สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญรูปภาพ ช
รายการสัญลักษณ์ ฎ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
1.4 ขอบเขตของโครงงาน 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานโครงการ 6
ทฤษฎีการวิเคราะห์ปัญหาการนำความร้อนด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ 6
- อุณหภูมิและฟลักซ์ความร้อน 6
- สมการการนำความร้อนสภาวะอยู่ตัว (Steady State Equations) 7
- สมการการนำความร้อนสภาวะไม่อยู่ตัว (Unsteady State Equations) 9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนในการคำนวณหาการกระจายตัวของอุณหภูมิ ในวัสดุที่มีสมบัติแบบลดละดับ **19**

3.1 คำนวณค่าการนำความร้อน 19

3.2 ขั้นตอนการกำหนดสมบัติ และคำนวณการกระจายตัว ของอุณหภูมิของวัสดุแบบ FGM ในโปรแกรม Abaqus 22

บทที่ 4 ผลการคำนวณหาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มีสมบัติแบบลดระดับ ในโปรแกรม Abaqus และวิเคราะห์ **32**

4.1 ผลการคำนวณค่าการกระจายตัวภายในวัสดุที่มีสมบัติแบบลดระดับ ด้วยโปรแกรม Abaqus 32

4.2. ผลการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิในวัสดุที่มีสมบัติแบบลดระดับ ด้วยโปรแกรม Abaqus เพื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับผลจากเอกสารอ้างอิง 38

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ **51**

บรรณานุกรม **53**

ภาคผนวก **54**

ภาคผนวก ก ข้อมูลแสดงรูปภาพการกระจายตัวของอุณหภูมิ 55

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	ขั้นตอนการผลิตวัสดุที่มีคุณสมบัติแบบลดระดับ	1
รูปที่ 2.1	ปริมาตรควบคุมสำหรับการวิเคราะห์การนำความร้อนในวัตถุสามมิติ	7
รูปที่ 2.2	Isoparametric quadratic triangular element of 6 nodes. The intrinsic coordinate space is the right triangle in (ξ,η) space with $\xi \geq 0, \eta \geq 0$ and $\xi + \eta \leq 1$.	15
รูปที่ 3.1	แสดงปัญหาเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นของ FGM กับอุณหภูมิที่คงที่บน 2 ระนาบ เงื่อนไขขอบเขตคุณสมบัติของวัสดุ	20
รูปที่ 3.2	แสดงปัญหาเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นของ FGM กับ Linear Heat Flux และอุณหภูมิที่ผิว (Ø=1000*x*)	21
รูปที่ 3.3	แสดงการเริ่มต้นด้วยการกำหนด Part	22
รูปที่ 3.4	แสดงการกำหนดค่า Property ต่างๆ	23
รูปที่ 3.5	แสดงการทำการประกอบ (Assembly)	24
รูปที่ 3.6	แสดงการกำหนด Step	25
รูปที่ 3.7	แสดงการกำหนดโหลด	26
รูปที่ 3.8	แสดงการสร้างMesh	27
รูปที่ 3.9	แสดงขั้นตอนการรันโปรแกรม	28
รูปที่ 3.10	แสดงผลรันของกรณีศึกษาที่ 1	29
รูปที่ 3.11	แสดงการใส่โหลดตามเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้น	30
รูปที่ 3.12	แสดงผลรันในกรณีศึกษาที่ 2	31
รูปที่ 4.1	แสดงผลการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ 1000 Element และเวลา t=0.5 นาที	32
รูปที่ 4.2	แสดงผลการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ 1210 Element และเวลา t=0.5 นาที	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ 1690 Element และเวลา t=0.5 นาที 34

รูปที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ 1000 Element และเวลา t=0.5 นาที 35

รูปที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ 1210 Element และเวลา t=0.5 นาที 36

รูปที่ 4.6 แสดงผลการคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ 1690 Element และเวลา t=0.5 นาที 37

รูปที่ 4.7 คอนทัวร์แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเอกสารอ้างอิงกับการคำนวณของโปรแกรมอาบาคัส ในลักษณะงาน 2 มิติ ที่ 1000 Element t = 0.5 นาที 38

รูปที่ 4.8 คอนทัวร์แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเอกสารอ้างอิง กับการคำนวณของโปรแกรมอาบาคัส ในลักษณะงาน 3 มิติ ที่ 1000 Element t = 0.5 นาที 39

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิกับระยะทางเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.001 นาที 40

รูปที่ 4.10 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.01 นาที 41

รูปที่ 4.11 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.02 นาที 42

รูปที่ 4.12 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.05 นาที 43

รูปที่ 4.13 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.1 นาที 44

รูปที่ 4.14 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่ Steady State 45

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบ 46
ระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.2 นาที
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบ 47
ระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.05 นาที
รูปที่ 4.17 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบ 48
ระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.01 นาที
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบ 49
ระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.005 นาที
รูปที่ 4.19 แสดงกราฟการกระจายตัวของอุณหภูมิเปรียบเทียบ 50
ระหว่างผลการทดลองกับเอกสารอ้างอิงที่เวลา t= 0.001 นาที
รูปที่ ก.1 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.1 นาที 56
รูปที่ ก.2 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.01 นาที 56
รูปที่ ก.3 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.02 นาที 57
รูปที่ ก.4 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.05 นาที 57
รูปที่ ก.5 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.001 นาที 58
รูปที่ ก.6 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.1 นาที 58
รูปที่ ก.7 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.01 นาที 59
รูปที่ ก.8 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.02 นาที 59
รูปที่ ก.9 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.01 นาที 60
รูปที่ ก.10 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.001 นาที 60
รูปที่ ก.11 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.1 นาที 61
รูปที่ ก.12 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.01 นาที 61
รูปที่ ก.13 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.02 นาที 62
รูปที่ ก.14 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.05 นาที 62
รูปที่ ก.15 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.001 นาที 63
รูปที่ ก.16 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.2 นาที 63

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.17 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.05 นาที 64
รูปที่ ก.18 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.01 นาที 64
รูปที่ ก.19 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.005 นาที 65
รูปที่ ก.20 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.001 นาที 65
รูปที่ ก.21 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.2 นาที 66
รูปที่ ก.22 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.05 นาที 66
รูปที่ ก.23 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.01 นาที 67
รูปที่ ก.24 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.005 นาที 67
รูปที่ ก.25 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.001 นาที 68
รูปที่ ก.26 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.2 นาที 68
รูปที่ ก.27 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.05 นาที 69
รูปที่ ก.28 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.01 นาที 69
รูปที่ ก.29 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.005 นาที 70
รูปที่ ก.30 แสดงกราฟและคอนทัวร์ที่เวลา t=0.001 นาที 70
รูปที่ ก.31 แสดง Flowchart การคำนวณโดยใช้ Fortran 71
รูปที่ ก.32 แสดงการเขียนโปรแกรม FORTRAN เพื่อคำนวณการกระจายตัวของอุณหภูมิ แบบ Steady State แล้วนำผลที่ได้จากการ คำนวณไป Plot เป็นกราฟ 72
รูปที่ ก.33 กราฟแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ (Steady State) ในวัสดุแบบFGM. 72

รายการสัญลักษณ์

k	=	Thermal Conductivity	[W/m.K]
c	=	Specific Heat	[J/kg.K]
q	=	Heat Flux	[W/m^2]
t	=	Time	[s]
T	=	Temperature	[°C]
ϕ	=	Temperature Function	[°C]
n	=	Normal Unit	
β	=	Non-homogeneous Parameter	

ประมวลศัพท์และคำย่อ

FGM	=	Functionally Graded Materials
LT	=	Laplace Transform
BEM	=	Boundary Element Method
LTBEM	=	Laplace Transform Boundary Element Method