตอร์ค่าตกค้างโดยการเรียกโปรแกรมย่อย ASSEMA และ ASSEMR ตามลำดับ

6.1.5 คำนวณเวคเตอร์เมตริกซ์ของแรงและการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโดยการเรียกโปรแกรมย่อย FORCE และ HEATFLUX ตามลำดับ แล้วนำไปรวมกับเวคเตอร์ค่าตกค้างที่ได้จากโปรแกรมย่อย ASSEMR

6.1.6 แก้ระบบสมการรวมเพื่อหาค่าความเร็ว อุณหภูมิและความดันที่ทุกจุดต่อ โดยการเรียกโปรแกรมย่อย PCGNR ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมย่อยที่เหลืออีก 5 โปรแกรมมาช่วยในการคำนวณด้วย โปรแกรมย่อยทั้ง 6 โปรแกรมนี้ถูกดัดแปลงมาจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 20 เพื่อช่วยลดปริมาณหน่วยความจำที่ต้องใช้ในการคำนวณลงโดยเก็บข้อมูลเฉพาะค่าที่ไม่เป็นศูนย์ของเมตริกซ์สัมประสิทธิ์เท่านั้น

6.1.7 ตรวจสอบการลู่เข้าของผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์มีค่าต่ำกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดให้ต้องไปทำงานต่อในหัวข้อ 6.1.8 แต่ถ้าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ยังมีค่าสูงกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดให้ต้องกลับไปทำการคำนวณตั้งแต่หัวข้อ 6.1.3 ใหม่จนกว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าที่กำหนดไว้

6.1.8 พิมพ์ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ลงในไฟล์ผลลัพธ์และไฟล์ใหม่เพื่อนำไปใช้ในการแสดงลักษณะต่าง ๆของการไหลด้วยโปรแกรม NASTRAN ซึ่งได้แก่ รูปแบบการไหล ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ และลักษณะการกระจายของความดัน

6.2 รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

รายละเอียดทั้งหมดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ INCF ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก ที่ท้ายเล่มของวิทยานิพนธ์นี้

6.3 ลักษณะของไฟล์ข้อมูลนำเข้า

ลักษณะของไฟล์ข้อมูลนำเข้าที่ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ INCF ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆทั้งหมด 7 ส่วนดังต่อไปนี้

6.3.1 ลักษณะทั่วไปของปัญหาที่จะทำการวิเคราะห์

บรรทัดแรก จำนวนบรรทัดที่อธิบายลักษณะทั่วไปของปัญหา
บรรทัดต่อมา คำอธิบายลักษณะทั่วไปของปัญหาเท่ากับจำนวนบรรทัดที่ระบุไว้

ตัวอย่างในไฟล์ข้อมูลนำเข้า

```
2
FREE CONVECTION IN SQUARE ENCLOSURE AT RA = 100000 WITH PR = 0.7
THE MODEL CONSISTS OF 441 NODES AND 200 ELEMENTS
```

6.3.2 รายละเอียดของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์

บรรทัดแรก คำอธิบายรายละเอียดของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์
บรรทัดต่อมา จำนวนจุดต่อของความเร็วและอุณหภูมิ จำนวนจุดต่อของความดัน จำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด จำนวนเอลิเมนต์ที่มีด้านอยู่บนขอบเขตที่ต้องกำหนดความดัน (ทางออก) จำนวนเอลิเมนต์ที่มีด้านอยู่บนขอบ

เซตที่ต้องกำหนดฟลักซ์ความร้อน (ผนังบางส่วน) จำนวนรอบของกระบวนการทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน ความคลาดเคลื่อนที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการหยุดกระบวนการทำซ้ำของนิวตัน-ราฟสัน

ตัวอย่างในไฟล์ข้อมูลนำเข้า

NPOIV	NPOIP	NELEM	NFREE	NFLUX	NITER	TOL
441	121	200	0	20	20	0.1

6.3.3 คุณสมบัติต่าง ๆของของไหล

บรรทัดแรก คำอธิบายคุณสมบัติของของไหล

บรรทัดที่สอง ค่าของคุณสมบัติของของไหล

ตัวอย่างในไฟล์ข้อมูลนำเข้า

DENSITY	VISCOSITY	THERM EXP	SPEC CV	THERM CON	REF TEMP	GRAVITY
1.00000	3.46400	3.00000	.00866	.03000	40.00000	10.00000

6.3.4 ข้อมูลของทุกจุดต่อ

บรรทัดแรก คำอธิบายทั่วไป

บรรทัดต่อมา หมายเลขของจุดต่อ เงื่อนไขขอบเขตของ u, v, T และ p (0 = เปลี่ยนแปลงได้, 1 = ไม่เปลี่ยนแปลง) พิกัดในแนวแกน x และ y ค่าของ u, v, T และ p ที่ใช้ในการคำนวณรอบแรก ฟลักซ์ความร้อน

ตัวอย่างในไฟล์ข้อมูลนำเข้า

NODAL BOUNDARY CONDITIONS AND COORDINATES [441]:

1	1	1	1	0	.00000	.00000	.00000	.00000	20.00000	.00000	.00000
2	1	1	0	0	.10000	.00000	.00000	.00000	40.00000	.00000	.00000
3	1	1	0	0	.20000	.00000	.00000	.00000	40.00000	.00000	.00000
4	1	1	0	0	.30000	.00000	.00000	.00000	40.00000	.00000	.00000

6.3.5 การจัดเรียงจุดต่อภายในเอลิเมนต์

บรรทัดแรก คำอธิบายทั่วไป

บรรทัดต่อมา หมายเลขของเอลิเมนต์ หมายเลขของจุดต่อ 6 หมายเลข (ดูรูปที่ 4.3)

ตัวอย่างในไฟล์ข้อมูลนำเข้า

ELEMENT NODAL CONNECTION [200]:

1	1	13	12	123	124	122
2	1	2	13	126	122	125
3	2	3	13	128	126	127
4	3	14	13	130	128	129

6.3.6 ข้อมูลของขอบเขตที่ต้องกำหนดความดัน

บรรทัดแรก คำอธิบายทั่วไป

บรรทัดต่อมา (ถ้ามี) หมายเลขแสดงลำดับ หมายเลขของจุดต่อ 3 หมายเลขในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ถ้าเป็นเอลิเมนต์ในรูปที่ 4.4 หมายเลขของจุดต่อทั้ง 3 ก็คือ 2 4 3)

ตัวอย่างในไฟล์ข้อมูลนำเข้า

```
ELEMENT NODAL CONNECTION FOR OUTFLOW [0]:
```

6.3.7 ข้อมูลของขอบเขตที่ต้องกำหนดฟลักซ์ความร้อน

บรรทัดแรก คำอธิบายทั่วไป

บรรทัดต่อมา (ถ้ามี) หมายเลขแสดงลำดับ หมายเลขของจุดต่อ 3 หมายเลขในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ถ้าเป็นเอลิเมนต์ในรูปที่ 4.5 หมายเลขของจุดต่อทั้ง 3 ก็คือ 2 4 3)

ตัวอย่างในไฟล์ข้อมูลนำเข้า

```
ELEMENT NODAL CONNECTION FOR HEATFLUX [20]:
   1     1   125     2
   2     2   127     3
   3     3   133     4
   4     4   135     5
```

6.4 ลักษณะของไฟล์ผลลัพธ์

ไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ INCF มีลักษณะดังต่อไปนี้

บรรทัดแรก คำอธิบายทั่วไป

บรรทัดที่สอง คำอธิบายผลลัพธ์

บรรทัดต่อมา หมายเลขของจุดต่อ ค่าของ u, v, T และ p

ตัวอย่างในไฟล์ผลลัพธ์

```
NODAL SOLUTIONS [441]:
NODE      U-VELOCITY      V-VELOCITY      TEMPERATURE      PRESSURE
   1   .000000E+00     .000000E+00     .200000E+02     .512180E+01
   2   .000000E+00     .000000E+00     .226212E+02     .511971E+01
   3   .000000E+00     .000000E+00     .246106E+02     .510273E+01
   4   .000000E+00     .000000E+00     .259273E+02     .508673E+01
```