

## บทที่ 4

### โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการไหลความเร็วสูงแบบอัดตัวได้

ในบทนี้จะนำเสนอสมการไฟไนต์เอลิเมนต์และเอลิเมนต์เมตริกซ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นในบทที่ 3 มาทำการประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกัน เพื่อใช้แก้ปัญหการไหลความเร็วสูงแบบอัดตัวได้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้ภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวสามารถทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีชื่อว่า CBSHIFLOW ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม CBSHIFLOW

โปรแกรม CBSHIFLOW ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (main program) ซึ่งมีการเรียกใช้โปรแกรมย่อย (subroutine) อีก 11 โปรแกรม โดยภาพรวมการทำงานของโปรแกรม CBSHIFLOW สามารถอธิบายได้ด้วยแผนภูมิการทำงาน (flow chart) ในรูปที่ 4.1 ซึ่งสามารถอธิบายโดยสรุปได้ดังนี้

- 4.1.1 เริ่มต้นการทำงานโดยการอ่านแฟ้มข้อมูลนำเข้าของปัญหาการไหล (input file) ซึ่งประกอบด้วยจำนวนจุดต่อทั้งหมด จำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด จำนวนขอบทั้งหมด คุณสมบัติต่างๆ ของของไหล จำนวนรอบในการคำนวณ พิกัดของจุดต่อ เงื่อนไขเริ่มต้นของการไหลในแต่ละจุดต่อซึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว  $u$  ในแนวแกน  $x$  และ ค่าความเร็ว  $v$  ในแนวแกน  $y$  และค่าพลังงานรวม หมายเลขจุดต่อที่ประกอบกันขึ้นเป็นเอลิเมนต์ และเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา โดยเรียกโปรแกรมย่อย [SUBROUTINE INPUT]
- 4.1.2 ทำการคำนวณข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา เช่น ความสูงของเอลิเมนต์ คำนวณรูปร่างและเมตริกซ์มวลแบบรวมที่จุดต่อ ทิศทางโคซายน์ของเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับขอบของปัญหา ข้อมูลเกี่ยวกับขอบด้านที่เป็นผนัง เป็นต้น โดยเรียกโปรแกรมย่อย [SUBROUTINE PRELIM], [SUBROUTINE GETBOUN]
- 4.1.3 เริ่มการคำนวณแบบทำซ้ำโดยเรียกโปรแกรมย่อย [SUBROUTINE STEP1], [SUBROUTINE STEP2], [SUBROUTINE STEP3], [SUBROUTINE STEP4]

- 4.1.4 ประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตโดยเรียกโปรแกรมย่อย [SUBROUTINE BOUND] และ [SUBROUTINE GETPRES]
- 4.1.5 เพิ่มความหนืดเทียมพร้อมทั้งประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตโดยเรียกโปรแกรมย่อย [SUBROUTINE ARTVIS], [SUBROUTINE BOUND] และ [SUBROUTINE GETPRES]
- 4.1.6 ทำการตรวจสอบการลู่เข้าของผลลัพธ์ โดยเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดถ้ามีค่าต่ำกว่าให้ดำเนินการต่อในข้อ 4.1.7 แต่ถ้ามีค่าสูงกว่าให้กลับไปทำการคำนวณในข้อ 4.1.3 ใหม่จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าที่กำหนดหรือจำนวนการทำซ้ำครบตามที่กำหนด
- 4.1.7 พิมพ์ค่าผลลัพธ์ที่คำนวณได้ลงในแฟ้มข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปใช้แสดงผลต่อไปโดยเรียกโปรแกรมย่อย [SUBROUTINE OUTPUT]

## 4.2 รายละเอียดของโปรแกรม CBSHIFLOW

รายละเอียดของโปรแกรม CBSHIFLOW ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

## 4.3 ลักษณะของแฟ้มข้อมูลนำเข้า

ลักษณะของแฟ้มข้อมูลนำเข้าที่ใช้กับโปรแกรม CBSHIFLOW ประกอบด้วย 9 ส่วนดังต่อไปนี้

### ส่วนที่ 1 ประโยคอธิบายกำกับลักษณะของไฟล์

บรรทัดแรก      ตัวเลขระบุจำนวนบรรทัดที่เป็นตัวอักษร  
 บรรทัดต่อไป    ประโยคต่างๆ ที่มีจำนวนบรรทัดเท่ากับที่ระบุไว้

ตัวอย่างเช่น

2  
 FINITE ELEMENT MODEL FOR MACH 2 WALL SHOCK  
 MODEL WITH 1642 TRIANGULAR ELEMENTS AND 862 NODES

### ส่วนที่ 2 ขนาดของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์

บรรทัดแรก      คำอธิบายถึงจำนวนเอลิเมนต์ จุดต่อ เงื่อนไขขอบเขต  
 บรรทัดที่สอง    จำนวนเอลิเมนต์ จำนวนจุดต่อ จำนวนเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา

ตัวอย่างเช่น	NELEM	NPOIN	NBOUN
	1642	862	80

### ส่วนที่ 3 คุณสมบัติของของไหล

บรรทัดแรก	คำอธิบายคุณสมบัติของของไหล
บรรทัดที่สอง	ค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะที่ความดันและปริมาตรคงที่

ตัวอย่างเช่น	GAMMA
	1.40

### ส่วนที่ 4 จำนวนของการทำซ้ำและจำนวนครั้งที่จะแสดงค่าการดูเข้า

บรรทัดแรก	คำอธิบายจำนวนการทำซ้ำ	จำนวนครั้งที่แสดงผลการดูเข้าบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ และช่วงเวลาในการคำนวณ
บรรทัดที่สอง	จำนวนการทำซ้ำ	จำนวนครั้งที่แสดงผลการดูเข้าบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ และช่วงเวลาในการคำนวณ

ตัวอย่างเช่น	NTIME	IWRITE	DTFIX
	5000	100	0.0050

### ส่วนที่ 5 เงื่อนไขขอบเขตของการไหลเข้า

บรรทัดแรก	คำอธิบายคุณสมบัติของของไหลซึ่งไหลเข้าประกอบด้วยความหนาแน่น ค่าความเร็ว $u$ ในแนวแกน $x$ และ ค่าความเร็ว $v$ ในแนวแกน $y$ ค่าความดัน และค่ามัคนัมเบอร์ด้านที่ 1
บรรทัดที่สอง	ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว $u$ ในแนวแกน $x$ และ ค่าความเร็ว $v$ ในแนวแกน $y$ ค่าความดัน และค่ามัคนัมเบอร์ด้านที่ 1
บรรทัดที่สาม	คำอธิบายคุณสมบัติของของไหลซึ่งไหลเข้าประกอบด้วยความหนาแน่น ค่าความเร็ว $u$ ในแนวแกน $x$ และ ค่าความเร็ว $v$ ในแนวแกน $y$ ค่าความดัน และค่ามัคนัมเบอร์ด้านที่ 2
บรรทัดที่สี่	ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว $u$ ในแนวแกน $x$ และ ค่าความเร็ว $v$ ในแนวแกน $y$ ค่าความดัน และค่ามัคนัมเบอร์ด้านที่ 2

ตัวอย่างเช่น	PROPERTIES OF FIRST FREE STREAM RHO UVEL VVEL P M
	0.100E+01 0.9848E+00 -.173648E+00 0.178572E+00 0.200E+01
	PROPERTIES OF SECOND FREE STREAM RHO UVEL VVEL P M
	0.000E+00 0.0000E+00 0.000000E+00 0.000000E+00 0.000E+00

**ส่วนที่ 6** ข้อมูลของจุดต่อ

บรรทัดแรก คำอธิบายของข้อมูลจุดต่อ  
 บรรทัดต่อไป หมายเลขจุดต่อ พิกัดของจุดต่อในแกน x และแกน y

ตัวอย่างเช่น

NODAL COORDINATES ( X AND Y ) [ 862 ]:			
1	0.00000000	0.00000000	
2	0.05000000	0.00000000	
3	0.10000000	0.00000000	

**ส่วนที่ 7** เงื่อนไขเริ่มต้นของค่าตัวแปรที่จุด

บรรทัดแรก คำอธิบายของค่าตัวแปรที่จุดต่อ  
 บรรทัดต่อไป หมายเลขจุดต่อ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว u ในแนวแกน x และค่าความเร็ว v ในแนวแกน y และค่าพลังงานรวม

ตัวอย่างเช่น

ASSUME DENSITY U-VELOCITY V-VELOCITY T-ENER[ 862 ]:				
1	0.100E+01	0.9848E+00	-0.173648E+00	0.946428E+00
2	0.100E+01	0.9848E+00	-0.173648E+00	0.946428E+00
3	0.100E+01	0.9848E+00	-0.173648E+00	0.946428E+00

**ส่วนที่ 8** ข้อมูลของเอลิเมนต์

บรรทัดแรก คำอธิบายข้อมูลหมายเลขของจุดต่อแต่ละเอลิเมนต์  
 บรรทัดต่อไป หมายเลขเอลิเมนต์ หมายเลขจุดต่อทั้งสามของเอลิเมนต์

ตัวอย่างเช่น

ELEMENT NODAL CONNECTIONS [ 1642 ]:				
1	19	20	81	
2	81	20	151	
3	19	81	155	

**ส่วนที่ 9** ข้อมูลหมายเลขเอลิเมนต์และจุดต่อที่ทางไหลเข้า ไหลออก และผนัง

บรรทัดแรก คำอธิบายข้อมูลหมายเลขของจุดต่อ เอลิเมนต์และเงื่อนไขขอบเขต  
 บรรทัดต่อไป หมายเลขจุดต่อทั้งสองที่ขอบ หมายเลขเอลิเมนต์ของขอบนั้นและหมายเลขเงื่อนไขขอบเขตซึ่งกำหนดให้ 1 คือ ด้านที่มีการไหลเข้า, 2 คือ ด้านที่เป็นผนัง และ 5 คือ ด้านของการไหลออก

ตัวอย่างเช่น	BOUNDARY CONDITIONS (1=INFLOW, 2=WALL, 5=OUTFLOW) [80]:			
	42	43	20	1
	43	44	21	1
	41	42	25	1

#### 4.4 ลักษณะของเพิ่มข้อมูลผลลัพธ์

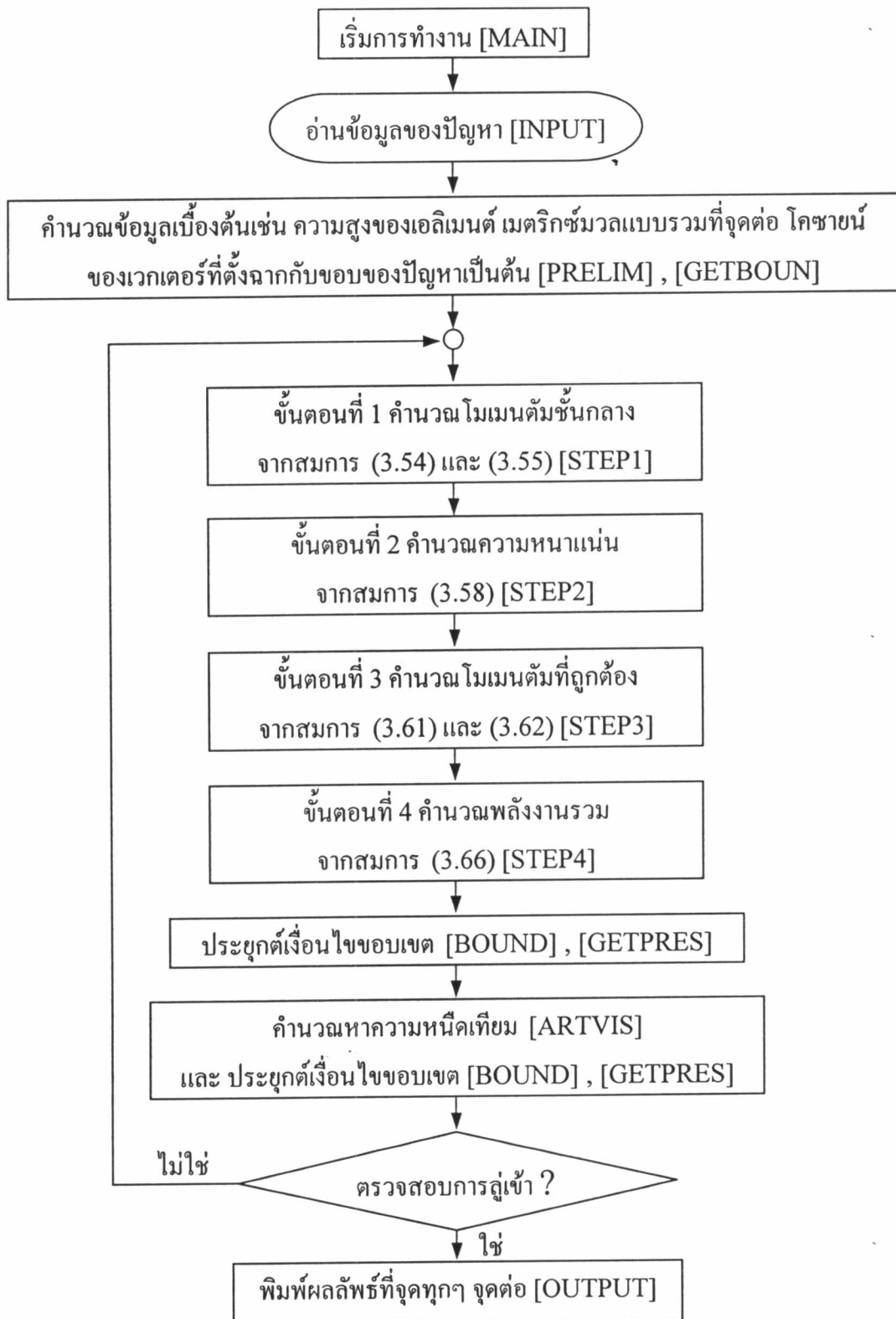
หลังจากโปรแกรม CBSHIFLOW ได้ทำการคำนวณสิ้นสุดลง โปรแกรมจะให้พิมพ์ชื่อเพิ่มข้อมูลผลลัพธ์เพื่อบรรจุค่าของความหนาแน่น ความเร็วและพลังงานรวมที่คำนวณได้ โดยเพิ่มข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม CBSHIFLOW มีลักษณะดังต่อไปนี้

บรรทัดแรก คำอธิบายผลลัพธ์  
 บรรทัดต่อมา หมายเลขจุดต่อ ค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว  $u$  ในแนวแกน  $x$  และ ค่าความเร็ว  $v$  ในแนวแกน  $y$  และค่าพลังงานรวม

ตัวอย่างเช่น

NODAL VALUES SOLUTIONS [ 862]:

NODE	RHO	U	V	E
1	0.100000E+01	0.984808E+00	-0.138777E-15	0.946428E+00
2	0.119133E+01	0.938976E+00	-0.582447E-17	0.928602E+00
3	0.132134E+01	0.921427E+00	-0.262575E-17	0.932206E+00
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
861	0.119133E+01	0.938976E+00	-0.582447E-17	0.928602E+00
862	0.132134E+01	0.921427E+00	-0.262575E-17	0.932206E+00



รูปที่ 4.1 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรม CBSHIFLOW