บทที่ 3

ลักษณะและรายละเอียดของโปรแกรม

โปรแกรมการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ขึ้นกับเวลา (HEAT3D)

โปรแกรมการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นกับเวลาถูกประดิษฐ์ขึ้นมาสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาใน 3 มิติและตั้งชื่อว่า HEAT3D ซึ่งจะมีคำอธิบายลักษณะและรายละเอียดต่างๆของโปรแกรมดังนี้

1. ลักษณะการทำงานของโปรแกรม HEAT3D

โปรแกรม HEAT3D ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (main program) และ 7 โปรแกรมย่อย (subprogram) ซึ่งทำงานตามขั้นตอนดังนี้

1.1 เริ่มต้นการทำงานจากการอ่านข้อมูลของปัญหา เช่น จำนวนจุดต่อและตำแหน่งของจุดต่อต่างๆ จำนวนเอลิเมนต์ต่างๆ คุณสมบัติต่างๆของโลหะ ฯลฯ ซึ่งเนื้อหาโปรแกรมจะอยู่ในช่วงต้นของโปรแกรม

1.2 คำนวณเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆทีละเอลิเมนต์จนครบหมด และสร้างเมตริกซ์ใหญ่ของระบบสมการรวมโดยเรียกโปรแกรมย่อย TETRA

1.3 ภายในโปรแกรมย่อย TETRA หากแต่ละเอลิเมนต์มีความร้อนชนิดใดเกิดขึ้น ก็จะเรียกโปรแกรมย่อยที่คำนวณหาความร้อนชนิดนั้นมาใช้ เช่นหากเกิดการนำความร้อนขึ้น จะเรียกใช้โปรแกรมย่อย CONDTE

หากเกิดการพาความร้อนจะเรียกใช้โปรแกรมย่อย CONVTE

หากเกิดความร้อนที่กำหนดให้จะเรียกใช้โปรแกรมย่อย EXHTE

ส่วนความร้อนผลิตเองสามารถคำนวณจากโปรแกรมย่อย TETRA ได้เอง

และคำนวณหาเมตริกซ์ที่เกี่ยวข้องกับเวลาโดยเรียกโปรแกรมย่อย TRANTE

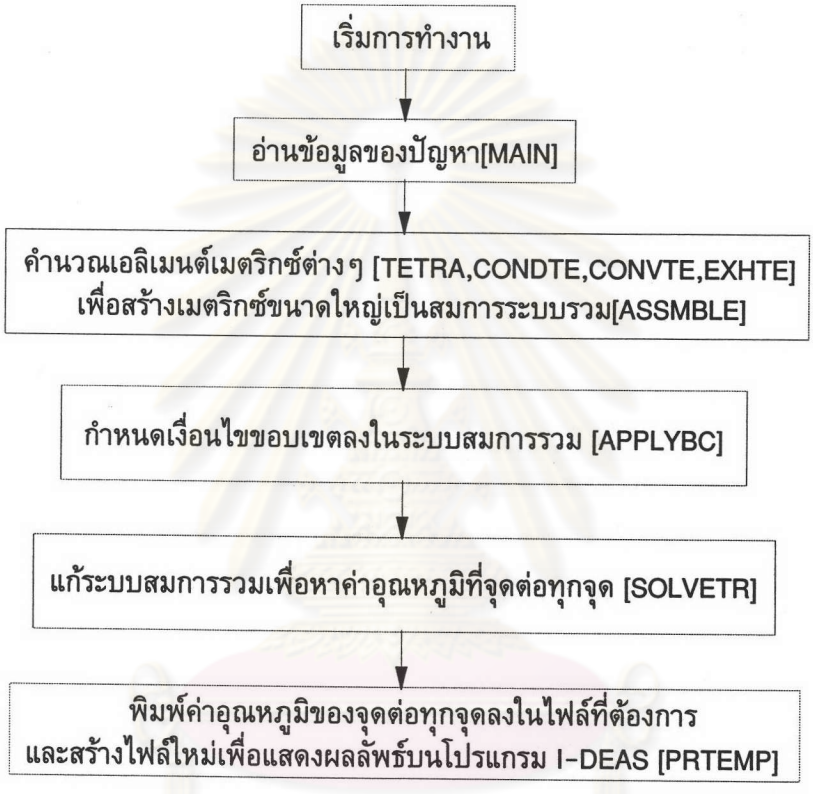
1.4 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตลงในระบบสมการรวม เช่น หากมีการกำหนดอุณหภูมิ ณ จุดต่อบางจุด จะเรียกใช้โปรแกรมย่อย APPLYBC

1.5 แก้ระบบสมการรวมเพื่อหาคำตอบเป็นอุณหภูมิของจุดต่อทั้งหมดโดยเรียกโปรแกรมย่อย SOLVETRA

1.6 พิมพ์คำตอบของอุณหภูมิที่จุดต่อทุกจุดลงในไฟล์ที่ผู้ใช้ต้องการ ได้แก่

ไฟล์ผลลัพธ์ใช้แสดงผลบน I-DEAS โดยเรียกโปรแกรมย่อย PRTEMP, ไฟล์ข้อมูลใหม่สำหรับการคำนวณครั้งต่อไป โดยเรียกโปรแกรมย่อย PRNEXT, ไฟล์ข้อมูลใหม่สำหรับโปรแกรมความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิ ซึ่งมีการสั่งจากโปรแกรมหลักและสามารถเลือกพิมพ์ผลลัพธ์ที่เวลาสุดท้ายหรือที่เวลาซึ่งมีค่าความชันของอุณหภูมิสูงสุดได้

ลำดับขั้นตอนข้างต้นสามารถเขียนอยู่ในรูปแผนภูมิดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแลกเปลี่ยนความร้อนที่ขึ้นกับเวลา·HEAT3D

หมายเหตุ : คำในวงเล็บ [ ] คือ ชื่อโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณนั้น

2. รายละเอียดของโปรแกรม HEAT3D

เนื้อหาภาษาฟอร์แทรนของโปรแกรมนี้ (program list) เริ่มจากโปรแกรมหลักและตามด้วยโปรแกรมย่อยทั้งหมด รายละเอียดต่างๆมีอยู่ในภาคผนวก ก

3. ลักษณะข้อมูลที่โปรแกรม HEAT3D ต้องการและให้ผลลัพธ์

ลักษณะข้อมูลที่โปรแกรม HEAT3D ต้องการ สามารถจำแนกออก เป็น 5 ส่วนย่อย ได้ดังนี้

3.1 ประโยคอธิบายกำกับลักษณะของไฟล์:

บรรทัดแรก ตัวเลขระบุจำนวนบรรทัดที่เป็นตัวอักษร

บรรทัดต่อไป ประโยคต่างๆซึ่งมีจำนวณเท่ากับที่ระบุในบรรทัดแรก

ตัวอย่างเช่น 2

FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR CONVECTION

FILE NAME IS HEAT1.DAT

3.2 ขนาดของปัญหา:

บรรทัดแรก คำระบุจำนวนจุดต่อและจำนวนเอลิเมนต์

บรรทัดที่ 2 ตัวเลขแสดงจำนวนจุดต่อและจำนวนเอลิเมนต์

ตัวอย่างเช่น

NPOIN	NELEM
10	15

3.3 คุณสมบัติต่างๆของปัญหา:

บรรทัดแรก คำระบุคุณสมบัติต่างๆ

บรรทัดที่ 2 ตัวเลขแสดงค่าความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ปริมาณความร้อนที่ผลิตเอง ปริมาณความร้อนที่ผลิตจากภายนอก และอุณหภูมิภายนอก

บรรทัดที่ 3 คำระบุเวลาต่างๆ

บรรทัดที่ 4 ตัวเลขแสดงเวลาเริ่มต้น เวลาสุดท้าย และ ช่วงของเวลา

3.4 ลักษณะของจุดต่อ :

บรรทัดแรก คำระบุลักษณะของจุดต่อ

บรรทัดต่อๆไป ตัวเลขแสดงหมายเลขของจุดต่อ เงื่อนไขขอบเขต ตำแหน่งในแนวแกน x,y และ z และอุณหภูมิของจุดต่อนั้นๆ

ตัวอย่างเช่น

NODE	IBC	X	Y	Z	TEMP
1	0	1.0	1.0	1.0	100.0
2	1	-1.0	-1.0	-1.0	500.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
80	0	0.5	0.5	0.5	0.0

หมายเหตุ : เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) แทนด้วย IBC ดังนี้

IBC = 1 กำหนดอุณหภูมิดังที่แสดงไว้

IBC = 0 คำนวณหาอุณหภูมิที่จุดต่อนั้น

3.5 ลักษณะของเอลิเมนต์

บรรทัดแรก คำระบุลักษณะของเอลิเมนต์

บรรทัดต่อๆไป ตัวเลขแสดงหมายเลขของเอลิเมนต์ หมายเลขจุดต่อทั้งสี่ที่ประกอบเป็นเอลิเมนต์ ชนิดของความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งสาม รหัสของความร้อนที่กระทำจากภายนอก และ รหัสของการพาความร้อน

ตัวอย่างเช่น

ELEMENT	I	J	K	L	LTYPE1..3	NGFACE1..4	NFACE1..4
1	1	2	3	4	1 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
2	8	5	7	2	0 1 0	0 0 0 1	0 0 0 0
:	:	:	:	:	:	:	:
80	92	1	3	5	0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0

หมายเหต : จุดต่อทั้งสี่ (I,J,K,L) ของเอลิเมนต์ใดๆ ให้ใส่ตัวเลขตามรูปที่ 2.1

ชนิดของความร้อนทั้งสามมีลักษณะดังนี้

LTYPE1 คือ ความร้อนที่ผลิตได้เอง

LTYPE2 คือ ความร้อนที่กระทำจากภายนอก

LTYPE3 คือ การพาความร้อน

โดย ถ้ามีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่มีความร้อนชนิดนั้นเกิดขึ้นที่เอลิเมนต์นั้น

ถ้ามีค่าเป็น 1 หมายถึงมีความร้อนชนิดนั้นเกิดขึ้นที่เอลิเมนต์นั้น

เช่น LTYPE1 = 0 หมายถึงไม่มีความร้อนผลิตได้เองเกิดขึ้น

ส่วนรหัสของความร้อนที่กระทำจากภายนอก (NGFACE) ,รหัสของการพาความร้อน (NFACE) นั้น แต่ละรหัสมี 4 ค่า แสดงถึงด้านทั้งสี่ของเอลิเมนต์ตามลำดับด้านที่1 ถึง ด้านที่4 ดังแสดงใน รูปที่ 2.2

โดย ถ้าด้านใดมีค่าเป็น 0 หมายถึงไม่มีความร้อนเกิดขึ้นด้านนั้น

ถ้าด้านใดมีค่าเป็น 1 หมายถึงมีความร้อนเกิดขึ้นด้านนั้น

เช่น จากตัวอย่างข้างบนพบว่า เอลิเมนต์ที่ 2 ประกอบด้วยจุดต่อเบอร์ 8-5-7-2 มีความร้อนที่กระทำจากภายนอก (LTYPE2=1) บนด้านที่ 4 ของเอลิเมนต์ (NGFACE4=1)

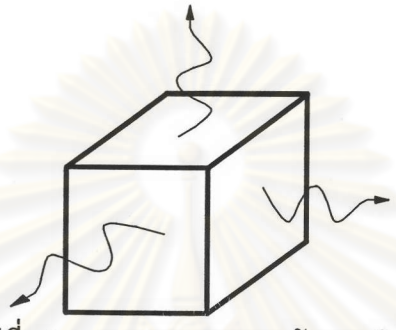
ลักษณะข้อมูลที่โปรแกรม HEAT3D ให้ผลลัพธ์ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆดังนี้

ก. แสดงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ ข้อมูลของเวลา ประเภทของความร้อนที่เกิดขึ้น ข้อมูลการจัดแบ่งเอลิเมนต์

ข. แสดงผลลัพธ์อุณหภูมิของทุกจุดต่อตามช่วงของเวลาที่ผู้ใช้ต้องการ

4. ตัวอย่าง

ก้อนอลูมินั่มรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีขนาดดังแสดงในรูป 3.2 และมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากันทั้งก้อนจากนั้นถูกปล่อยทิ้งให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิบรรยากาศโดยมีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวทั้งหมด



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดของก้อนอลูมินั่ม

ปัญหานี้สามารถหาอุณหภูมิบนผิวที่เวลาต่างๆได้โดยอาศัยสมการอนุพันธ์ย่อยเชิงเส้น (สมการ 2.1) และเงื่อนไขขอบเขต (สมการ 2.3) ซึ่งจะได้ผลเฉลยแม่นตรงของการกระจายของอุณหภูมิออกมาดังนี้

$$T(t) = T_o e^{-\lambda t} \qquad (3.1)$$

โดย

$$\lambda = \frac{hA_s}{\rho cV}$$

คุณสมบัติต่างๆมีดังนี้

ความหนาแน่นเชิงมวลของอลูมินั่ม (ρ) = 0.2836 กรัม/ลบ. มม.

ค่าความร้อนจำเพาะ (c) = 0.111 จูล/กรัม/°ซ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) = 0.00533 จูล/°ซ/มม./วินาที

ค่าสัมประสิทธ์การพาความร้อน (h) = 3.4×10^{-6} จูล/°ซ/ตร.มม./วินาที

พื้นที่ผิวทั้งหมดที่มีการพาความร้อน (A_s) = 6.0 ตร.มม.

ปริมาตรทั้งหมด (V) = 1.0 ลบ.มม.

อุณหภูมิบรรยากาศ = 0.0 °ซ

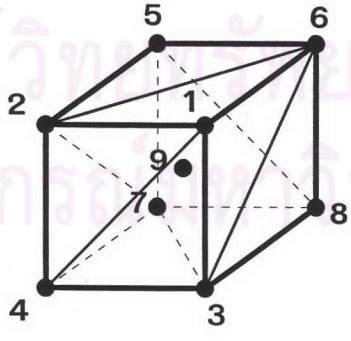
อุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) = 200.0 °ซ

สำหรับการหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรมการถ่ายเทความร้อน (HEAT3D) จะมีรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องใช้ดังต่อไปนี้

```
1
DATA FROM I-DEAS IN COSMIC-NASTRAN FORMAT
  NPOIN   NELEM
```

```
    9     12
 DEN      SH       TK        H        Q       QS       TI
.2836   .1110  0.00533  3.4E-06    .000     .000     0.00
   ST      FT       TS
 .000  10000.     0.10
NODAL BOUNDARYCONDITIONS AND COORDINATES [9]:
  1     0     0.50000   0.50000   0.50000         200.0
  2     0    -0.50000   0.50000   0.50000         200.0
  3     0     0.50000  -0.50000   0.50000         200.0
  4     0    -0.50000  -0.50000   0.50000         200.0
  5     0    -0.50000   0.50000  -0.50000         200.0
  6     0     0.50000   0.50000  -0.50000         200.0
  7     0    -0.50000  -0.50000  -0.50000         200.0
  8     0     0.50000  -0.50000  -0.50000         200.0
  9     0      .00000    .00000    .00000         200.0
ELEMENT NODAL CONNECTIONS AND HEAT MODES [12]:
  1     4   1   3   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  2     4   2   1   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  3     3   1   6   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  4     2   6   1   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  5     7   2   4   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  6     7   4   3   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  7     3   6   8   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  8     7   3   8   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
  9     7   5   2   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
 10     2   5   6   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
 11     8   6   5   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
 12     8   5   7   9     0 0 1     0 0 0 0     1 0 0 0
```

การจัดแบ่งเอลิเมนต์จะประกอบไปด้วย 9 โหนด และ 12 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 3.3 และมีการพาความร้อนเกิดขึ้นบนผิวด้านที่ 1 ของทุกเอลิเมนต์ หรือ การแสดงข้อมูลข้างบนจะมีค่า LTYPE3 = 1 แสดงถึงการเกิดการพาความร้อนบนเอลิเมนต์ และค่า NFACE1 = 1 แสดงถึงการเกิดการพาความร้อนบนด้านที่ 1 ของเอลิเมนต์



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์แบบทรงเหลี่ยมสี่หน้า

เมื่อทำการใช้โปรแกรม STRESS3D ในการคำนวณ จะปรากฏขั้นตอนต่างๆ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังต่อไปนี้(ตัวอักษรหนาแสดงถึงข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องป้อนเข้า)

```
PLEASE ENTER THE INPUT FILE NAME:
heat15.dat
```

```
 DO YOU WANT TO CREAT NEW INPUT FILE FOR NEXT TIME? ( YES:1 , NO:0 )
0

 PLEASE ENTER FILE NAME FOR TEMPERATURE SOLUTIONS:
heat15.out

CREAT THE PLOT FILE NAME ( YES:1 , NO:0 ) :
1

 PLEASE INPUT THE PLOT FILE NAME ::
heat15.unv

DO YOU WANT TO PREPARE DATA FOR THERMAL STRESS ANALYSIS ?
       NO: -2 , YES: 0 ::
-2

Number of Time Steps =     100000
INPUT RANGE TIME STEP FOR PRINTING OUTPUT DATA
5000

THE F.E. MODEL INCLUDES THE FOLLOWING HEAT TRANSFER MODE(S):
  -- HEAT CONDUCTION
  -- SURFACE CONVECTION

*** FINITE ELEMENT MODEL CONSISTS OF    9 NODES AND   12 ELEMENTS***

*ESTABLISHING ELEMENT MATRICES AND ASSEMBLING ELEMENT EQUATIONS*

*** SOLVING ***
 Time step =        1
 Time step =    5000
             :
             :
             :
             :
             :
 Time step = 100000

Stop - Program terminated.
```

โปรแกรม HEAT3D จะเริ่มต้นสอบถามถึงชื่อไฟล์ข้อมูล ความต้องการสร้างและชื่อไฟล์ข้อมูลใหม่สำหรับการคำนวณครั้งต่อไปโดยเวลาเริ่มต้นจะเท่ากับเวลาสุดท้ายของไฟล์ข้อมูลเดิม ชื่อไฟล์ผลลัพธ์ ความต้องการสร้างและชื่อไฟล์ผลลัพธ์สำหรับการแสดงผลบนโปรแกรม I-DEAS ความต้องการสร้างและชื่อไฟล์สำหรับเป็นไฟล์ข้อมูลของการคำนวณด้วยโปรแกรม STRESS3D จากนั้นโปรแกรม HEAT3D จะแสดงจำนวนช่วงเวลาทั้งหมดและสอบถามถึงทุกช่วงเวลาที่ต้องการแสดงผลลัพธ์ไปยังไฟล์ผลลัพธ์ และต่อไปโปรแกรมจะแสดงข้อมูลต่าง ๆรวมทั้งขั้นตอนในการคำนวณออกมาจนจบ

โปรแกรม HEAT3D จะให้ไฟล์ผลลัพธ์ออกมาซึ่งจะมีรายละเอียดต่าง ๆดังนี้

**** MATERIAL PROPERTIES ****

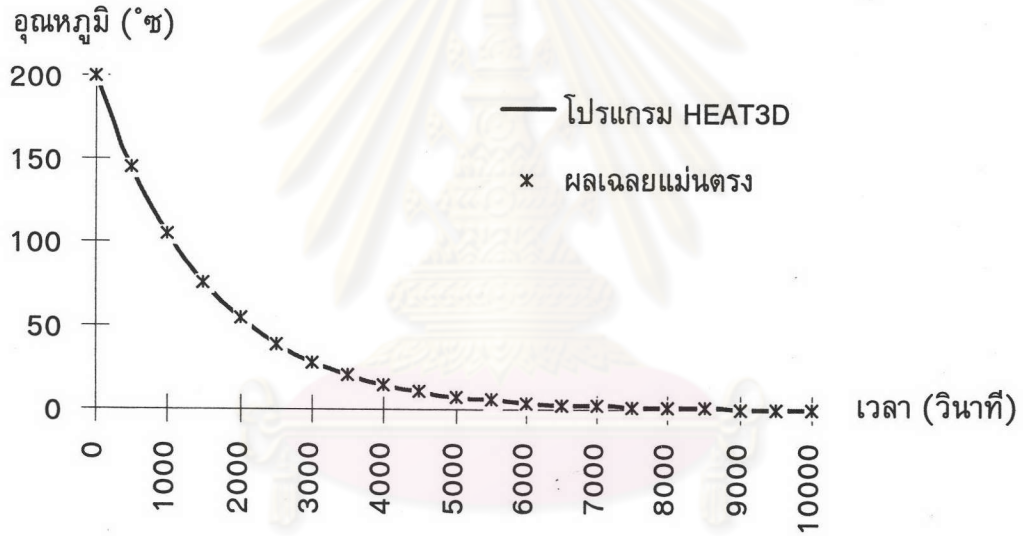
```
Density       = .284E+00   ,        Specific Heat =   .111E+00
Convection Coefficient =   .340E-05 , Internal Heat =   .000E+00
External Heat =   .000E+00   ,   Ambient Temperature =   .000E+00
Thermal Conductivity Coefficient = 0.00533

 *** Time History ***
Starting Time =     .0000 , Final Time =20000.0000
Time Step =     .1000 , Range Time Step to print =    1000


THE F.E. MODEL INCLUDES THE FOLLOWING HEAT TRANSFER MODE(S):
  -- HEAT CONDUCTION
  -- SURFACE CONVECTION


*** THE FINITE ELEMENT MODEL CONSISTS OF    9 NODES AND   12 ELEMENTS

 NODAL TEMPERATURE SOLUTIONS [    9]:

 NODE   TEMPEARTURE

                  TIME STEP is :        1
   1  .199983E+03
   2  .199983E+03
   3  .199983E+03
   4  .199983E+03
   5  .199983E+03
   6  .199983E+03
   7  .199983E+03
   8  .199983E+03
   9  .200000E+03

                  TIME STEP is :      5000
   1  .144637E+03
   2  .144642E+03
   3  .144642E+03
   4  .144637E+03
   5  .144637E+03
   6  .144642E+03
   7  .144642E+03
   8  .144637E+03
   9  .144675E+03

                  TIME STEP is :     10000
   1  .104608E+03
   2  .104611E+03
   3  .104611E+03
   4  .104608E+03
   5  .104608E+03
   6  .104611E+03
   7  .104611E+03
   8  .104608E+03
   9  .104635E+03

                      :
```

.....

TIME STEP is : 100000

1 .306675E+00
2 .306686E+00
3 .306686E+00
4 .306675E+00
5 .306675E+00
6 .306686E+00
7 .306686E+00
8 .306675E+00
9 .306756E+00

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม HEAT3D กับผลเฉลยแม่นตรงจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.015 % ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 กราฟอุณหภูมิที่ผิว ณ เวลาต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>โปรแกรมความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิ (STRES3D)</u>

โปรแกรมความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิถูกประดิษฐ์ขึ้นมาสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาใน 3 มิติและตั้งชื่อว่า STRES3D ซึ่งจะมีลักษณะและรายละเอียดต่างๆของโปรแกรมดังต่อไปนี้

1. ลักษณะการทำงานของโปรแกรม STRES3D

โปรแกรม STRES3D ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (main program) และ 7 โปรแกรมย่อย (subprogram) ซึ่งทำงานตามขั้นตอนดังนี้

1.1 เริ่มต้นการทำงานโดยอ่านข้อมูลของปัญหา เช่น จำนวนจุดต่อและเอลิเมนต์ตำแหน่งต่างๆของจุดต่อและเอลิเมนต์ คุณสมบัติของแผ่นโลหะ ฯลฯ ซึ่งจะอ่านในช่วงแรกของโปรแกรมหลัก [main program]

1.2 คำนวณหาเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆโดยเรียกใช้โปรแกรมย่อย CSTTR ซึ่งจะส่งผ่านเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆที่คำนวณได้ไปสร้างเมตริกซ์ใหญ่ของสมการระบบรวมโดยเรียกโปรแกรมย่อย ASSMBLE

1.3 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตลงในสมการระบบรวมโดยเรียก โปรแกรมย่อย APPLYBC เช่น บางจุดต่อจะถูกตรึงแน่นเคลื่อนที่ไม่ได้ บางจุดต่อหรือบางผิวของเอลิเมนต์จะมีแรงภายนอกมากระทำ เป็นต้น

1.4 แก้สมการระบบรวมเพื่อหาค่าเคลื่อนตัว u,vและw ของทุกจุดต่อโดยเรียกใช้โปรแกรมย่อย SOLVE

1.5 คำนวณหาค่าความเค้น $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}$และ$\tau_{xz}$ ของทุกจุดต่อโดยเรียกโปรแกรมย่อย STRSTR

1.6 พิมพ์คำตอบของค่าเคลื่อนที่และความเค้นของทุกจุดต่อลงในไฟล์ที่ผู้ใช้ต้องการและสร้างไฟล์ใหม่ที่บรรจุข้อมูลทุกอย่าง เพื่อใช้แสดงผลบนโปรแกรม I-DEAS โดยเรียกใช้โปรแกรมย่อย PRDIS

ลำดับขั้นตอนข้างต้นสามารถเขียนอยู่ในรูปแผนภูมิดังในรูปที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมความเค้นเนื่องจากความร้อน STRES3D

หมายเหตุ : คำในวงเล็บ [ ] คือ ชื่อโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณนั้น

2. รายละเอียดของโปรแกรม STRES3D

เนื้อหาภาษาฟอร์แทรนของโปรแกรมมีรายละเอียดในภาคผนวก ข

3. ลักษณะข้อมูลที่โปรแกรม STRES3D ต้องการและให้ผลลัพธ์

ลักษณะข้อมูลที่โปรแกรม STRES3D ต้องการ ประกอบไปด้วย 6 ส่วยย่อย ดังนี้

3.1 ประโยคอธิบายลักษณะของไฟล์ :

บรรทัดแรก คำระบุจำนวนบรรทัดที่เป็นตัวอักษร

บรรทัดต่อไป ประโยคต่างๆซึ่งมีจำนวนเท่ากับที่ระบุในบรรทัดแรก

ตัวอย่างเช่น 2

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THERMAL STRESS

HEATED ROD AT 12 SEC.

3.2 ขนาดของปัญหา :

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรทัดแรก คำระบุจำนวนจุดต่อ, เอลิเมนต์และแรงภายนอก

บรรทัดที่ 2 ตัวเลขจำนวนจุดต่อ, เอลิเมนต์และแรงภายนอก

ตัวอย่างเช่น

NPOIN	NELEM	NFORCE
80	95	6

3.3 คุณสมบัติต่างๆของปัญหา :

บรรทัดแรก คำระบุคุณสมบัติต่างๆ

บรรทัดที่ 2 ตัวเลขแสดงค่าคงที่ของการยืดหยุ่น อัตราส่วนปัวส์ซง สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิและอุณหภูมิอ้างอิงที่ไม่มีความเค้น

ตัวอย่างเช่น

ELAS	PR	ALPHA	TREF
3.0E+07	0.29	1.04E-05	82.0

3.4 ลักษณะของจุดต่อ :

บรรทัดแรก คำระบุลักษณะของจุดต่อ

บรรทัดต่อไป ตัวเลขแสดงหมายเลขของจุดต่อ เงื่อนไขขอบเขตของค่าเคลื่อนที่ในแนวx,y,z ตำแหน่งของจุดต่อ และอุณหภูมิของจุดต่อ

ตัวอย่างเช่น

NODE	IBCX	IBCY	IBCZ	X	Y	Z	TEMP
1	0	1	0	1.0	1.0	1.0	500.0
2	0	0	0	-1.0	1.0	0.5	0.0
:	:	:	:	:	:	:	:
80	1	1	1	0.0	0.0	0.0	500.0

หมายเหตุ : เงื่อนไขขอบเขตในทิศทาง x,yหรือz หมายถึง

IBC = 1 จุดต่อนั้นถูกยึดไม่ให้เคลื่อนที่ในทิศทางนั้นๆ

IBC = 0 คำนวณหาการเคลื่อนที่ในทิศทางนั้นๆ

เช่น จากตัวอย่างข้างบน จุดต่อที่ 1 จะไม่มีการเคลื่อนที่ตามแกน Y แต่จะมีอิสระในการเคลื่อนที่ตามแกน X และ Z โดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 500

3.5 ลักษณะของเอลิเมนต์

บรรทัดแรก คำระบุลักษณะของเอลิเมนต์

บรรทัดต่อๆไป หมายเลขของจุดต่อทั้งสี่ตามรูปที่ 2.1 รหัสของด้านทั้งสี่ของเอลิเมนต์ที่รับแรง ค่าของแรงกระทำบนด้านทั้งสี่

ตัวอย่างเช่น

ELEMT	I	J	K	L	LTYPE1...4	FT1...4
1	15	20	2	1	1 0 0 0	1.E+3 0 0 0
2	8	6	18	5	0 0 0 0	0 0 0 0
:	:	:	:	:	: : : :	: : : :

:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
95	80	76	42	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : รหัสของด้านทั้งสี่ของเอลิเมนต์ที่รับแรง (LTYPE1..4) หมายถึงด้านทั้งสี่ของเอลิเมนต์ ดังในรูป 2.2 โดย 0 หมายถึงมีแรงกระทำบนด้านนั้น และ 1 หมายถึงไม่มีแรงกระทำ

ส่วนค่าของแรงกระทำบนด้านทั้งสี่ (FT1..4) หมายถึง ค่าของแรงกระทำที่มีอยู่บนด้านต่างๆของเอลิเมนต์

เช่น จากตัวอย่างข้างต้น เอลิเมนต์ที่ 1 มีแรงกระทำขนาด 1.0E+03 (FT1=1.E+3) กระทำบนด้านที่ 1 (LTYPE1=1) เป็นต้น

3.6 แรงภายนอกที่มากระทำที่จุดต่อต่างๆ

บรรทัดแรก คำระบุแรงภายนอก

บรรทัดต่อๆไป ตัวเลขจุดต่อที่มีแรงภายนอกมากระทำ แรงภายนอกในทิศ X , Y และ Z และจำนวนบรรทัดจะต้องเท่ากับจำนวนแรงกระทำ (NFORCE) ที่ระบุไว้ในส่วนที่ 2

ตัวอย่างเช่น

NPOIN	FX	FY	FZ
12	1.0E+03	-5.6E+02	0.0
42	1.0E+03	0.0	0.0
:	:	:	:
76	2.0E+02	0.0	0.0

ลักษณะไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม STRES3D มีดังนี้

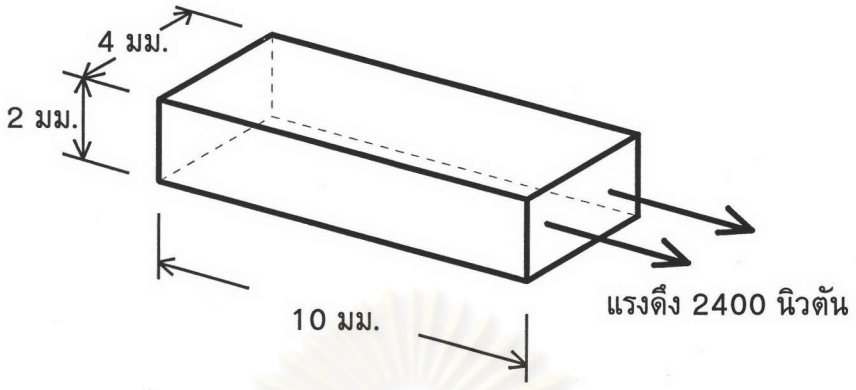
ก. คุณสมบัติต่างๆของวัสดุ ข้อมูลของการจัดแบ่งเอลิเมนต์ และข้อมูลของการคำนวณ

ข. แสดงค่าการเคลื่อนที่ของแต่ละจุดต่อในทิศทาง x,y,z ก็คือค่า u,v,w และในตอนท้ายจะแสดงค่าการเคลื่อนที่สูงสุดและต่ำสุดไว้รวมทั้งเบอร์จุดต่อของค่าการเคลื่อนที่

ค. แสดงค่าความเค้นในแนว x,y,z ความเค้นเฉือนในระนาบ xy,yz,xz และความเค้นแบบ Von Mises และในช่วงท้ายจะแสดงค่าความเค้นต่างๆที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดรวมทั้งเบอร์จุดต่อของค่าความเค้น

4. ตัวอย่าง

แท่งเหล็กยาวตรง ปลายด้านหนึ่งถูกยึดติดแน่น ส่วนปลายอีกด้านมีแรงดึงขนาด 2400 นิวตันกระทำอยู่ ดังแสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงรูปทรงและแรงดึงของแท่งเหล็กยาวตรง

แท่งเหล็กจะเกิดความเค้นดึงขนาด (Singer and Pytel,1980)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{2400}{2x4} = 300 \text{ นิวตัน/ตร.มม.}$$

และจะเกิดระยะยืดที่บริเวณผิวด้านที่ถูกแรงดึงดังนี้ (Singer and Pytel, 1980)

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

$$= \frac{2400x10}{8x17.5E+03} \text{ มม.}$$

$$= .1714 \text{ มม.}$$

สำหรับการหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรมความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิ STRES3D จะมีรายละเอียดของข้อมูลดังนี้

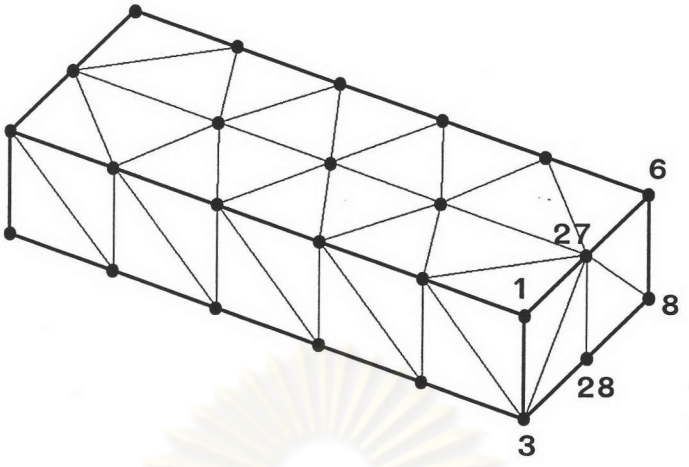
```
      2
DATA FROM I-DEAS IN COSMIC-NASTRAN FORMAT
FILE NAME IS  BEAM52.DAT
  NPOIN   NELEM   NFORCE   ITYPE
    41      88       6        0
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    ELAS          PR        ALPHA          TREF
 .17500E+05   .298     .6480E-05      71.330
NODAL BOUNDARYCONDITIONS AND COORDINATES :
 1     0 0 0     5.00000    1.00000    2.00000          .0000
 2     1 0 1    -5.00000    1.00000    2.00000          .0000
 3     0 0 0     5.00000   -1.00000    2.00000          .0000
 4     1 1 1    -5.00000   -1.00000    2.00000          .0000
 5     1 0 0    -5.00000    1.00000   -2.00000          .0000
 6     0 0 0     5.00000    1.00000   -2.00000          .0000
 7     1 1 0    -5.00000   -1.00000    -2.00000         .0000
 8     0 0 0     5.00000   -1.00000    -2.00000         .0000
                              :
                              :
                              :
                              :
                              :
36     0 0 0     1.76190     .14286    1.14286          .0000
37     0 0 0     1.05556     .00000    -.66667          .0000
38     0 0 0    -3.58333     .00000     .00000          .0000
39     0 0 0    -4.00000     .00000    1.00000          .0000
40     0 0 0    -3.27381    -.14286     .71429          .0000
41     0 0 0    -4.28571     .00000    1.28571          .0000
ELEMENT NODAL CONNECTIONS AND FORCE MODES :
 1    3   27   9    1   0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 2   20   22   34   19  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 3   31   20   21   22  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 4   31   34   20   22  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
 5   27   31   9    34  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
                                        :
                                        :
                                        :
                                        :
                                        :
                                        :
84  30   24   33   23  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
85  26   24   25   38  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
86  30   24   26   38  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
87  33   24   30   38  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
88  25   24   33   38  0 0 0 0  .000E+00  .000E+00  .000E+00  .000E+00
   NODAL FORCES :
 1     200.     0.      0.
 3     400.     0.      0.
 6     200.     0.      0.
 8     400.     0.      0.
27     800.     0.      0.
28     400.     0.      0.
```

การจัดแบ่งเอลิเมนต์จะประกอบไปด้วย 41 จุดต่อ และ 88 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูป 3.6 มีแรงดึงในทิศแกน X เพียงอย่างเดียว ทำให้ค่า ITYPE = 0 และแรงกระทำบน 6 จุดต่อ ซึ่งทำให้ค่า NFORCE = 6 และจุดต่อทั้ง 6 คือ 1,3,6,8,27 และ 28

I16843538



รูปที่ 3.6 แสดงการจัดแบ่งเอลิเมนต์ 41 จุดต่อ 88 เอลิเมนต์

จากนั้นนำไฟล์ข้อมูลมาคำนวณโดยเรียกโปรแกรม STRES3D ออกมาใช้ ซึ่งจะปรากฏขั้นตอนบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังนี้

```
PLEASE ENTER THE INPUT FILE NAME:
beam52.dat

PLEASE ENTER FILE NAME FOR DISPLACEMENT AND STRESS SOLUTIONS:
beam52.out
 CREAT THE PLOT FILE NAME ( YES:1 , NO:0 ) :
1

PLEASE INPUT THE PLOT FILE NAME ::
beam52

****  BEGIN READING INPUT DATA ****
          the total number of NODES     =  41
          the total number of ELEMENTS  =  88
          required memory               =  .1330E+06  Bytes
  +++ BEGIN ESTABLISHING ELEMENT MATRICES AND ASSEMBLING ELEMENT
EQUATIONS +++
  +++ END ASSEMBLING ELEMENT EQUATIONS +++
****  END READING INPUT DATA  ****

**** BEGIN APPLYING BOUNDARY CONDITIONS ****
**** END APPLYING BOUNDARY CONDITIONS   ****

**** BEGIN SOLVING DISPLACEMENT SOLUTIONS ****
          total number of Equations          =  123
          required number of Half-bandwidth  =  120
**** END SOLVING DISPLACEMENT SOLUTIONS   ****

**** BEGIN SOLVING STRESS SOLUTIONS ****
**** END SOLVING STRESS SOLUTIONS    ****
```

```
Stop - Program terminated.
```

โปรแกรม STRES3D จะเริ่มต้นสอบถามถึงไฟล์ข้อมูล ซึ่งในที่นี้ก็คือ beam52.dat แล้วจะสอบถามชื่อไฟล์ผลลัพธ์(beam52.out) และไฟล์ผลลัพธ์(beam52.unv)ที่จะนำกลับไปแสดงบน I-DEAS โดยจะสอบถามก่อนว่าต้องการจะสร้างหรือไม่ และถ้าต้องการก็จะให้ใส่เพียงชื่อขึ้นต้นเท่านั้น จากนั้นโปรแกรมจะแสดงข้อมูลและขั้นตอนการคำนวณต่างๆออกมาจนจบ

เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้นจะได้ไฟล์ผลลัพธ์ออกมาดังนี้

```
**** MATERIAL PROPERTIES ****
        YOUNG MODULUS         =  .175E+05
        POSSION RATIO         =     .298
        THERMAL EXPANSION     =  .648E-05
        REFERENCE TEMPERATURE =    71.330

**** FINITE ELEMENT MODEL DATA ****
    NUMBER OF NODE    =    41
    NUMBER OF ELEMENT =    88

**** SOLVER DATA ****
           total number of Equations          = 123
           required number of Half-bandwidth  = 120

 NODAL DISPLACEMENT SOLUTIONS [  41]:

 NODE          U           V           W

   1  .171429E+00 -.102171E-01  .969201E-15
   2  .000000E+00 -.102171E-01  .000000E+00
   3  .171429E+00  .298143E-14  .852304E-15
   4  .000000E+00  .000000E+00  .000000E+00
   5  .000000E+00 -.102171E-01  .204343E-01
   6  .171429E+00 -.102171E-01  .204343E-01
                        :
                        :
                        :
                        :
                        :
  36  .115918E+00 -.583838E-02  .437876E-02
  37  .103810E+00 -.510857E-02  .136229E-01
  38  .242858E-01 -.510857E-02  .102171E-01
  39  .171429E-01 -.510857E-02  .510857E-02
  40  .295918E-01 -.437876E-02  .656814E-02
  41  .122450E-01 -.510857E-02  .364900E-02


 MAXIMUM DISPLACEMENTS

        8           8           6
  .171429E+00  .315865E-14  .204343E-01
```

MINIMUM DISPLACEMENTS

```
      2          2          2
.000000E+00  -.102171E-01   .000000E+00
```

NODAL STRESS SOLUTIONS [41]:

```
NODE    SXX              SYY              SZZ
            SXY              SYZ              SXZ       SVON

 1  .30000E+03       -.20130E-12       -.37588E-13
        -.28650E-12       .15030E-12       -.28824E-12  .30000E+03
 2  .30000E+03       -.49417E-12       -.93854E-12
         .13116E-12       .10662E-12        .80990E-12  .30000E+03
 3  .30000E+03       -.75952E-13        .11895E-12
        -.13370E-12       .90111E-13       -.17794E-12  .30000E+03
 4  .30000E+03       -.20002E-12       -.39589E-12
         .39395E-12       .45636E-13        .57864E-12  .30000E+03
 5  .30000E+03        .15010E-12       -.55154E-12
         .63148E-12       -.42683E-12        .10525E-12  .30000E+03
                                :
                                :
                                :
                                :
                                :
40  .30000E+03       -.13577E-12       -.10303E-12
        -.11620E-12       -.11676E-12        .10928E-12  .30000E+03
41  .30000E+03       -.39083E-12       -.74399E-12
         .18631E-12       .80710E-14        .60526E-12  .30000E+03
```

MAXIMUM STRESSES

```
      7       5       7       1       28      2       7

.30000E+03       .52060E-12        .23300E-12
         .63148E-12       .15030E-12        .80990E-12  .30000E+03
```

MINIMUM STRESSES

```
     12       1       2       5       2       1       12

.30000E+03       -.49417E-12       -.93854E-12
        -.28650E-12       -.42683E-12       -.28824E-12  .30000E+03
```

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จาก 2 วิธี พบว่า

ค่าความเค้นดึงมีค่าเท่ากัน คือ 3000 นิวตัน/ตร.มม.

ค่าการเคลื่อนที่ ณ ผิวที่รับแรงดึงมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.1714 มม.