

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูป
กระดาษย่อยสลายได้

THE STUDY OF STEAM-HEATING PLATE TEMPERATURE DISTRIBUTION FOR
BIO-DEGRADABLE PAPER MOLD



T119163

โดย

นาย เสรี กงเกิดลาภ
นาย อภินันท์ ประสานพานิช
นาย อวิรุทธ์ ชะนะ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

119163

- 6 S.A. 2554

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูป
กระดาษย่อยสลายได้

THE STUDY OF STEAM-HEATING PLATE TEMPERATURE DISTRIBUTION FOR
BIO-DEGRADABLE PAPER MOLD

ผู้จัดทำ

1. นาย เสรี คงเกิดลาภ รหัสประจำตัว 50011790
2. นาย อภินันท์ ประสานพานิช รหัสประจำตัว 50011861
3. นาย อวิรุทธ์ ชะนะ รหัสประจำตัว 50011907



(ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษ ย่อยสลายได้

นายเสรี คงเกิดลาก 50011790
 นายอภิรักษ์ ประสานพานิช 50011861
 นายอวิรุทธิ์ ชชนะ 50011907
 ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปว่าสูญเสียความร้อนมากน้อยเพียงใด โดยทำการทดลองวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิและถ่ายภาพความร้อนด้วยกล้องเทอร์โมสแกน อีกทั้งยังทำการศึกษาคำนวณทางทฤษฎีหนึ่งมิติในสภาวะคงตัว และทำการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลจากกล้องเทอร์โมสแกนกับการทำการจำลอง มีค่าความแตกต่างเท่ากับ 9.92 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนจะมีค่าการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าแผ่นล่างประมาณ 3 องศาเซลเซียส แต่หลังจากติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปค่าการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนจะต่ำกว่าแผ่นล่างประมาณ 3 องศาเซลเซียส ดังนั้นควรปรับปรุงการไหลของท่อส่งไอน้ำให้ไหลเข้าสู่แผ่นความร้อนแผ่นบนและแผ่นล่างพร้อมๆกันด้วยสภาวะอุณหภูมิและความดันเดียวกัน เพื่อให้การกระจายอุณหภูมิของทั้งสองแผ่นใกล้เคียงกัน

THE STUDY OF STEAM-HEATING PLATE TEMPERATURE DISTRIBUTION FOR BIO-DEGRADABLE PAPER MOLD

Saerie Kongkerdlap

Apinan Prasanphanich

Awirut Chana

Asst.Prof. Dr.Monsak Pimsarn Advisor

ABSTRACT

This project aims to study the heat distribution of steam heating plate for biodegradable paper mold as to find the difference of heat loss between before and after installation of the steam heating plate. The experiments are conducted with both measurements and simulation methods. The measuring experiments are carried out by collecting the data from measuring instruments, a thermoscan infrared camera and thermocouples. Moreover, the theoretical analysis, one-dimension model and the 3-D simulation, by using ANSYS, are performed. By comparison, the differences between the results from both methods are found out to be 9.92 percent. In addition, before the installation of the paper mold, the average heat distribution in the upper heating plate is higher than the lower one by 3°C. But, after the installation of the paper mold, the heat distributions between both plates are found to be contradictory difference. Therefore, improvements of the steam tubes through both plates are needed, in order to enhance the heat distributions to be equal.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน ได้แก่ ศศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือเสมอมา ขอขอบคุณ คุณอุดมโชค กิตติรัตนไพบูลย์ ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการ บริษัท บรรจุกิจภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม จำกัด ที่ช่วยติดต่อประสานงานอำนวยความสะดวกในการเข้าเยี่ยมชมภายในโรงงาน และคอยให้ข้อมูลที่สำคัญสำหรับทำโครงการนี้ ท้ายที่สุดต้องขอบคุณ ศศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข และ คุณนิวัฒน์ ภูเจริญ ที่ช่วยให้คำปรึกษาชี้แนะและตรวจสอบความถูกต้องในส่วนของการใช้งาน โปรแกรม จึงทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายเสรี คงเกิดลาภ
นายอภิรักษ์ ประสานพานิช
นายวิรุทธิ์ ชนะนะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การนำความร้อน (Conduction).....	4
2.2 การนำความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ (One Dimensional, Steady-state Condition).....	5
2.2.1 ผนังเรียบ (Plane wall).....	5
2.3 การพาความร้อน(Convection)	9
2.4 การพาความร้อนแบบอิสระ(Free Convection).....	11
2.4.1 สมการเอมไพริคัลสำหรับการไหลภายนอกกัณฑ์ (External Free Convection Flows).....	13
บทที่ 3 การวัดค่าและเก็บข้อมูลของการทดลอง.....	16
3.1 บทนำ.....	16
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	16
3.3 การวัดค่าและเก็บข้อมูลด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ.....	17
3.4 การวัดค่าและเก็บข้อมูลด้วยกล้องเทอร์โมสแกน.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 แบบจำลองการวิเคราะห์.....	28
4.1 บทนำ.....	28
4.2 การสร้างรูปทรงชิ้นงานด้วยโปรแกรม UNIGRAPHICS NX 2.0.....	34
4.2.1 เขียนแบบสองมิติของแผ่นให้ความร้อน	34
4.2.2 เขียนแบบสามมิติของแผ่นให้ความร้อน	35
4.2.3 เขียนแบบสามมิติของท่อไอน้ำในแผ่นให้ความร้อน	36
4.2.4 ลบปริมาตรที่ทับซ้อนระหว่างแผ่นให้ความร้อนกับท่อไอน้ำ.....	37
4.2.5 สร้างแผ่นให้ความร้อนเพิ่มให้ได้ครบทั้งแผ่นบนและล่าง	38
4.2.6 เขียนแบบแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปทั้งแผ่นบนและแผ่นล่าง.....	39
4.2.7 สร้างปริมาตรอากาศบรรยากาศ	40
4.2.8 เขียนแบบสามมิติของฐานวางชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปและลบปริมาตรทับซ้อน ทั้งหมด.....	41
4.2.9 การส่งออกไฟล์ (Export) จากโปรแกรมเขียนแบบสำหรับใช้ในโปรแกรมสร้าง เม็ช (Mesh).....	42
4.3 การสร้างเม็ชด้วยโปรแกรม ANSYS ICEM CFD 11.0.....	43
4.3.1 การนำเข้าไฟล์ (Import) จากโปรแกรมเขียนแบบเข้าสู่โปรแกรมสร้างเม็ช	43
4.3.2 กำหนดชื่อปริมาตรของวัสดุที่ปรากฏ	44
4.3.3 การกำหนดผิวสำหรับการใช้ในการสร้างเงื่อนไขที่ขอบ.....	45
4.3.4 การกำหนดค่าขนาดอนุภาคโดยรวม (Global Element Seed Size)	46
4.3.5 การกำหนดค่าขนาดเม็ชของชิ้นส่วน (Mesh sizes of parts)	47
4.3.6 การสร้างเม็ช	48
4.3.7 ตรวจสอบเม็ชและการส่งข้อมูลไฟล์ออก (Output) สำหรับใช้ในโปรแกรม สำหรับการจำลอง (Simulation).....	49
4.4 การทำการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS CFX 11.0.....	50
4.3.1 เริ่มต้นโปรแกรม ANSYS CFX 11.0.....	50
4.3.2 ทำการนำเข้าไฟล์เม็ช (Import Mesh) จากโปรแกรมสร้างเม็ชเข้าสู่โปรแกรมทำ การจำลอง	51
4.3.3 การกำหนดชนิดของโดเมน(Domain).....	52
4.3.4 การกำหนดโดเมนของอากาศบรรยากาศ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.5 การกำหนดโดเมนของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป.....	54
4.3.6 การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ.....	55
4.3.7 กำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้กับอากาศบรรยากาศ.....	56
4.3.8 กำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้กับผิวรูปท่อกภายในแผ่นให้ความร้อน.....	57
4.3.9 การกำหนดรูปแบบการจำลอง (Simulation Type).....	58
4.3.10 การกำหนดตัวควบคุมหาผลเฉลย (Solver Control).....	59
4.3.11 การส่งคำสั่งทำการจำลอง.....	60
4.3.12 การโพสต์เวกเตอร์ (Vector) ของผลลัพธ์.....	61
4.3.13 การโพสต์คอนทัวร์ (Contour) ของผลลัพธ์.....	62
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	64
5.1 บทนำ.....	64
5.2 ผลการทดลองด้วยเครื่องมือวัด และกล้องเทอร์โมสแกน.....	64
5.3 ผลการคำนวณทางทฤษฎี.....	65
5.4 ผลการทำจำลอง.....	65
5.5 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว.....	66
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	68
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	68
6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	69
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	69
ภาคผนวก ก.....	70
ภาคผนวก ข.....	74
บรรณานุกรม.....	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ผลการทดลองของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน.....	20
3.2 ผลการทดลองของแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง.....	20
3.3 ผลการทดลองของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน.....	21
3.4 ผลการทดลองของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง.....	21
4.1 การกำหนดขนาดค่าเม็ชของชิ้นส่วน.....	29
4.2 การกำหนดค่าทั่วไปสำหรับการจำลอง.....	30
4.3 คุณสมบัติและการกำหนดค่าสำหรับการจำลองของแผ่นให้ความร้อน.....	31
4.4 คุณสมบัติและการกำหนดค่าสำหรับการจำลองของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป.....	32
4.5 คุณสมบัติและการกำหนดค่าสำหรับการจำลองของอากาศบรยากาศ.....	33
5.1 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว ค่าสูงสุด และต่ำสุด จากการทดลองด้วยเครื่องมือวัด.....	64
5.2 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว ค่าสูงสุด และต่ำสุดจากภาพถ่ายความร้อนเทอร์โมสแกน.....	64
5.3 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของการคำนวณทางทฤษฎี.....	65
5.4 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของการทำการจำลอง.....	65
5.5 ตารางเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว.....	66
5.6 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว.....	66

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป	1
1.2 จำลองลักษณะการไหลของไอน้ำ.....	1
2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ	6
2.2 วงจรความร้อนสมมูลย์สำหรับผนังหลายชั้นอย่างอนุกรม	9
2.3 การพัฒนาชั้นของขอบเขตในการพาความร้อน	11
2.4 บาวนด์รีเลเยอร์สำหรับการพาความร้อนแบบอิสระบนแผ่นเรียบวางในแนวดิ่ง	12
2.5 ของไหลบรรจุระหว่างแผ่นขนาดใหญ่ในแนวนอนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	13
2.6 การไหลเนื่องจากการลอยตัวบนแผ่นเรียบในแนวนอน	15
3.1 ลักษณะเครื่องของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป.....	16
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	17
3.3 รูปการเตรียมการทดลองและออกแบบการวัดค่าอุณหภูมิ	17
3.4 แบบการวัดในแต่ละตำแหน่ง โดยตารางเมทริกซ์ (Matrix)	18
3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิ	18
3.6 การวัดค่าอุณหภูมิแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป	19
3.7 การวัดค่าอุณหภูมิแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป	19
3.8 การวัดค่าอุณหภูมิแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป	20
3.9 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน โดยโปรแกรม MATLAB	22
3.10 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง โดยโปรแกรม MATLAB	22
3.11 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน โดยโปรแกรม MATLAB	23
3.12 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง โดยโปรแกรม MATLAB	23
3.13 กล้องเทอร์โมสแกน	24
3.14 การถ่ายภาพความร้อนจากกล้องเทอร์โมสแกน	24
3.15 ภาพถ่ายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน โดยกล้องเทอร์โมสแกน	25
3.16 ภาพถ่ายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง โดยกล้องเทอร์โมสแกน	26
3.17 ภาพถ่ายความร้อนของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน โดยกล้องเทอร์โมสแกน	26
3.18 ภาพถ่ายความร้อนของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง โดยกล้องเทอร์โมสแกน	27
4.1 แสดงภาพรวมการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบสำหรับทำการจำลอง.....	29
4.2 แสดงการเขียนแบบสองมิติของแผ่นให้ความร้อน	34
4.3 แสดงการเขียนแบบสามมิติของแผ่นให้ความร้อน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงการแบบสามมิติของท่อไอน้ำในแผ่นให้ความร้อน.....	36
4.5 แสดงการลบพื้นที่ทับซ้อนเพื่อให้ได้แผ่นให้ความร้อนที่มีรูภายในตามแนวของขดท่อไอน้ำ	37
4.6 แสดงการเขียนแบบสามมิติแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและแผ่นล่าง	38
4.7 แสดงการเขียนแบบสามมิติของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนและแผ่นล่าง.....	39
4.8 แสดงการเขียนแบบสามมิติของอากาศบรรยากาศ	40
4.9 แสดงแบบสามมิติที่พร้อมสำหรับการจำลอง.....	41
4.10 แสดงการส่งไฟล์ออกจากโปรแกรมเขียนแบบโดยใช้สกุล Parasolid (.x_t)	42
4.11 แสดงการนำไฟล์เข้าจากโปรแกรมเขียนแบบเข้าสู่โปรแกรมสร้างเม็ช	43
4.12 แสดงการกำหนดชื่อปริมาตรของวัสดุ	44
4.13 แสดงการกำหนดผิวสำหรับการสร้างเงื่อนไขที่ขอบ	45
4.14 แสดงการกำหนดค่าขนาดอนุภาคโดยรวม.....	46
4.15 แสดงการกำหนดค่าขนาดเม็ชของชิ้นส่วน.....	47
4.16 แสดงการสร้างเม็ช	48
4.17 แสดงการส่งข้อมูลไฟล์ออกสำหรับใช้ต่อในโปรแกรมทำการจำลอง.....	49
4.18 แสดงหน้าจอเริ่มต้นของ โปรแกรมสำหรับการทำการจำลอง	50
4.19 แสดงการนำไฟล์เม็ชเข้าสู่โปรแกรมทำการจำลอง.....	51
4.20 แสดงขั้นตอนการกำหนดชนิดของโดเมน.....	52
4.21 แสดงการกำหนดโดเมนของอากาศบรรยากาศ	53
4.22 แสดงการกำหนดโดเมนของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป	54
4.23 แสดงขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ	55
4.24 แสดงการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบของอากาศบรรยากาศ	56
4.25 แสดงการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้กับผิวท่อภายในแผ่นให้ความร้อน	57
4.26 แสดงการกำหนดรูปแบบการจำลอง	58
4.27 แสดงการกำหนดตัวควบคุมหาผลเฉลย	59
4.28 แสดงการส่งคำสั่งทำการจำลอง	60
4.29 แสดงขั้นตอนการ โปสพอคเตอร์.....	61
4.30 แสดงขั้นตอนการ โปสคอนทัวร์	62
4.31 แสดงคอนทัวร์การกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน.....	63
4.32 แสดงคอนทัวร์การกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

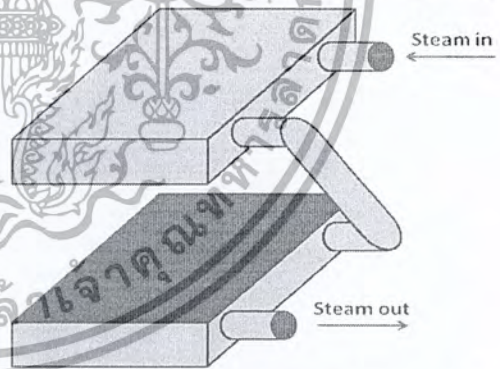
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันมีหลากหลายประเทศซึ่งมีพื้นฐานทางธุรกิจอยู่ในรูปแบบอุตสาหกรรม ประชากรเกือบทั้งหมดต้องใช้อุปกรณ์หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่เกิดขึ้นจากเทคโนโลยี และความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ โดยพื้นฐานของการใช้ชีวิตนั้นอุปกรณ์ซึ่งใช้ในชีวิตประจำวันมากมายทั้งสิ่งของที่ใช้เป็นการส่วนตัว หรือแม้กระทั่งใช้ในงานด้านต่างๆเพื่อส่วนรวม ถูกใช้อย่างเป็นประจำและต่อเนื่อง ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมการผลิตจึงมีบทบาทสำคัญในการผลิตสินค้าใช้งานต่างๆให้มีคุณภาพ อีกทั้งในปัจจุบันยังเผชิญกับปัญหาวิกฤตทางเศรษฐกิจ ธุรกิจการผลิตจึงต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและราคาของสินค้า โดยมีธุรกิจรูปแบบหนึ่งของกระบวนการผลิตที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายคือ การขึ้นรูปวัสดุด้วยแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำ ซึ่งใช้การไหลผ่านของไอน้ำภายในท่อเป็นแหล่งความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับเนื้อโลหะบริเวณรอบของท่อไอน้ำที่ฝังตัวอยู่ในแผ่นความร้อน โดยลักษณะของแม่พิมพ์จะมีแผ่นให้ความร้อนสองแผ่นด้านบนและด้านล่างวางตัวในแนวดิ่ง และจะเคลื่อนที่มาประกบกันเพื่อทำการขึ้นรูปวัสดุ



รูปที่ 1.1 ซุกแม่พิมพ์ขึ้นรูป



รูปที่ 1.2 จำลองลักษณะการไหลของไอน้ำ

เนื่องจากท่อไอน้ำที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนมีการไหลผ่านแผ่นให้ความร้อนทั้งแผ่นบนและแผ่นล่างอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความร้อนจากไอน้ำมีอุณหภูมิลดลงตามระยะทางของการไหล เป็นเหตุผลทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน จึงต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางการพัฒนาแผ่นให้ความร้อนให้มีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น โดยมีแนวทางการศึกษาคือ ทำการทดลองด้วยเครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูลของแผ่นให้ความร้อน และทำการจำลอง (Simulation) สำหรับการวิเคราะห์หาการกระจายอุณหภูมิตามแผ่นให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้ด้วยวิธีทำการทดลอง และทำการจำลอง

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางทำให้การกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกันทั่วทั้งแผ่นและสูญเสียความร้อนลดลง

1.2.3 เพื่อศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปว่าสูญเสียความร้อนมากน้อยเพียงใด

1.2.4 เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม ANSYS

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำ และแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

1.3.2 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำจากผลการทดลองเทียบกับผลการทำการจำลอง

1.3.3 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปจากการทดลอง, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำการจำลอง

1.3.4 ศึกษาปัญหาการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขการนำความร้อนและการพาความร้อนในสภาวะคงตัว

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ทำการทดลองเก็บวัดค่าการกระจายอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

1.4.2 ทำการถ่ายภาพความร้อนของแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยกล้องเทอร์โมสแกน

1.4.3 ทำการคำนวณทางทฤษฎีหาค่าอุณหภูมิผิวของแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

1.4.4 จำลองรูปทรงแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปตามแบบของชิ้นงานจริงสำหรับทำการจำลอง

1.4.5 ทำการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS

1.4.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ได้ศึกษาและพบปัญหาการสูญเสียความร้อนของการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้

1.5.2 สามารถนำผลการทดสอบที่ถูกต้องไปพัฒนาแผ่นให้ความร้อนนี้ให้มีการกระจายอุณหภูมิที่ดีขึ้นและสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

1.5.3 เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการนำความรู้ทางด้านนี้ไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยเคลื่อนแบบจลน์ (Kinetic Motion) หรือการชนกันโดยตรงของโมเลกุลซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง ส่วนในกรณีของโลหะนั้นจะเป็นการไหลของกระแสอิเล็กตรอนสำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากมายที่เคลื่อนไหวอยู่ภายในโครงสร้างของโมเลกุล (Lattice) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าวัตถุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีตามไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ทองแดง เงิน เหล็ก ฯลฯ อันเป็นผลจากการนำหรือถ่ายเทพลังงานความร้อน โดยอิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้

กฎสหพันธ์ของการนำความร้อน โดยถือเกณฑ์การสังเกตจากการทดลอง กำหนดจากบิโอท์ (Biot) แต่ต่อมานักฟิสิกส์-คณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ชื่อ โจเซฟ ฟูรีเยร์ (Joseph Fourier) นำหลักการนี้มาใช้วิเคราะห์เป็นทฤษฎีความร้อน กฎนี้กล่าวว่า อัตราการไหลของการนำความร้อนในทิศทางที่กำหนดเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อนและเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางนั้น สำหรับการไหลของความร้อนในทิศทาง x กฎของฟูรีเยร์กำหนดเป็น

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{W} \quad (2.1a)$$

หรือ
$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{W/m}^2 \quad (2.1b)$$

โดยที่ q_x คือ อัตราการนำความร้อนผ่านพื้นที่ A ในทิศทางบวก x

q_x'' คือ ฟลักซ์ความร้อนในทิศทางบวก x

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity of material) และเป็นค่าบวก

จากสมการ (2.1) ถ้าอุณหภูมิลดลงในทิศทางบวกของ x แล้ว dT/dx เป็นลบ ดังนั้น q_x'' (หรือ q_x) มีค่าเป็นบวก เนื่องจากสมการมีเครื่องหมายลบติดอยู่ เพราะฉะนั้นเครื่องหมายลบจึงต้องใส่ในสมการ และเพื่อให้แน่ใจว่า q_x'' (หรือ q_x) เป็นปริมาณบวก เมื่อการไหลของความร้อนอยู่ในทิศทางบวกของ x ในทางกลับกันเมื่อทางด้วนขวามือของสมการเป็นลบ แสดงว่าการไหลของความร้อนอยู่ในทิศทางลบของ x

2.2 การนำความร้อนในสถานะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ (One Dimensional, Steady-state Condition)

หัวข้อนี้ จะเป็นการพิจารณาเกี่ยวกับปัญหาการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอในหนึ่งมิติเพื่อหาการกระจายอุณหภูมิ และความร้อนที่ไหลภายในวัตถุที่รูปร่างเป็นแบบผนังเรียบ ลักษณะของการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอที่จะกล่าวถึงนี้จะมีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ และการไหลของความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางเพียงทิศทางเดียวโดยที่อุณหภูมิแต่ละจุดของวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

2.2.1 ผนังเรียบ (Plane wall)

สำหรับการนำความร้อนในหนึ่งมิติของผนังเรียบ อุณหภูมิจะเป็นฟังก์ชันของโคออดิเนต x และการส่งผ่านความร้อนพิจารณาเฉพาะในทิศทางนี้ ในรูป 2.1 ของไหล 2 ชนิดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันไหลผ่านในแต่ละด้านของผนังเรียบ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดยการพาความร้อนจากของไหลร้อนที่ $T_{\infty,1}$ สู่อีกด้านหนึ่งของผนังที่ T_{s1} และผ่านผนังโดยการนำไปยังอีกด้านหนึ่งที่ T_{s2} จากนั้นความร้อนจะถูกพาออกไปโดยของไหลเย็นที่ $T_{\infty,2}$

ในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำสิ่งแรกที่จะต้องรู้ก็คือ การกระจายอุณหภูมิภายในผนังเรียบ

(1) การกระจายอุณหภูมิ (Temperature distribution)

การกระจายอุณหภูมิภายในผนัง หาได้จากสมการการพึ่งกระจายของความร้อนและเงื่อนไขขอบแบบต่างๆ ตามเงื่อนไขดังกล่าว และไม่มีการผลิตความร้อนภายในผนัง สมการจะลดรูปเป็น

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad (2.2)$$

ถ้าสมมติค่า k คงที่ โดยการอินทิเกรต 2 ครั้ง ได้คำตอบทั่วไปเป็น

$$T(x) = C_1 x + C_2 \quad (2.3)$$

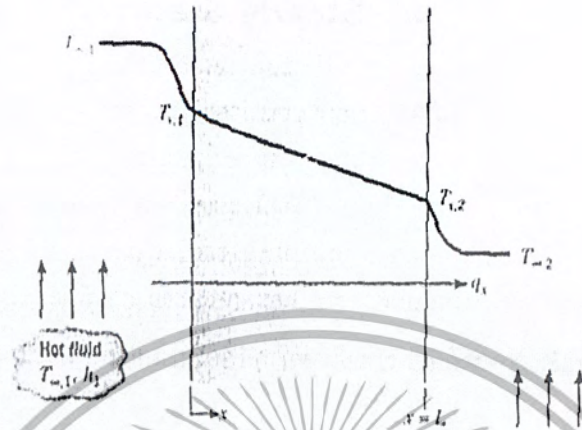
โดยเงื่อนไขที่ขอบตามรูปได้ว่า $T(0) = T_{s1}$ และ $T(L) = T_{s2}$ แทนใน (2.3) จะได้

$$C_1 = \frac{T_{s,2} - T_{s,1}}{L}$$

$$C_2 = T_{s1}$$

ดังนั้นคำตอบทั่วไปของการกระจายอุณหภูมิในผนัง คือ

$$T(x) = (T_{s,2} - T_{s,1})\frac{x}{L} + T_{s,1}$$



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ

โดยใช้กฎของฟูริเยร์ เพื่อหาคำตอบของการส่งผ่านความร้อน นั่นคือ

$$T(x) = (T_{s,2} - T_{s,1})\frac{x}{L} + T_{s,1} \quad (2.4)$$

สังเกตว่า A เป็นพื้นที่ของผนังซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน และฟลักซ์ความร้อนนั้นก็คือ

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = \frac{kA}{L} (T_{s,1} - T_{s,2}) \quad (2.5)$$

สังเกตเช่นกันว่า ค่าฟลักซ์ความร้อนเป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นกับ x ซึ่งเป็นลักษณะที่ตรงกับสมการ (2.2) ซึ่งหมายความว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนในทิศทาง x

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = \left(\frac{k}{L}\right) (T_{s,1} - T_{s,2}) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ความต้านทานความร้อน (Thermal resistance)

ในที่นี้เราจะนำสมการ (2.5) ซึ่งให้แนวทางที่สำคัญมากมาใช้นั้นคือความคล้ายคลึงกันระหว่างการฟุ้งกระจายของความร้อนและประจุไฟฟ้า โดยที่ความต้านทานไฟฟ้านั้นเกี่ยวข้องกับกรนำไฟฟ้า ดังนั้นความต้านทานความร้อนก็ต้องมีส่วนเกี่ยวข้องกับการนำความร้อนจากสมการ (2.5) ความต้านทานการนำความร้อน คือ

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (2.7)$$

นอกจากนี้ ความต้านทานความร้อนยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการพาความร้อน จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.8)$$

ความต้านทานความร้อนสำหรับพา คือ

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (2.9)$$

วงจรความร้อนสมมูลสำหรับผนังเรียบที่มีการพาความร้อนที่ผิว แสดงในรูปที่ 2.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนหาได้จากการแยกพิจารณาของแต่ละช่วงวงจร ซึ่งได้

$$q_x = \frac{(T_{\infty,1} - T_{s1})}{1/h_1A} = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{L/kA} = \frac{(T_{s2} - T_{\infty,2})}{1/h_2A} \quad (2.10)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนอาจเขียนแทนด้วยเทอมของผลต่างอุณหภูมิทั้งหมด $(T_{\infty,1} - T_{\infty,2})$ และ ความต้านทานความร้อน R_{to}

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{to}} \quad (2.11)$$

เนื่องจากความต้านทานการนำและการพาต่ออนุกรมกัน จึงได้

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2A} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ผนังหลายชั้น (Composite wall)

วงจรรวมความร้อนสมมูลอาจใช้สำหรับระบบที่ซับซ้อนได้เหมือนกัน เช่น ผนังหลายชั้น ซึ่งจำนวนความต้านทานความร้อนที่ต่ออนุกรมและขนานกัน จะขึ้นอยู่กับชั้นของวัสดุที่แตกต่างกันพิจารณาผนังเรียบหลายชั้นที่ต่ออนุกรมกันของรูปที่ 2.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งมิติของระบบนี้ เขียนได้เป็น

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\Sigma R_t} \quad (2.13)$$

โดยที่ $T_{\infty,1} - T_{\infty,4}$ เป็นผลต่างของอุณหภูมิทั้งหมด และ ΣR_t เป็นผลรวมของความต้านทานความร้อนรวม ดังนั้น

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\left[\left(\frac{1}{h_{1A}} \right) + \left(\frac{L_A}{k_{AA}} \right) + \left(\frac{L_B}{k_{BA}} \right) + \left(\frac{L_C}{k_{CA}} \right) + \left(\frac{1}{h_{4A}} \right) \right]} \quad (2.14)$$

หรืออาจหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จากการคิดในแต่ละช่วงก็ได้

$$q_x = \frac{(T_{\infty,1} - T_{s1})}{\left(\frac{1}{h_{1A}} \right)} = \frac{(T_{s1} - T_{s2})}{\left(\frac{L_A}{k_{AA}} \right)} = \frac{(T_{s2} - T_3)}{\left(\frac{L_B}{k_{BA}} \right)} = \dots \quad (2.15)$$

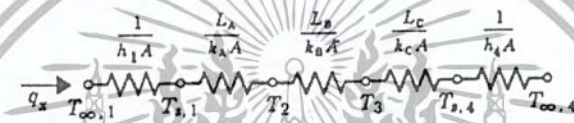
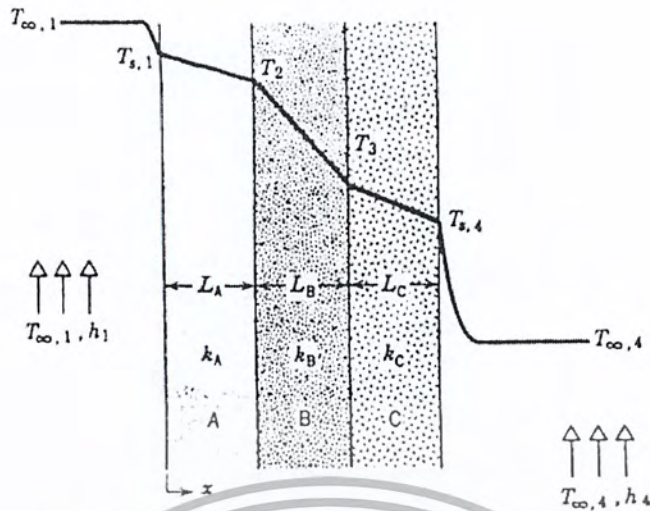
และโดยให้ U เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (Overall heat transfer coefficient) ซึ่งกำหนดขึ้นมาจากความคล้ายคลึงกับกฎการเย็นตัวของนิวตันจะได้ว่า

$$q_x = UA\Delta T \quad (2.16)$$

ซึ่ง ΔT เป็นผลต่างของอุณหภูมิรวม จากสมการ (2.13) และ (2.16) จะพบว่า $UA = 1/R_{tot}$ และสำหรับผนังหลายชั้นตามรูป 2.2

$$U = \frac{1}{R_{totA}} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{h_1} \right) + \left(\frac{L_A}{k_A} \right) + \left(\frac{L_B}{k_B} \right) + \left(\frac{L_C}{k_C} \right) + \left(\frac{1}{h_4} \right) \right]} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงจรความร้อนสมมูลสำหรับผนังหลายชั้นอย่างอนุกรม โดยทั่วไปอาจเขียนได้เป็น

$$R_{tot} = \sum R_t = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \quad (2.18)$$

2.3 การพาความร้อน (Convection)

เมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งหรือไหลผ่านภายในช่องทางการไหล โดยที่อุณหภูมิของของไหลและผิวของของแข็งมีค่าแตกต่างกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็งจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของของแข็ง กลไกของการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อนแบบบังคับ” (forced convection) ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระ หรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (free or natural convection) เช่น ปล่อยแผ่นวัตถุร้อนที่วางอยู่ในแนวตั้งไว้ในอากาศเย็นที่หุดหนึ่ง ชั้นของอากาศที่ติดกับพื้นผิวของแผ่นวัตถุจะมีการเคลื่อนที่เพราะเกรเดียนอุณหภูมิในอากาศเป็นผลทำให้เกรเดียนของความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ โดยการเคลื่อนที่ของของไหลมีผลกระทบต่อสนามอุณหภูมิภายในของไหล การคำนวณหาการกระจายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนแบบการพาในทางปฏิบัติเป็นเรื่องที่สลับซับซ้อนมากในทางวิศวกรรม เพื่อให้การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนง่ายขึ้นระหว่างผิวที่ร้อน T_w และอุณหภูมิของไหลเย็นที่ไหลผ่านบนผิวที่อุณหภูมิ T_f ตามที่แสดงในรูป 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ถูกกำหนดเป็น

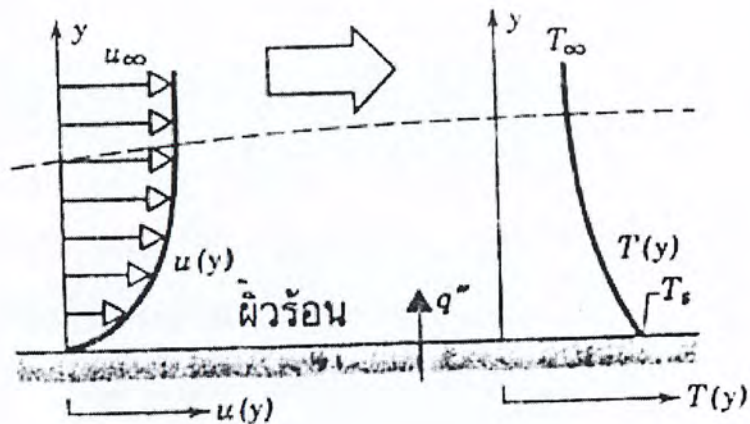
$$q'' = h(T_w - T_f) \quad (2.19a)$$

โดยที่ q'' เป็นฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังร้อนไปยังของไหลที่เย็น (มีหน่วยเป็น W/m^2) ถ้าการถ่ายเทความร้อนเกิดจากของไหลที่ร้อน ไปยังผนังเย็น จะได้ว่า

$$q'' = h(T_f - T_w) \quad (2.19b)$$

โดยที่ q'' เป็นฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากของไหลที่ร้อนไปยังผนังเย็น สมการ (2.19a) เป็นสมการที่ได้จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) โดยอุณหภูมิมีหน่วยเป็น เซลเซียส หรือเคลวิน และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h หน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h (Convective heat transfer coefficient or film convective coefficient) จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของการไหล (เช่น ลามินาร์ หรือ เทอร์บูเลนต์) รูปทรงของวัตถุ พื้นที่ที่ของไหลไหลผ่าน คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของของไหล อุณหภูมิเฉลี่ย และตำแหน่งต่างๆ ตามพื้นผิวของวัตถุ นอกจากนี้ยังขึ้นกับกลไกของการถ่ายเทความร้อนว่าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ (การเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากปั๊มหรือพัดลม) หรือเป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (การเคลื่อนที่ของของไหลเนื่องจากแรงลอยตัว) ค่าของ h จะแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งต่างๆ ตามพื้นผิววัตถุ ดังนั้นในทางวิศวกรรมแล้วเพื่อความสะดวกจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยตลอดพื้นผิว (h_m) แทนค่า h ที่ตำแหน่งนั้นๆ ในการพิจารณาการพาความร้อนตลอดทั้งพื้นผิว สมการ (2.19a) และ (2.19b) ค่า h จึงถูกแทนด้วยค่า h_m ดังนั้นค่า q'' จึงเป็นค่าฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยตลอดบริเวณที่พิจารณา



รูปที่ 2.3 การพัฒนาชั้นของขอบเขตในการพาความร้อน

2.4 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)

ในบางสถานการณ์การเคลื่อนที่ของการพาความร้อนเกิดขึ้นได้ภายในของไหล โดยไม่มีการบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของของไหลแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ” (Free or natural convection) ตัวอย่างเช่นเมื่อวางแผ่นร้อนแนวดิ่งในของไหลที่อยู่นิ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผ่นร้อน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นก่อนโดยการนำความร้อนและความแตกต่างของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นในของไหล การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของไหลนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในสนามความโน้มถ่วง ผลก็คือของไหลที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันของไหลที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ แรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนได้นี้ เรียกว่าแรงลอยตัว (Buoyancy force)

ความเร็วของการไหลในการพาความร้อนแบบอิสระนี้ จะน้อยกว่าที่ซึ่งพบในการพาความร้อนแบบบังคับ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อน โดยการพาแบบอิสระจึงมีค่าน้อยกว่าการพาแบบบังคับด้วย รูปที่ 2.4a แสดงการก่อตัวของสนามความเร็วในด้านหน้าของแผ่นร้อนวางในแนวดิ่งอันเนื่องจากแรงลอยตัวของไหลที่ร้อนมากขึ้นหน้าแผ่นร้อนจะลอยสูงขึ้น ส่งผลให้ของไหลจากบริเวณข้างนอกที่อยู่นิ่งไหลเข้ามาแทน ส่วนในรูปที่ 2.4b แสดงแผ่นเย็นวางในแนวดิ่งในของไหลร้อน กรณีนี้ทิศทางการเคลื่อนที่จะตรงข้ามกับกรณีแรกเช่น ของไหลหน้าแผ่นเย็นจะเคลื่อนที่ลง ทั้งสองกรณีบาวนด์คาร์ลเยอร์ของความเร็วก่อตัวขึ้น โดยมีความเร็วสูงสุดเกิดขึ้นที่ใดที่หนึ่งภายในบาวนด์คาร์ลเยอร์ความเร็วของของไหลที่ผิวของแผ่นทั้งสองและขอบของบาวนด์คาร์ลเยอร์จะเป็นศูนย์ นอกจากนี้ในบริเวณใกล้กับขอบหน้าของแผ่นการก่อตัวของบาวนด์คาร์ลเยอร์จะเป็นแบบลามินาร์ ถัดมาที่ระยะหนึ่ง

จากขอบหน้าของแผ่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่บาวน์คาร์เลเยอร์แบบเทอร์บูเลนต์ในที่สุดก็จะกลายเป็นบาวน์คาร์เลเยอร์แบบเทอร์บูเลนต์ที่ปรับตัวเต็มที่แล้วนั่นเอง

การเคลื่อนที่ของของไหลในการแบบอิสระ เกิดเนื่องจากแรงลอยตัวของของไหลขณะที่การพาแบบบังคับนั้นเกิดจากการบังคับภายนอก การลอยตัวของของไหลเป็นผลมาจากการผสมกันของเกรเดียนต์ความหนาแน่นของของไหลและแรงจากน้ำหนักซึ่งเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่น แรงจากน้ำหนักนั้น โดยปกติทั่วไปจะเนื่องมาจากความโน้มถ่วงของโลก แม้ว่าบางครั้งอาจเป็นแรงหนีศูนย์กลางในการหมุนของเครื่องจักรกลของไหลหรือเป็นแรงโคริโอลิส ในการเคลื่อนที่แบบหมุนในบรรยากาศและในมหาสมุทร มีหลายวิธีเช่นกันในการทำให้เกรเดียนต์ความหนาแน่นของมวลเพิ่มมากขึ้นในของไหล แต่โดยทั่วไปแล้วจะเกิดเนื่องจากมีเกรเดียนต์อุณหภูมิ เราทราบว่าความหนาแน่นของก๊าซและของเหลวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งค่าความหนาแน่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ($\frac{\partial \rho}{\partial T} < 0$)



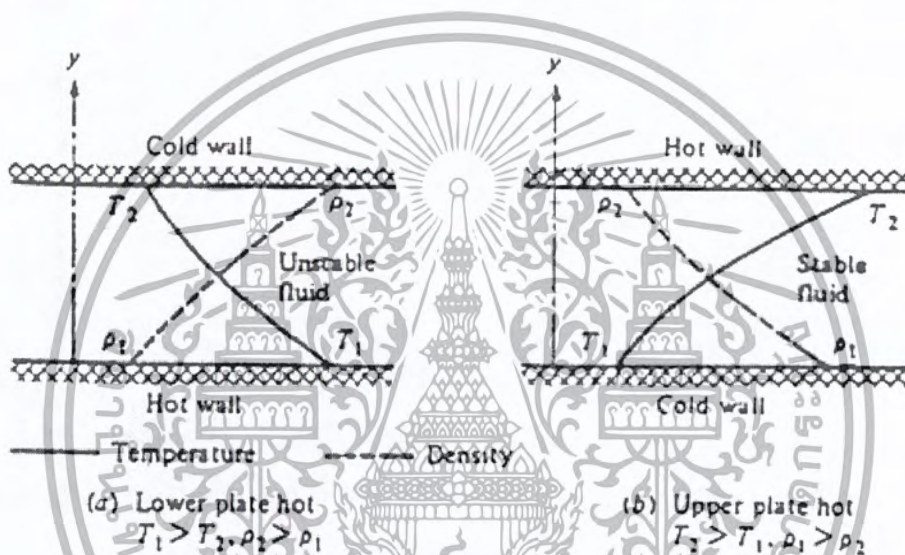
รูปที่ 2.4 บาวน์คาร์เลเยอร์สำหรับการพาความร้อนแบบอิสระบนแผ่นเรียบวางในแนวตั้ง

หัวข้อนี้เราจะเน้นเกี่ยวกับปัญหาการพาความร้อนแบบอิสระ ซึ่งเกรเดียนต์ความหนาแน่นเกิดจากเกรเดียนต์อุณหภูมิ และแรงจากน้ำหนักเป็นผลจากความโน้มถ่วงของโลก อย่างไรก็ตามสังเกตว่าการมีเกรเดียนต์ความหนาแน่นของของไหลในสนามความโน้มถ่วงของโลกไม่ว่าจะทำให้เกิดกระแสการพาความร้อนแบบอิสระเสมอไป พิจารณาเงื่อนไขตามรูปที่ 2.5 ของไหลที่ถูกล้อมรอบโดยแผ่นเรียบแนวนอนขนาดใหญ่ 2 แผ่น ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ($T_1 \neq T_2$) ในกรณี (a) อุณหภูมิของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นล่างจะมากกว่าแผ่นบน และความหนาแน่นของของไหลจะลดลงตามทิศทางของแรงดึงดูดโลก เงื่อนไขนี้เป็นแบบไม่เสถียร (unstable) และเกิดกระแสการพาอิสระขึ้นแรงดึงดูดโลกบนของไหลที่อัดตัวแน่นกว่าในชั้นบนจะมีค่ามากกว่าที่กระทำบนของไหลที่เบาบางกว่าในชั้นล่าง และรูปแบบของการไหลวนตามที่ระบุจะเกิดขึ้น โดยของไหลที่หนักกว่าจะเคลื่อนที่ต่ำลงและค่อยๆ อยู่นั้นในขณะของไหลที่เบากว่าจะเคลื่อนตัวสูงขึ้น และเย็นตัวลงขณะที่เคลื่อนไป อย่างไรก็ตามเงื่อนไขจะไม่แสดงให้เห็นตามกรณี (b) ซึ่งเป็นกรณีที่อยู่เหนือ $T_2 > T_1$ และความหนาแน่นจะไม่ลดลงตามทิศทางแรงดึงดูดโลก เงื่อนไขในลักษณะนี้ถือว่าเสถียร (stable) และไม่มีการเคลื่อนที่ของของไหลทั้งหมด

กรณี (a) การถ่ายเทความร้อนเกิดจากส่วนล่างไปยังส่วนบนของพื้นผิวโดยการพาความร้อนแบบอิสระ ส่วนกรณี (b) การถ่ายเทความร้อน(จากบนลงล่าง)จะเป็นการนำความร้อนเท่านั้น



รูปที่ 2.5 ของไหลบรรจุระหว่างแผ่นขนาดใหญ่ในแนวอนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

2.4.1 สมการอีมไพริคัลสำหรับคาร์ไหลภายนอกวัตถุ (External Free Convection Flows)

เราจะสรุปสหพันธ์อีมไพริคัลที่เหมาะสมซึ่งได้พัฒนาขึ้นสำหรับวัตถุรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ ที่วางในของไหล สหพันธ์นี้เหมาะสมในการคำนวณทางวิศวกรรมที่สุด และโดยทั่วไปอยู่ในรูป

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = C Ra_L^n \quad (2.20)$$

โดยที่
$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถือตามความยาวเฉพาะ L ของรูปทรงและค่าของ $n = 1/4$ และ $1/3$ สำหรับการไหลแบบลามินาร์และแบบเทอร์บูเลนต์ตามลำดับ ส่วนการไหลแบบเทอร์บูเลนต์นั้นค่า \overline{h}_L จะขึ้นอยู่กับค่า L ซึ่งต้องแยกคิดเป็นช่วง เหมือนการพาแบบบังคับ นอกจากนี้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ต้องหาที่อุณหภูมิฟิล์ม $T_f = (T_s + T_\infty)/2$

(1) แผ่นเรียบในแนวนอน (Horizontal plate)

รูปแบบสมการขึ้นอยู่กับว่า แผ่นเรียบเป็นแผ่นร้อนหรือเย็น (ตามรูป 2.6) เมื่อเทียบกับของไหลที่ล้อมรอบ และขึ้นอยู่กับว่าแผ่นเรียบหงายหน้าขึ้น หรือคว่ำหน้าลงสัมผัสกับของไหล โดยถือว่าแผ่นเรียบมีหน้าเดียว McAdams ได้แนะนำสหพันธ์เอมไพริคัลที่ใช้กันมาก โดยปรับปรุงค่า L ใหม่ให้อยู่ในรูปความยาวเฉพาะ กำหนดเป็น

$$L = \frac{A_s}{P} \quad (2.22)$$

โดยที่ A_s และ P เป็นพื้นที่ผิว และเส้นรอบรูปของแผ่นตามลำดับ สหพันธ์ที่ใช้คือ

ก. สำหรับแผ่นร้อนหงายขึ้น หรือแผ่นเย็นคว่ำหน้าลง (Upper surface of heated plate or lower surface of cooled plate)

$$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \quad (2.23)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \quad (2.24)$$

ข. แผ่นร้อนคว่ำหน้าลงหรือแผ่นเย็นหงายหน้าขึ้น (Lower surface of heated plate or upper surface of cooled plate)

$$\overline{Nu}_L = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (2.25)$$

สมการที่กล่าวมาใช้สำหรับกรณีอุณหภูมิที่ผิวคงที่ ส่วนกรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ต้องใช้สมการดังต่อไปนี้

ก. สำหรับแผ่นเรียบแนวนอนที่แผ่นร้อนหงายขึ้น

$$\overline{Nu}_L = 0.13 Ra_L^{1/3} \quad (Ra_L < 2 \times 10^8) \quad (2.26)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.16 Ra_L^{1/3} \quad (5 \times 10^8 < Ra_L < 10^{11}) \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

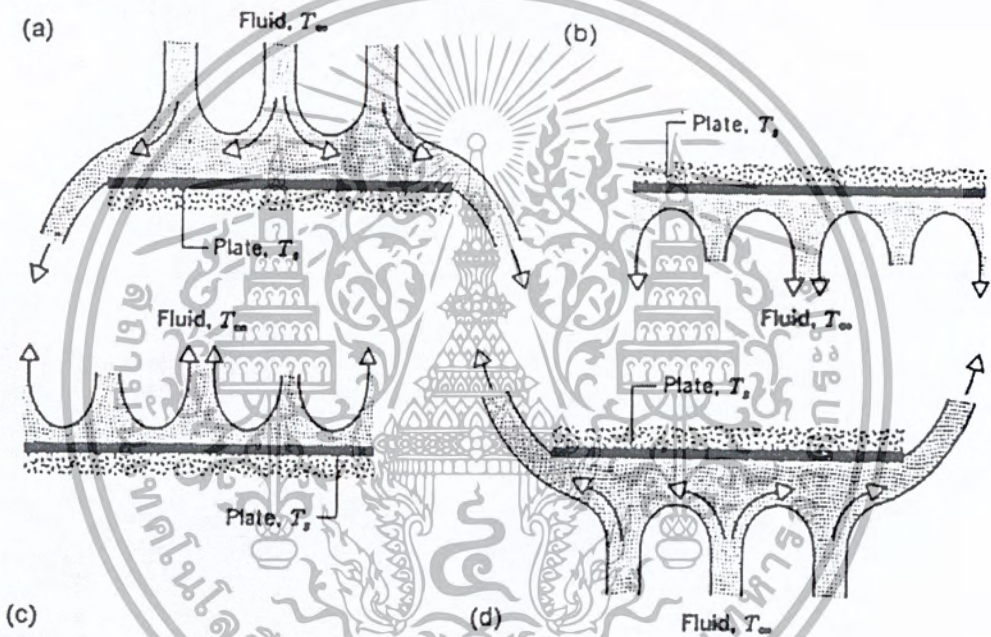
ข. แผ่นร้อนคว่ำลง

$$\overline{Nu}_L = 0.58 Ra_L^{1/5} \quad (10^6 < Ra_L < 10^{11}) \quad (2.28)$$

สมการ (2.26) - (2.27) ค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้หาที่อุณหภูมิเฉลี่ยซึ่งกำหนดเป็น

$$T_f = T_s - 0.25(T_s - T_\infty)$$

นอกจากค่า β ที่ยังหาที่ $T_f = (T_s + T_\infty)/2$ เหมือนเดิม



รูปที่ 2.6 การไหลเนื่องจากการลอยตัวบนแผ่นเรียบในแนวนอน

บทที่ 3

การวัดค่าและเก็บข้อมูลการทดลอง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการวัดค่าและเก็บข้อมูลของแผ่นให้ความร้อน โดยจะทำการวัดค่าอุณหภูมิแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้ ณ บริษัทบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม จำกัด ที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดชัยนาท โดยการวัดค่าของอุณหภูมิจะมีด้วยกันสองวิธี คือ วิธีที่หนึ่ง จะทำการวัดค่าด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยจะเริ่มจากการเก็บค่าของอุณหภูมิแต่ละจุดบนแผ่นให้ความร้อนและบนผิวชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งตำแหน่งการวัดกำหนดโดยการตีตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแบบเมทริกซ์ ระยะห่างเท่าๆกัน แล้วจึงบันทึกค่าแสดงผลที่เสถียรแล้วเป็นผลการทดลอง ส่วนวิธีที่สองจะทำการวัดค่าด้วยกล้องเทอร์โมสแกน ซึ่งจะเป็นการวัดค่าอุณหภูมิด้วยภาพถ่ายความร้อน



รูปที่ 3.1 ลักษณะของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องวัดอุณหภูมิ
2. ถังมือกั้นความร้อน
3. ตลับเมตร
4. ไม้บรรทัดเหล็ก
5. เทปกาทนความร้อน
6. กรรไกร
7. คัตเตอร์
8. ปากกาเมจิ
9. สมุดบันทึกผล
10. เครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

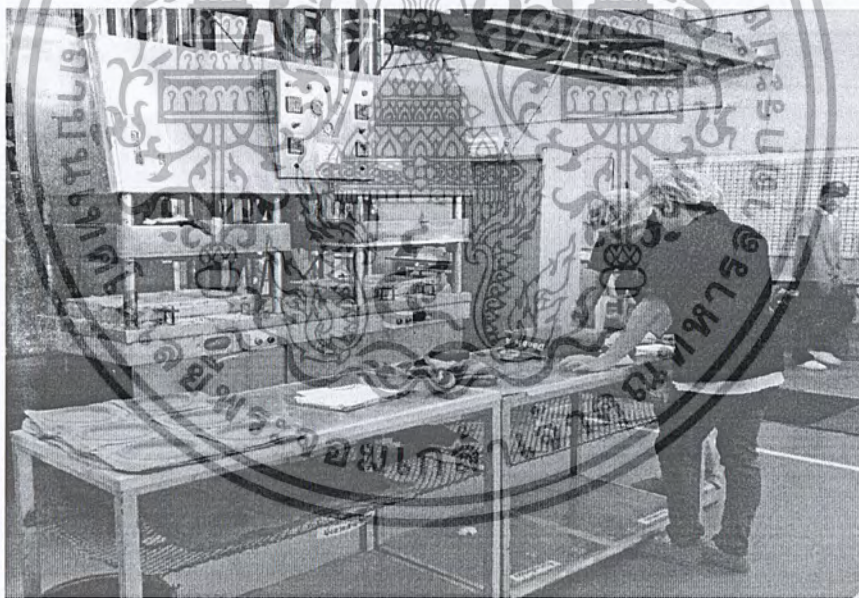
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์การทดลอง

3.3 การวัดค่าและเก็บข้อมูลด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ

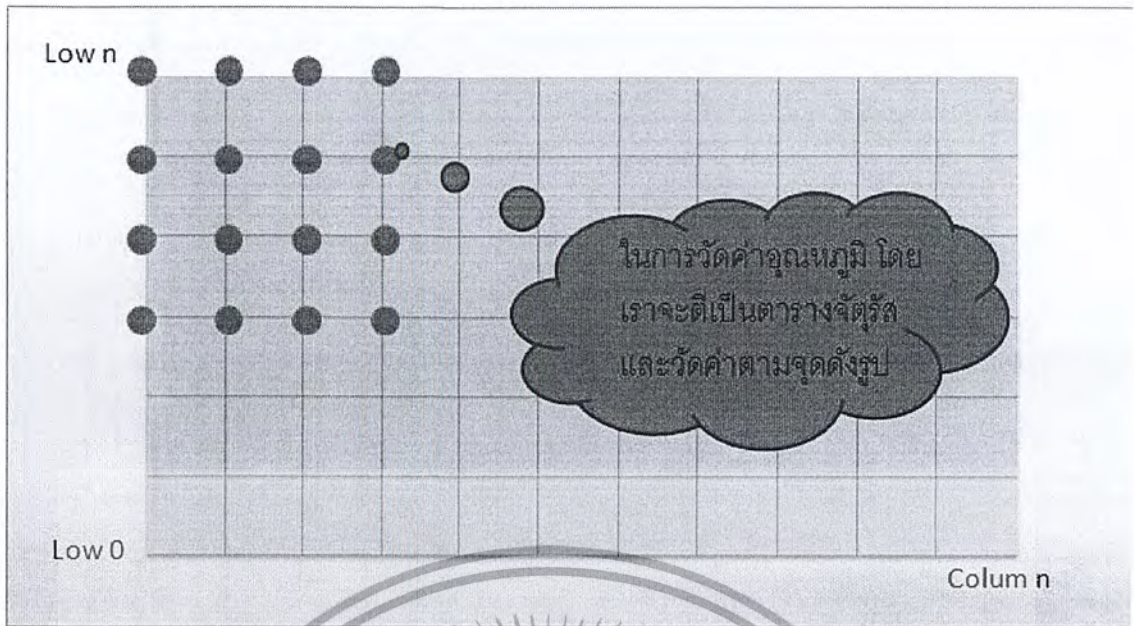
การวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมินั้น เราจะต้องทำการออกแบบการวัดค่า ซึ่งจะต้องมีการกำหนดตำแหน่งของจุดที่เราจะทำการวัดค่าและต้องวางแผน กำหนดจุดในการวัดให้เหมาะสมด้วย



รูปที่ 3.3 รูปการเตรียมการทดลองและออกแบบการวัดค่าอุณหภูมิ

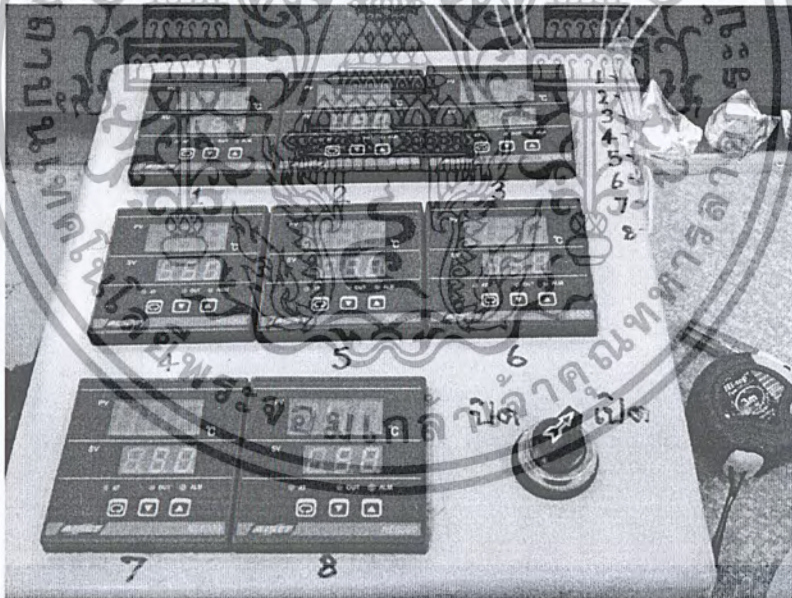
เนื่องจากที่เราต้องวางแผนก่อนการวัดเพราะขนาดของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปจากหน้างานจริงมีขนาดที่ไม่ตรงตามแบบ(Drawing)ที่ทางบริษัทให้มา และเพื่อความแม่นยำของค่าของอุณหภูมิที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบเราจึงต้องกำหนดตำแหน่งให้มีความเหมาะสม โดยเราจะการวัดขนาดของแผ่นให้ความร้อนแล้วคำนวณตำแหน่งของจุดที่เหมาะสม เมื่อได้ตำแหน่งที่เหมาะสมก็จะทำการติดรางสี่เหลี่ยมจตุรัสแบบเมทริกซ์ ระยะห่างเท่าๆกัน ตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แบบการวัดในแต่ละตำแหน่งโดยตีตารางเมทริกซ์

การวัดค่าโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ ซึ่งทางบริษัทได้จัดทำขึ้นมาเพื่อการตรวจวัดผลอุณหภูมิ โดยเครื่องวัดอุณหภูมิจะมีการวัดค่าอุณหภูมิได้แปลตำแหน่ง ซึ่งจะแสดงค่าเป็นตัวเลขดิจิทัล ดังที่ให้เห็นในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดอุณหภูมิ

หลังจากนั้นเราก็จะทำการวัดอุณหภูมิ โดยจะนำสายใยแก้วที่ใช้วัด ซึ่งที่ปลายสายใยแก้วจะเป็นแผ่นวัดค่าหุ้มด้วยซิลิโคนใส จากนั้นก็ทำการติดแผ่นวัดอุณหภูมิลงบนตำแหน่งของแผ่นให้ความร้อน แล้วนำเทปกาวกันความร้อนแปะทับเพื่อให้ติดสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การวัดค่าอุณหภูมิแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

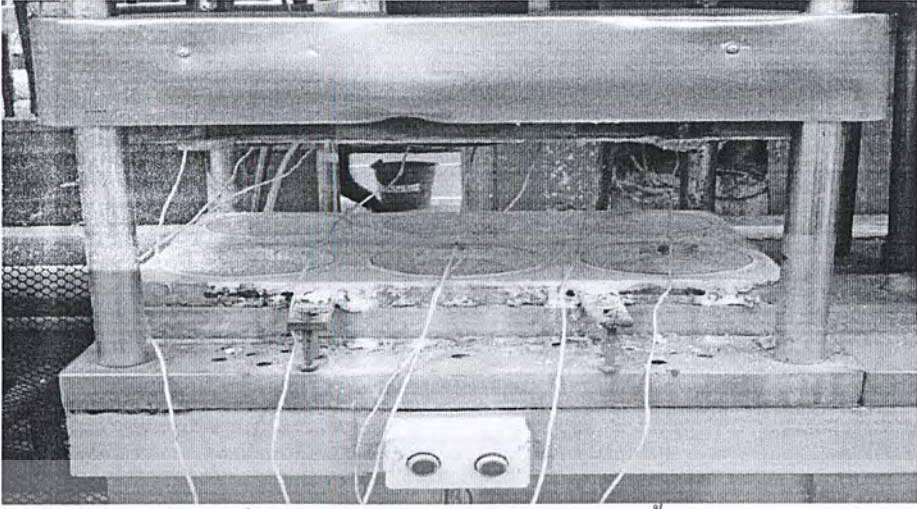
เนื่องจากแผ่นให้ความร้อนมีอุณหภูมิที่สูง ทำให้การติดเทปกาวต้องคิดหาเป็นพิเศษ เพื่อการวัดอุณหภูมิจะได้มีความแม่นยำมากที่สุด



รูปที่ 3.7 การวัดค่าอุณหภูมิแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

แล้วก็รอกจนได้ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้องแม่นยำที่สุด ก็คือค่าจะหยุดนิ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อได้ค่าอุณหภูมิแล้วก็ทำการบันทึกผลลงในตารางที่เราได้จัดเตรียมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การวัดค่าอุณหภูมิแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

ทำแบบนี้จนครบทุกตำแหน่งบนแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป ทั้งแผ่นล่างและแผ่นบน แล้วบันทึกผลลงตาราง

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน

low8	162	162	162	163	164	164	164	165	165	162	165	164	155
low7	163	162	163	165	163	166	164	167	167	162	165	166	156
low6	162	164	163	166	167	165	166	167	167	164	166	165	157
low5	161	165	162	167	166	163	163	164	164	163	163	165	157
low4	162	170	162	164	165	163	165	166	168	165	164	166	158
low3	164	167	165	165	166	167	166	165	166	166	168	165	159
low2	163	165	164	162	163	164	163	163	165	164	166	167	158
low1	160	163	162	163	163	165	164	163	165	164	163	164	157
low0	159	161	158	157	159	162	162	157	158	159	161	163	156
	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองของแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง

low8	160	160	159	161	162	162	162	165	165	160	163	162	153
low7	161	161	160	162	163	163	163	167	167	161	165	166	153
low6	160	162	158	165	166	166	166	167	167	164	165	165	156
low5	156	157	159	167	166	162	162	164	164	160	161	165	157
low4	160	162	161	162	163	164	163	166	166	163	167	162	158
low3	162	162	165	161	166	165	166	163	166	165	166	165	159
low2	161	163	160	157	159	164	160	163	161	160	165	167	158
low1	158	159	158	163	163	165	164	163	165	164	161	164	151
low0	159	161	158	151	159	162	162	157	154	156	161	163	153
	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column	column
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน

low5	141	147	145	144	151	150	150	150
low4	145	148	154	154	156	156	152	154
low3	145	153	152	158	158	157	156	155
low2	148	152	153	153	158	155	154	150
low1	150	152	155	154	156	157	156	156
low0	147	147	154	149	155	153	151	144
	colom0	colom1	colom2	colom3	colom4	colom5	colom6	colom7

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง

low6	148	151	154	143	143	151	151	155	154	147
low5	150	150	155	158	156	154	152	148	155	153
low4	149	149	157	155	154	157	150	150	153	157
low3	151	149	155	153	157	154	156	149	153	153
low2	149	150	154	154	156	155	154	150	159	155
low1	148	147	148	151	153	153	155	149	156	152
low0	148	148	145	154	157	153	154	151	154	148
	colom0	colom1	colom2	colom3	colom4	colom5	colom6	colom7	colom8	colom9

เมื่อได้ค่าของอุณหภูมิครบทุกตำแหน่งตามตาราง นำข้อมูลจากการวัดค่าด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปมาดำเนินการเขียนคอนทัวร์ (Contour) ของผิว เพื่อดูการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรม MATLAB และหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ผิวแผ่น

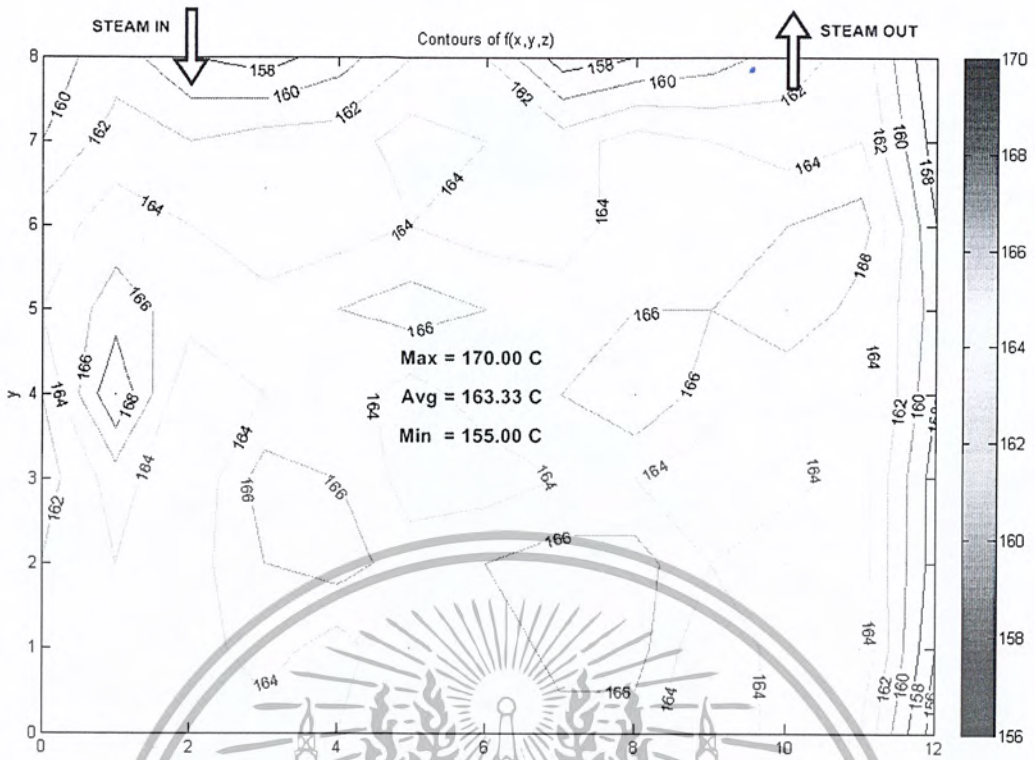
จากการวัดค่าอุณหภูมิตามผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 163.33, 170 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.9

สำหรับผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 161.82, 171 และ 152 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.10

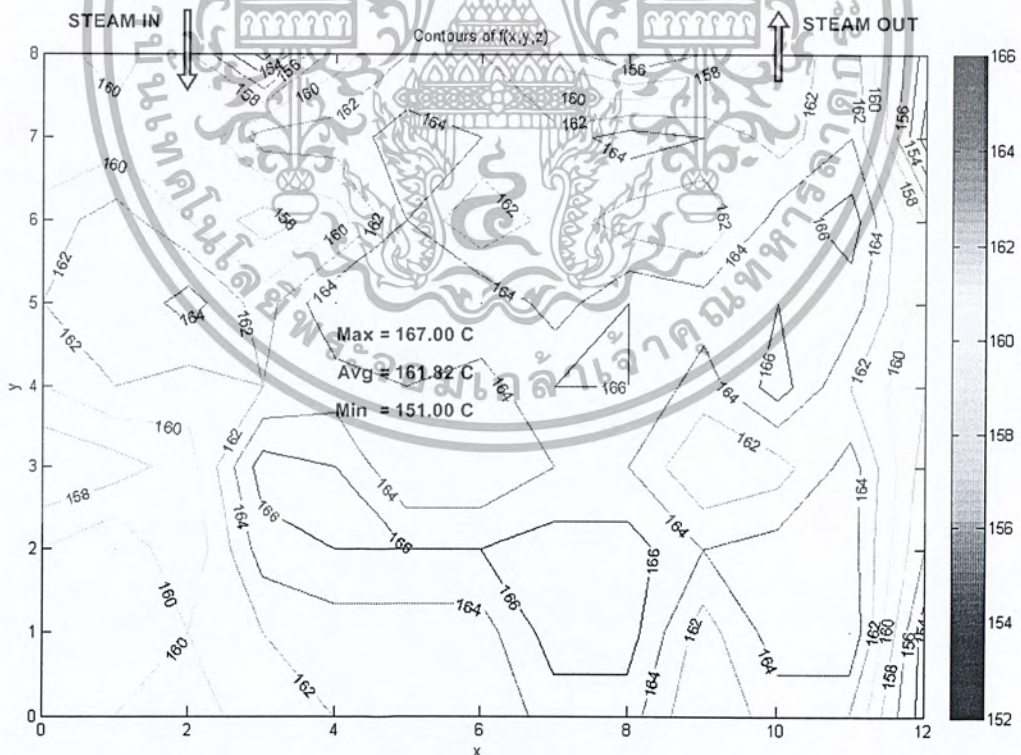
สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 151.87, 158 และ 141 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.11

สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 152.13, 159 และ 143 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

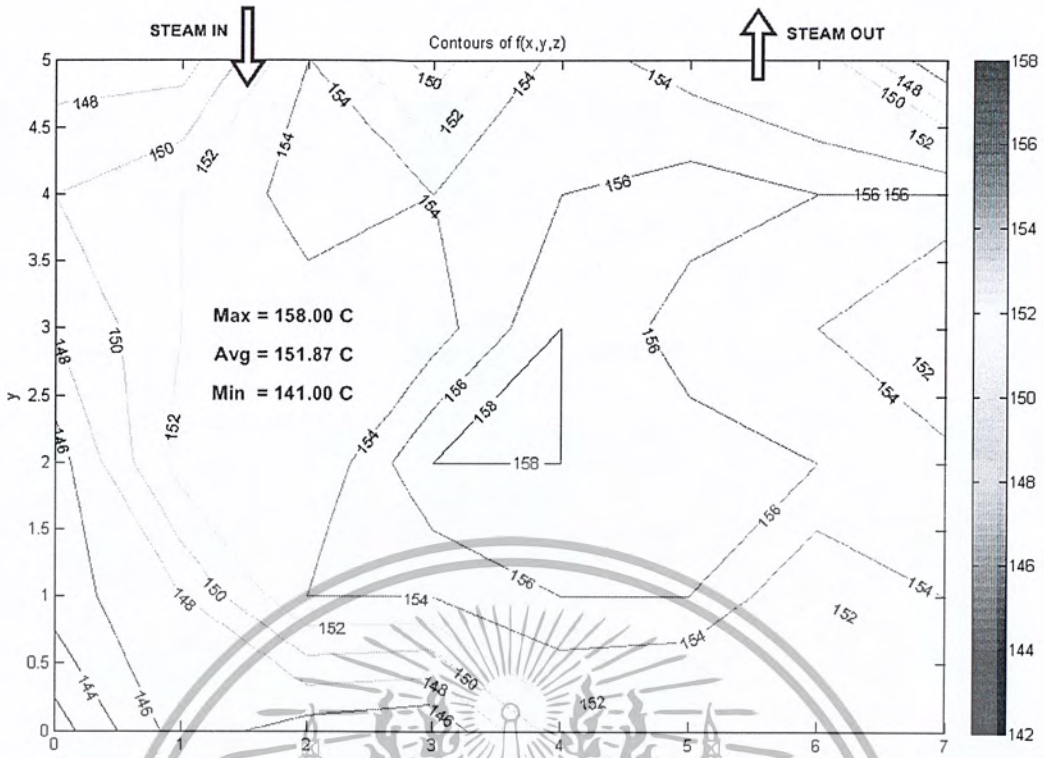


รูปที่ 3.9 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นให้ความร้อน
แผ่นบนโดยโปรแกรม MATLAB

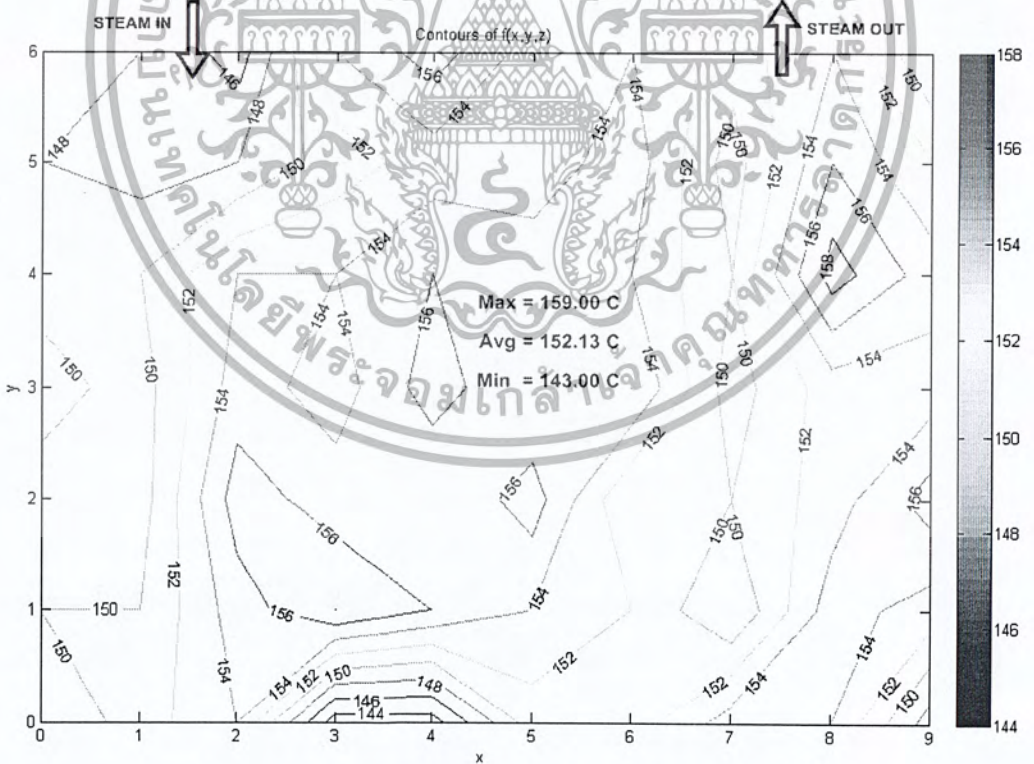


รูปที่ 3.10 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นให้ความร้อน
แผ่นล่างโดยโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นแม่พิมพ์ขั้วรูป
แผ่นบน โดยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.12 คอนทัวร์การกระจายความร้อนบนแผ่นแม่พิมพ์ขั้วรูป
แผ่นล่าง โดยโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวัดค่าและเก็บข้อมูลด้วยกล้องเทอร์โมสแกน

เมื่อได้ทำการเก็บวัดค่าด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและทำการเขียนกราฟแล้ว จากนั้นทำการวัดค่าอุณหภูมิด้วยการภาพถ่ายความร้อนจากกล้องเทอร์โมสแกน เพื่อดูการกระจายของอุณหภูมิตั้งแต่บนผิวหนังแผ่นให้ความร้อนและผิวหนังแม่พิมพ์ขึ้นรูป



รูปที่ 3.13 กล้องเทอร์โมสแกน

โดยจากการถ่ายภาพความร้อนจะสามารถวัดค่าอุณหภูมิด้วยอินฟราเรด จึงทำให้ค่าอุณหภูมิที่ได้จากภาพถ่ายความร้อนมีค่าแม่นยำที่สุด โดยการถ่ายนั้นจะถ่ายโดยมุมกดลงเพื่อต้องการดูความร้อนบนผิวของของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป



รูปที่ 3.14 การถ่ายภาพความร้อนจากกล้องเทอร์โมสแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

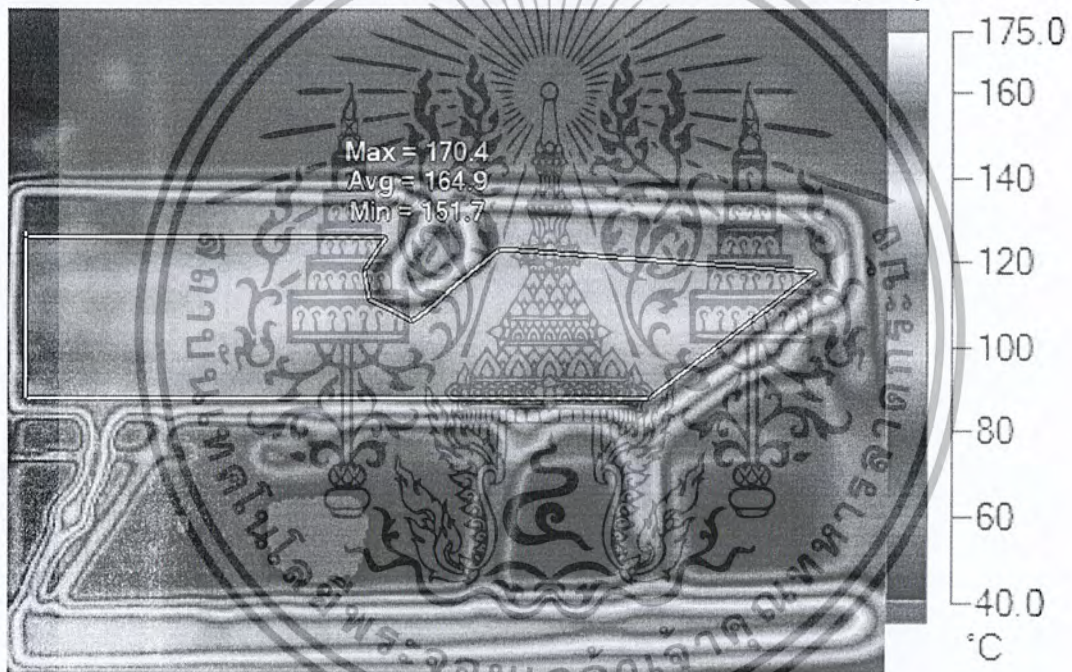
จากภาพถ่ายความร้อนจะพบว่าค่าของอุณหภูมิบนผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 164.9, 170.4 และ 151.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.15

สำหรับผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่างมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 162.0, 168.5 และ 151.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.16

สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 154.5, 167.6 และ 98.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.17

สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 157.8, 164.9 และ 141.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.18

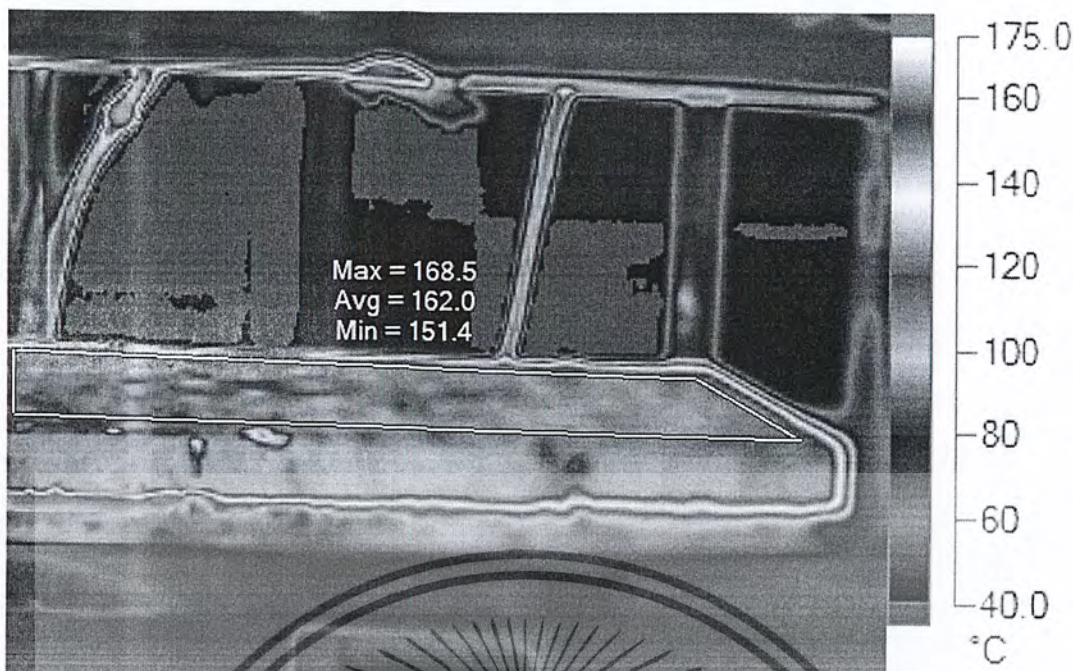
จากรูปที่ 3.15 อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าน้อยอาจมาเนื่องจากมีสิ่งสกปรกบนแผ่นให้ความร้อน ทำให้ค่าความร้อนที่ได้หลายตำแหน่งมีค่าต่ำกว่าที่ควร ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าอุณหภูมิเฉลี่ย



รูปที่ 3.15 ภาพถ่ายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน

โดยกล้องเทอร์โมสแกน

จากรูปที่ 3.16 ผิวของแผ่นให้ความร้อนมีความสกปรก ซึ่งเกิดจากการที่ไอน้ำไหลมาตามรูระบายในกระบวนการอบแห้งขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าลดลง ดังที่เห็นว่ามีแถบสีเหลืองและเขียว อยู่บนแผ่นให้ความร้อน



รูปที่ 3.16 ภาพถ่ายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง
โดยกล้องเทอร์โมสแกน

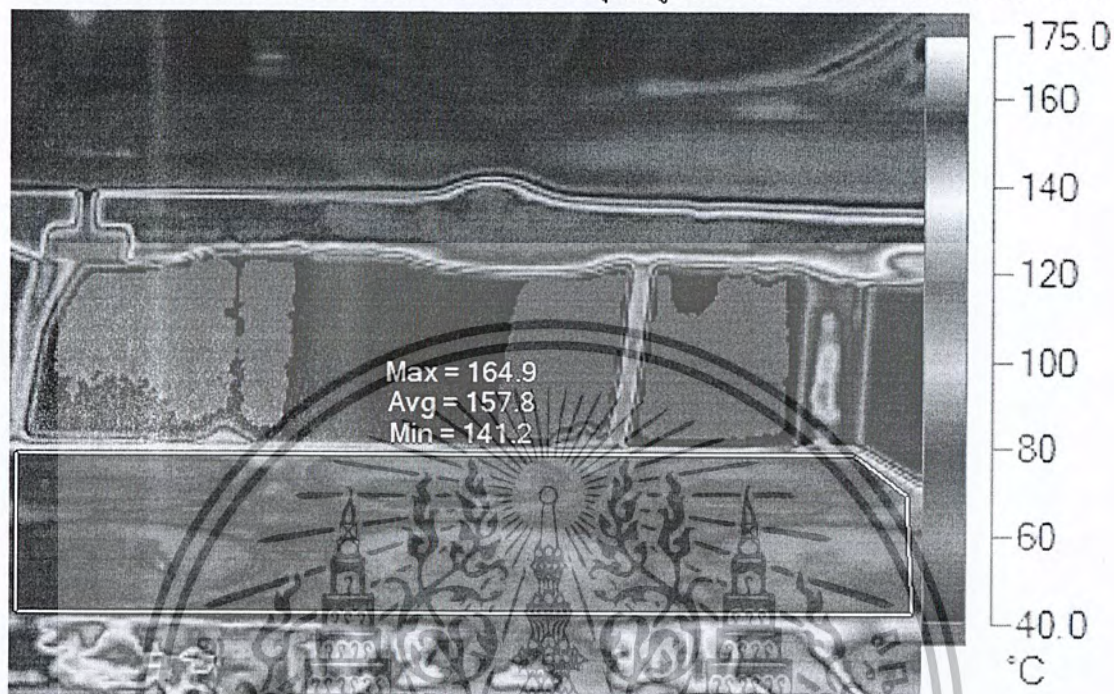
จากรูปที่ 3.17 พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากลักษณะของแม่พิมพ์ขึ้นรูปที่มีรูปทรงนูนออกมา ทำให้พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจึงต่ำลง และเนื่องจากรูปทรงที่นูนออกมา ทำให้ระยะห่างการถ่ายเทความร้อนโดยการนำจากแผ่นความร้อนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง จะเห็นว่าที่ปลายนูนจะมีสีฟ้าและสีเขียว ซึ่งตามสเกลอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 100-120 องศาเซลเซียส เท่านั้น



รูปที่ 3.17 ภาพถ่ายความร้อนของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน โดยกล้องเทอร์โมสแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.18 พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและค่าอุณหภูมิต่ำสุดของแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างมีค่ามากกว่าแผ่นบน เนื่องจากลักษณะของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างมีรูปทรงที่โค้งเว้าลงไปตามรูปทรงของการขึ้นรูป ซึ่งจะทำให้ระยะห่างระหว่างผิวแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปมีขนาดลดลง ทำให้การถ่ายเทความร้อน โดยการนำขึ้น จึงทำให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยมีความใกล้เคียงกับแผ่นความร้อน

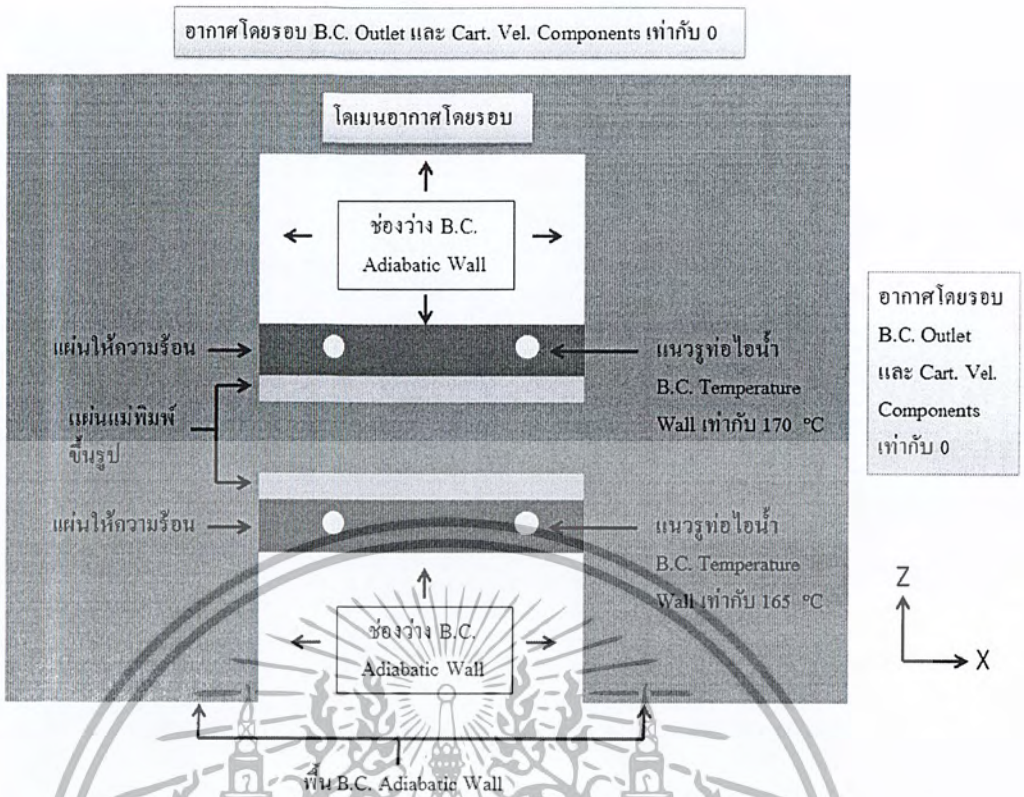


รูปที่ 3.18 ภาพถ่ายความร้อนของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง
โดยกล้องเทอร์โมสแกน

แบบจำลองการวิเคราะห์

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะแสดงขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์และการกำหนดเงื่อนไขต่างๆที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหาผลลัพธ์จากการทำการจำลอง โดยเริ่มต้นเขียนแบบชิ้นงานสามมิติด้วยโปรแกรม UNIGRAPHICS NX 2.0 ตามรูปร่างและขนาดจริงจากแบบที่ได้รับมาจากทางบริษัท ซึ่งรูปทรงที่สร้างขึ้นประกอบด้วยแผ่นให้ความร้อน แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป และอากาศบรรยากาศ จากนั้นจะทำการสร้างเมช(Mesh)สำหรับเก็บค่าตัวแปรของสมการและกำหนดขอบเขตสำหรับใช้ในการสร้างเงื่อนไขด้วยโปรแกรม ANSYS ICEM CFD 11.0 โดยจะใช้ลักษณะเมชแบบทรงสี่หน้า(Tetra Mesh) เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างสำหรับรูปทรงสามมิติที่มีความซับซ้อน ส่วนขนาดของเมชจะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานและบริเวณที่ศึกษาหรือบริเวณที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่จะได้หลังจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมทำการจำลองเมื่อสามารถสร้างเมชที่มีความเหมาะสมได้แล้ว หลังจากนั้นจะทำการจำลองภายใต้เงื่อนไขการนำความร้อนและการพาความร้อนในสภาวะคงตัวด้วยโปรแกรม ANSYS CFX 11.0 เพราะเหตุผลว่าถ้ามีการกำหนดให้มีไอน้ำไหลภายในท่อของแผ่นให้ความร้อน จะทำให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณผลลัพธ์ของโปรแกรม เนื่องมาจากการแปรเปลี่ยนของสถานะของไหลจากไอน้ำอึดตัวอาจเปลี่ยนเป็นของผสมหรืออาจเปลี่ยนเป็นของไหลอัดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลงตามระยะทางของการไหล จึงทำการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบที่ผิวท่อของแผ่นให้ความร้อนให้มีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งเส้น อีกทั้งยังมีการกำหนดชนิดวัสดุของชิ้นงาน ซึ่งสมมติฐานในการกำหนดเงื่อนไขต่างๆเป็นเหตุผลสำคัญเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง โดยกระบวนการในประมวลผลของโปรแกรมนั้นจะใช้เงื่อนไขที่ขอบและค่าสถานะเริ่มต้นที่ได้กำหนดให้กับโปรแกรมเป็นส่วนดำเนินงานเริ่มต้นของการประมวลผล จากนั้นจะคำนวณ โดยใช้สมการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของชิ้นงานซึ่งมีรองรับอยู่ในตัวโปรแกรมเองเพื่อหาผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา ซึ่งผู้ที่ทำการจำลองจะต้องเข้าใจถึงรายละเอียดทางฟิสิกส์และปัญหาที่ทำการศึกษาของชิ้นงานอย่างแท้จริง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและใช้เวลาในการทำการจำลองไม่มากจนเกินไป โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงภาพรวมการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบสำหรับการจำลอง

ตารางที่ 4.1 การกำหนดขนาดค่าเฉลี่ยของชั้นส่วน

ชั้นส่วน	ขนาดใหญ่สุด	ขนาดเล็กสุด
อากาศบรรยากาศ	1000	20
แผ่นให้ความร้อน	20	20
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป	20	20
ผิวนอกอากาศบรรยากาศ	1000	1000
ผิวรูแนวท่อไอน้ำ	4	4
ผิวพื้น	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การกำหนดค่าทั่วไปสำหรับการจำลอง

Simulation		
Simulation Type	Steady State	
Solver Control		
Basic Settings	Advection Scheme Option	Upwind
	Convergence Control	
	Max. Iterations	2000
	Fluid Timescale Control	
	Timescale Control	Auto Timescale
	Length Scale Option	Conservative
	Timescale Factor	1
	Solid Timescale Control	
	Solid Timescale	Auto Timescale
	Convergence Criteria	
Residual Type	RMS	
Residual Target	1.00E-04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติและการกำหนดค่าสำหรับการจำลองของแผ่นให้ความร้อน

Material	Aluminium 5083		
	Density	2660 kg/m ³	
	Molar Mass	26.84 kg/kmol	
	Specific Heat Capacity	900 J/kg.K	
	Thermal Conductivity	117 W/m.K	
Domain			
General Options	Basic Settings		
	Domain Type	Solid Domain	
	Solids List	Aluminium 5083	
	Domain-Models		
	Domain Motion	Stationary	
	Mesh Deformation	None	
Solid Models	Heat Transfer Option	Thermal Energy	
	Thermal Radiation		
	Model Option	None	
Initialisation	Temperature Option	Automatic	
Boundary			
		Upper	Lower
Basic Settings	Boundary Type	Wall	
Boundary Details	Heat Transfer Option	Temperature	
	Fixed Temperature	170 °C	165 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติและการกำหนดค่าสำหรับการจำลองของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

Material	Cartridge Brass	
	Density	8530 kg/m ³
	Molar Mass	64.06 kg/kmol
	Specific Heat Capacity	380 J/kg.K
	Thermal Conductivity	110 W/m.K
Domain		
General Options	Basic Settings	
	Domain Type	Solid Domain
	Solids List	Cartridge Brass
	Domain Models	
	Domain Motion	Stationary
	Mesh Deformation	None
Solid Models	Heat Transfer Option	Thermal Energy
	Thermal Radiation Model Option	None
Initialisation	Temperature Option	Automatic
Boundary	Interface	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติและการกำหนดค่าสำหรับทำการจำลองของอากาศบรรยากาศ

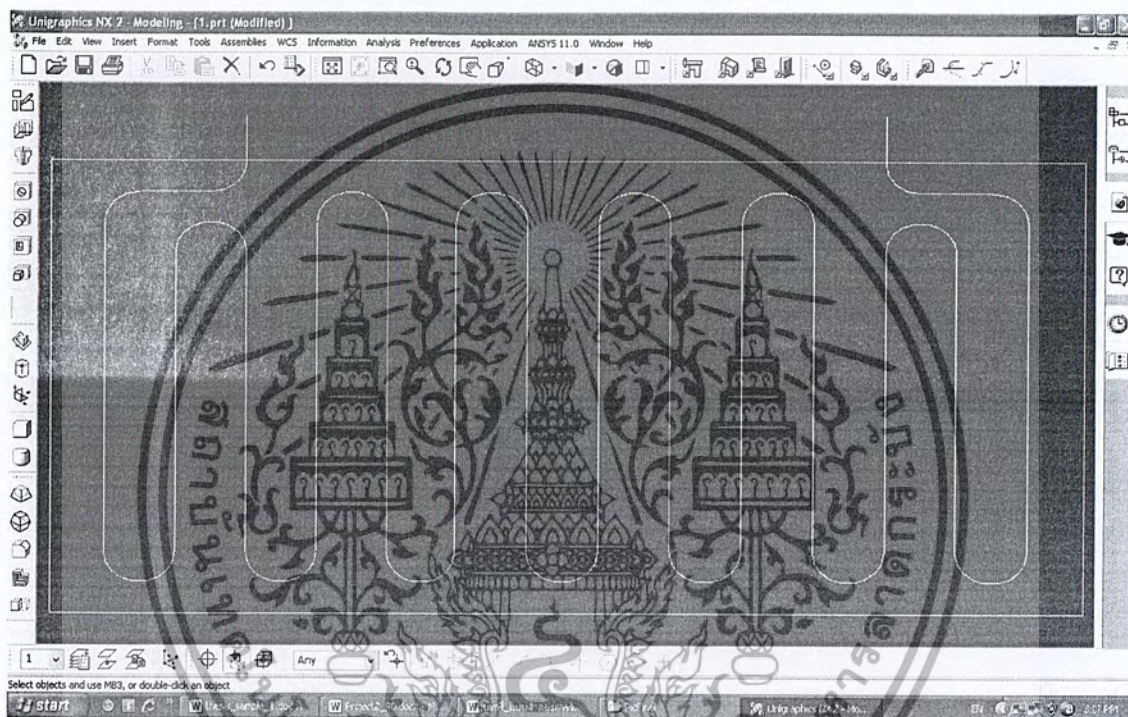
Material	Air Ideal Gas	
	Molar Mass	28.96 kg/kmol
	Specific Heat Capacity	1004.4 J/kg.K
	Thermal Conductivity	261 W/m.K
Domain		
General Options	Basic Settings	
	Domain Type	Fluid Domain
	Fluids List	Air Ideal Gas
	Domain Models	
	Reference Pressure	1 atm
	Buoyancy Option	Buoyant
	Gravity X Dim.	0 m/s ²
	Gravity Y Dim.	0 m/s ²
	Gravity Z Dim.	-9.81 m/s ²
	Buoy. Ref. Density	1.1414 kg/m ³
	Domain Motion	Stationary
	Mesh Deformation	None
Fluid Models	Heat Transfer Option	Thermal Energy
	Turbulence	None (Laminar)
Initialisation	Temperature Option	Automatic with Valve (Temperature = 40°C)
Boundary		
Basic Settings	Boundary Type	Outlet
Boundary Details	Flow Regime Option	Subsonic
	Mass And Momentum Option	Cart. Vel. Components (U, V and W = 0 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสร้างรูปทรงชิ้นงานด้วยโปรแกรม UNIGRAPHICS NX 2.0

4.2.1 เขียนแบบสองมิติของแผ่นให้ความร้อน

เขียนแบบสองมิติของแผ่นให้ความร้อนโดยมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 435 และ 760 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเขียนแนวศูนย์กลางของขดท่อไอน้ำโดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อไอน้ำเท่ากับ 22 มิลลิเมตร

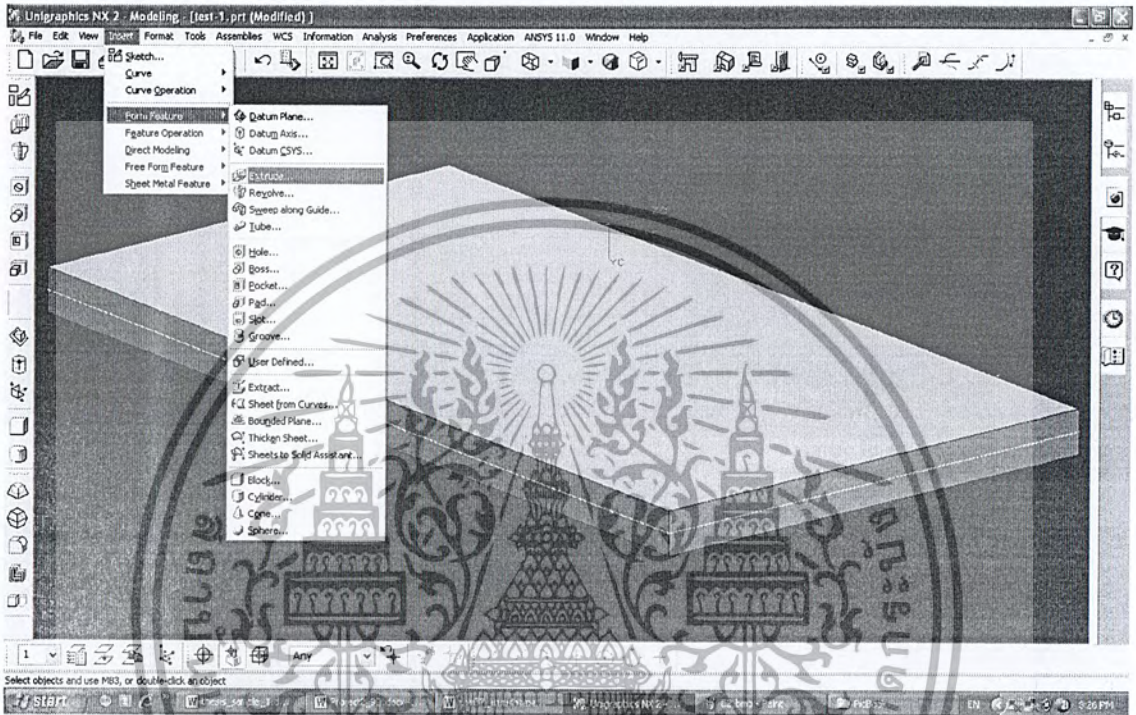


รูปที่ 4.2 แสดงการเขียนแบบสองมิติของแผ่นให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เขียนแบบสามมิติของแผ่นให้ความร้อน

ใช้คำสั่ง Extrude เลือกที่เส้นรอบรูปของแผ่นให้ความร้อน ใช้รูปแบบทิศทางแบบ Direction and Distance โดยกำหนดให้ทิศทาง +Y เท่ากับ 22.5 มิลลิเมตร และทิศทาง -Y เท่ากับ 22.5 มิลลิเมตร เนื่องจากแผ่นให้ความร้อนมีความหนาเท่ากับ 45 มิลลิเมตร

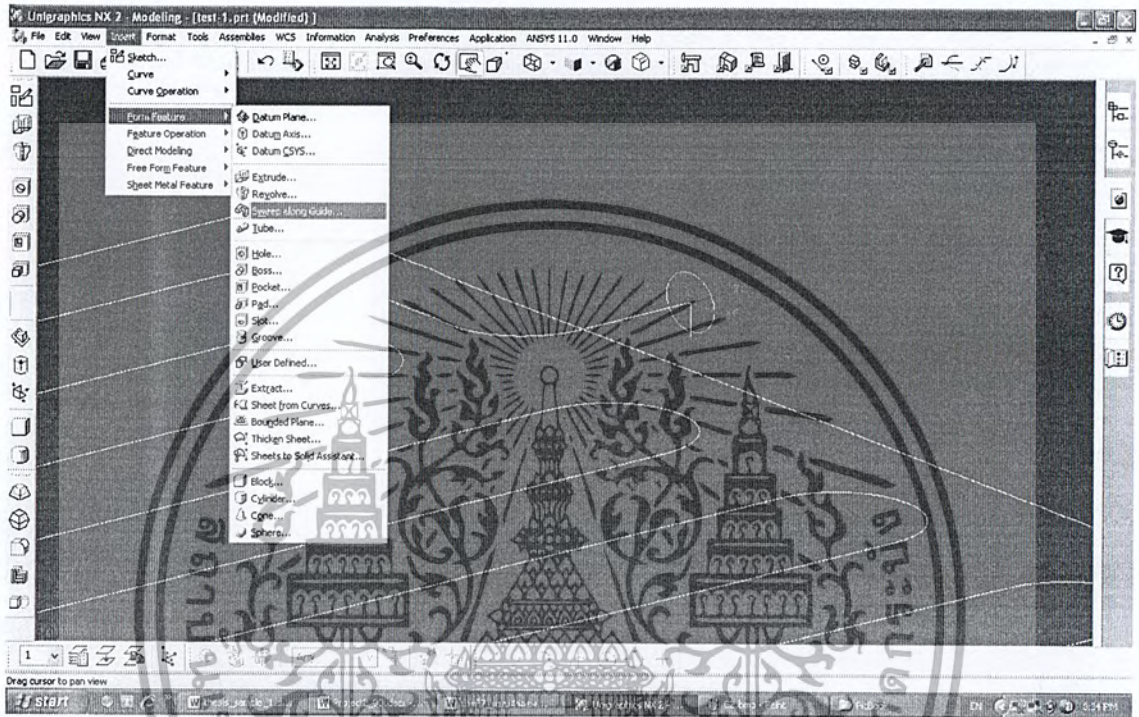


รูปที่ 4.3 แสดงการเขียนแบบสามมิติของแผ่นให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เขียนแบบสามมิติของท่อไอน้ำในแผ่นให้ความร้อน

สร้างพื้นที่วงกลมขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของท่อไอน้ำเท่ากับ 22 มิลลิเมตร จากนั้นใช้คำสั่ง Sweep along Guide แล้วเลือกตามแนวเส้นของขดท่อด้วยขนาดท่อที่เลือกไว้จากวงกลมที่สร้าง จะได้แนวขดท่อขึ้นมา

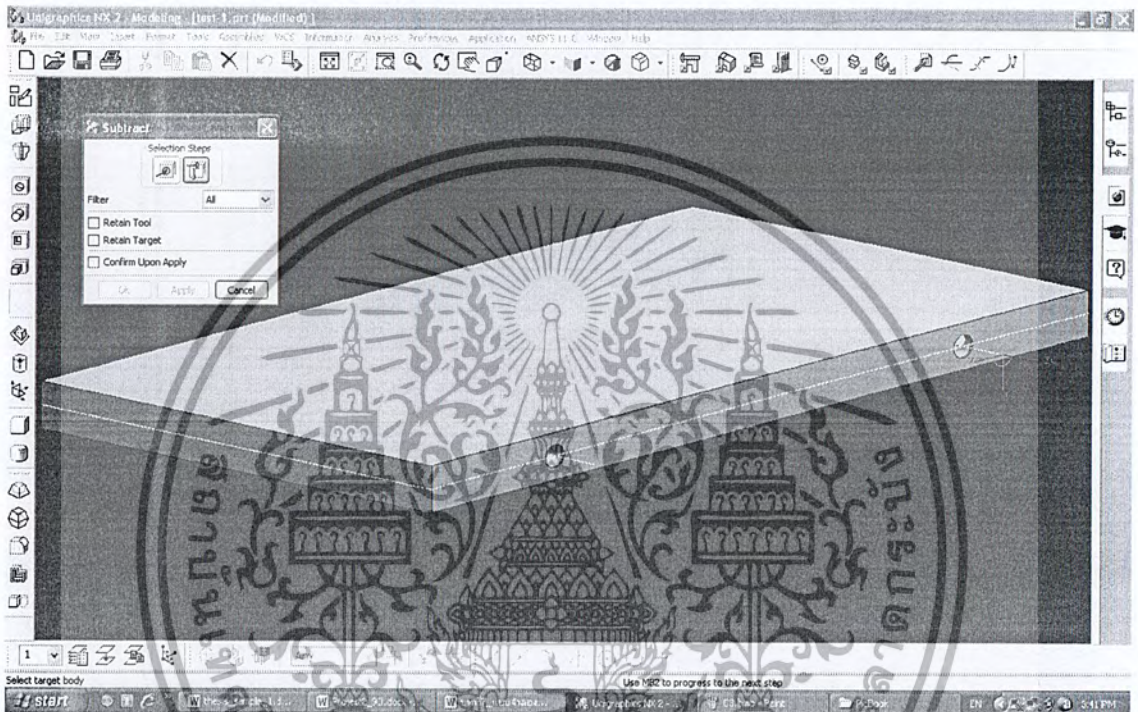


รูปที่ 4.4 แสดงการเขียนแบบสามมิติของท่อไอน้ำในแผ่นให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ลบปริมาตรที่ทับซ้อนระหว่างแผ่นให้ความร้อนกับท่อไอน้ำ

จากการสร้างปริมาตรของแนวท่อไอน้ำขึ้นมา ทำให้เกิดการซ้อนทับกับปริมาตรของแผ่นให้ความร้อน จึงต้องทำการลบออก โดยใช้คำสั่ง Subtract การดำเนินการ ให้ปริมาตรแผ่นให้ความร้อนเป็นตัวตั้ง ลบออกด้วยปริมาตรท่อไอน้ำ จะทำให้ได้แผ่นให้ความร้อนที่มีรูภายในตามแนวของขดท่อไอน้ำ

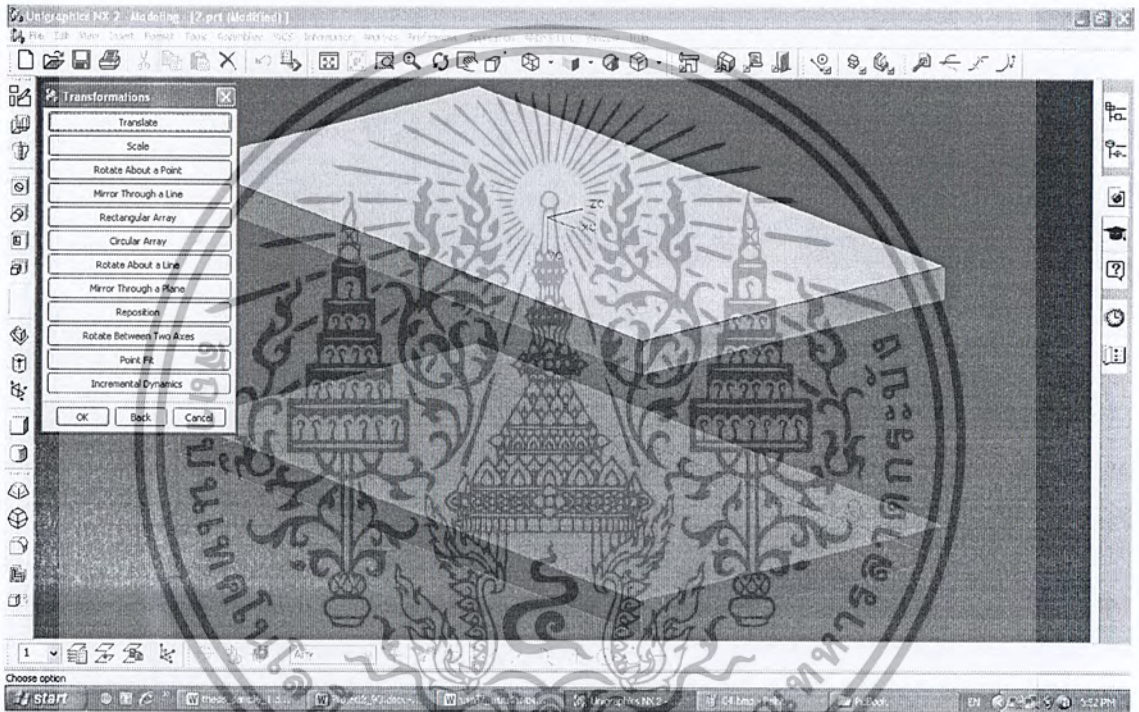


รูปที่ 4.5 แสดงการลบพื้นที่ทับซ้อนเพื่อให้ได้แผ่นให้ความร้อนที่มีรูภายในตามแนวของขดท่อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 สร้างแผ่นให้ความร้อนเพิ่มให้ได้ครบทั้งแผ่นบนและล่าง

เนื่องจากในสภาวะใช้งานจริงมีแผ่นความร้อนทั้งบนและล่าง จึงต้องทำการจำลองให้ใกล้เคียง ดังนั้นจึงต้องสร้างแผ่นให้ความร้อนเพิ่มอีกหนึ่งแผ่น โดยให้แผ่นที่ได้เริ่มสร้างไปแล้วเป็นแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง จากนั้นใช้คำสั่ง Transformations เลือกแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง แล้วจึงใช้คำสั่ง Translate เพื่อเลือกตำแหน่งของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน โดยมีระยะห่างกัน 300 มิลลิเมตร ซึ่งระยะที่ได้มาจากการวัดระยะจริงที่หน้างาน จากนั้นใช้คำสั่ง Copy จะทำให้ได้แผ่นให้ความร้อนทั้งแผ่นบนแล้วแผ่นล่าง

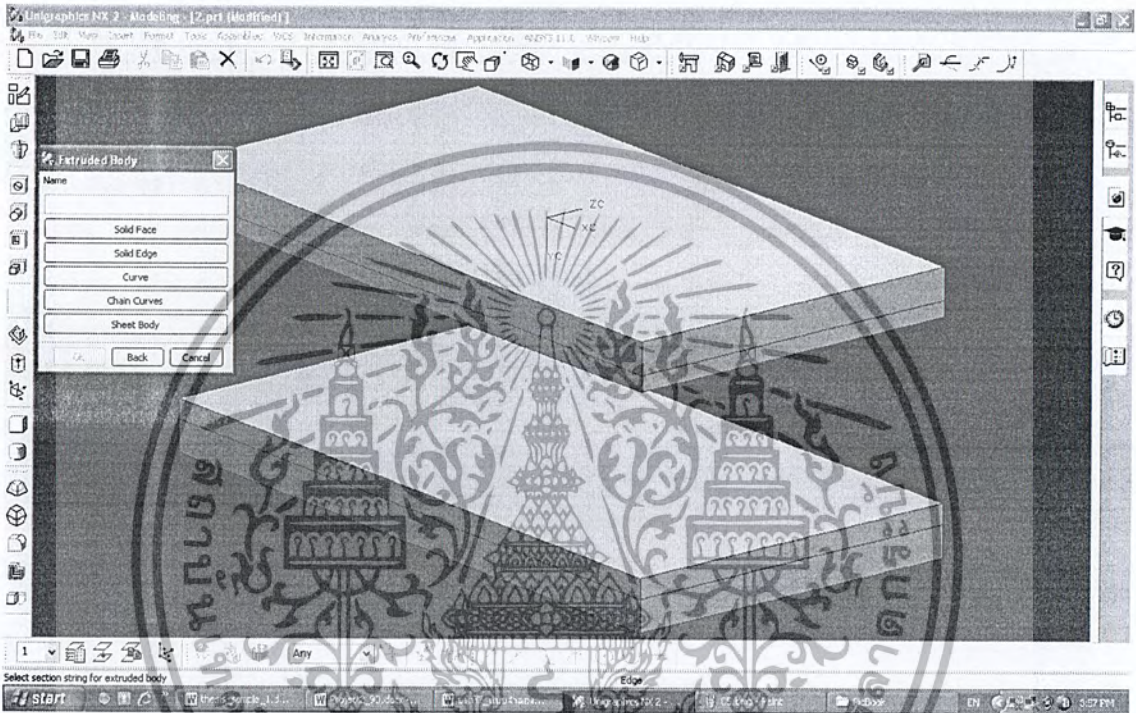


รูปที่ 4.6 แสดงการเขียนแบบสามมิติแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและแผ่นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 เขียนแบบแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปทั้งแผ่นบนและแผ่นล่าง

เนื่องจากในสถานะใช้งานจริงจะมีแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแปะติดอยู่กับแผ่นให้ความร้อนทั้งแผ่นบนและแผ่นล่าง จึงต้องทำการเขียนแบบสามมิติของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปขึ้นมา โดยใช้คำสั่ง Extrude เลือกที่ผิวของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและล่าง แล้วจึงกำหนดระยะความหนา โดยแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างและแผ่นบนมีขนาดความหนาเท่ากับ 28 และ 23 มิลลิเมตร ตามลำดับ

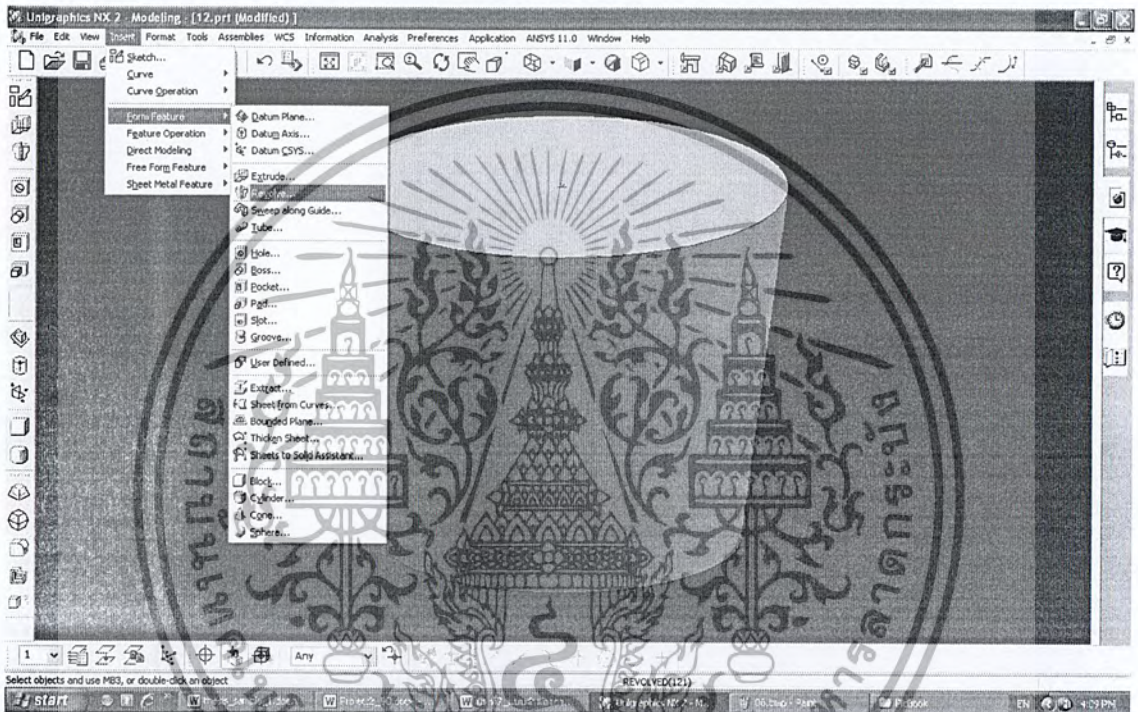


รูปที่ 4.7 แสดงการเขียนแบบสามมิติของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนและแผ่นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 สร้างปริมาตรอากาศบรรยากาศ

เขียนแบบรูปทรงสามมิติของอากาศบรรยากาศเป็นรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ยอดและฐานไม่เท่ากัน โดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานและที่ยอดเท่ากับ 8000 และ 10000 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีความสูงเท่ากับ 10000 มิลลิเมตร ซึ่งการสร้างรูปทรงสามารถทำได้หลายรูปแบบ ในที่นี้จะใช้แนวคิดในการสร้างเส้นของพื้นที่ตัดขวางของระนาบ XY จากนั้นจึงใช้คำสั่ง Revolve เพื่อสร้างปริมาตรขึ้นมา โดยจะหมุนรอบแกน Y ให้ครบ 360 องศา

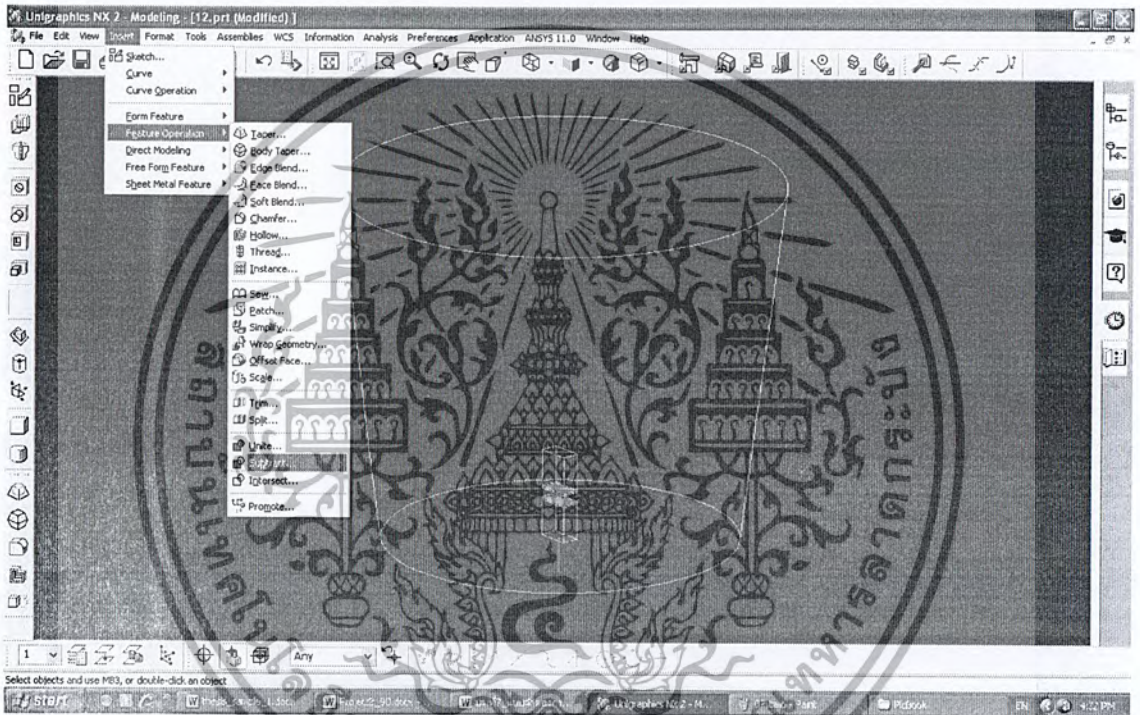


รูปที่ 4.8 แสดงการเขียนแบบสามมิติของอากาศบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 เขียนแบบสามมิติของฐานวงชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปและลบปริมาตรทับซ้อนทั้งหมด

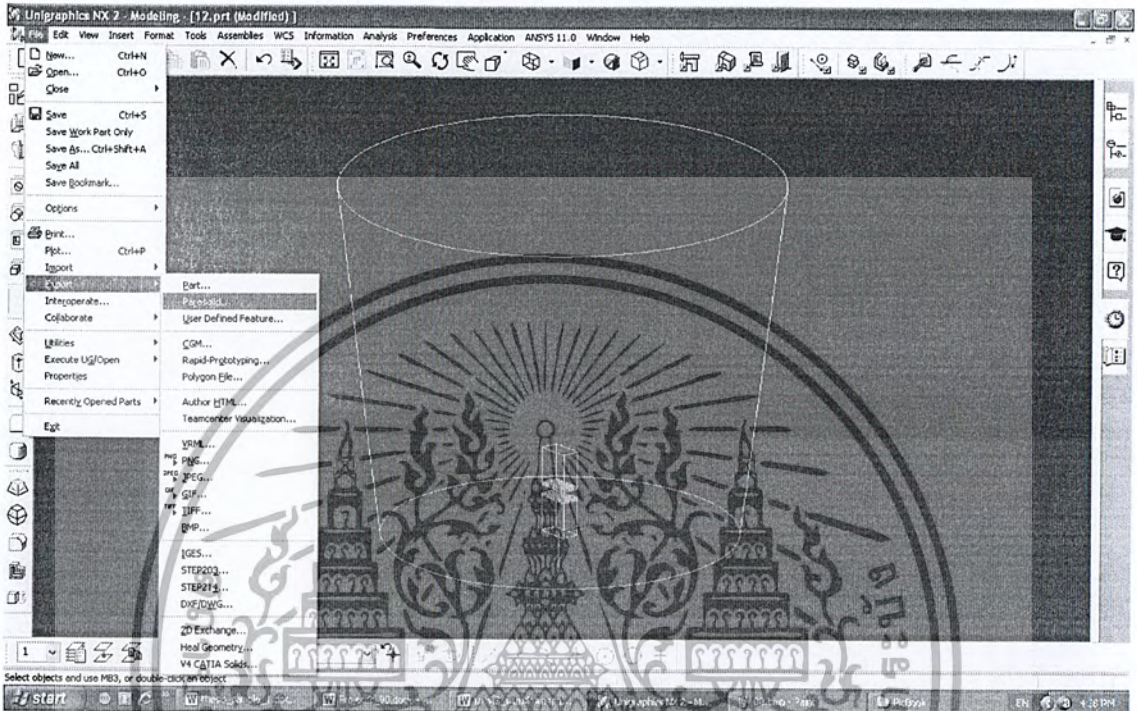
สร้างฐานวงชุดแบบพิมพ์ขึ้นรูปโดยให้มีรูปทรงเป็นปริมาตรทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับขนาดของแผ่นให้ความร้อน และมีความสูงเท่ากับ 1000 มิลลิเมตร ตามระยะจริงที่ได้วัดมาจากหน้างาน ซึ่งสามารถสร้างได้ด้วยคำสั่ง Extrude จากนั้นจะทำการลบปริมาตรทับซ้อนทั้งหมดที่ซ้อนทับกันด้วยคำสั่ง Subtract โดยใช้อากาศบรรยากาศเป็นตัวตั้ง แล้วลบออกด้วยฐานชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป ชุดแผ่นให้ความร้อนบน และชุดแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งจะได้ปริมาตรของวัสดุที่ถูกต้องพร้อมใช้สำหรับการทำการจำลอง



รูปที่ 4.9 แสดงแบบสามมิติที่พร้อมสำหรับการจำลอง

4.2.9 การส่งไฟล์ออกจากโปรแกรมเขียนแบบสำหรับใช้ในโปรแกรมสร้างเม็ช

ส่งออกไฟล์แบบสามมิติที่สมบูรณ์สำหรับส่งต่อเข้าไปใช้ในโปรแกรมสำหรับสร้างเม็ช โดยการใช้คำสั่ง Export และเลือกสกุลการเซฟไฟล์เป็นสกุล Parasolid(.x_t)



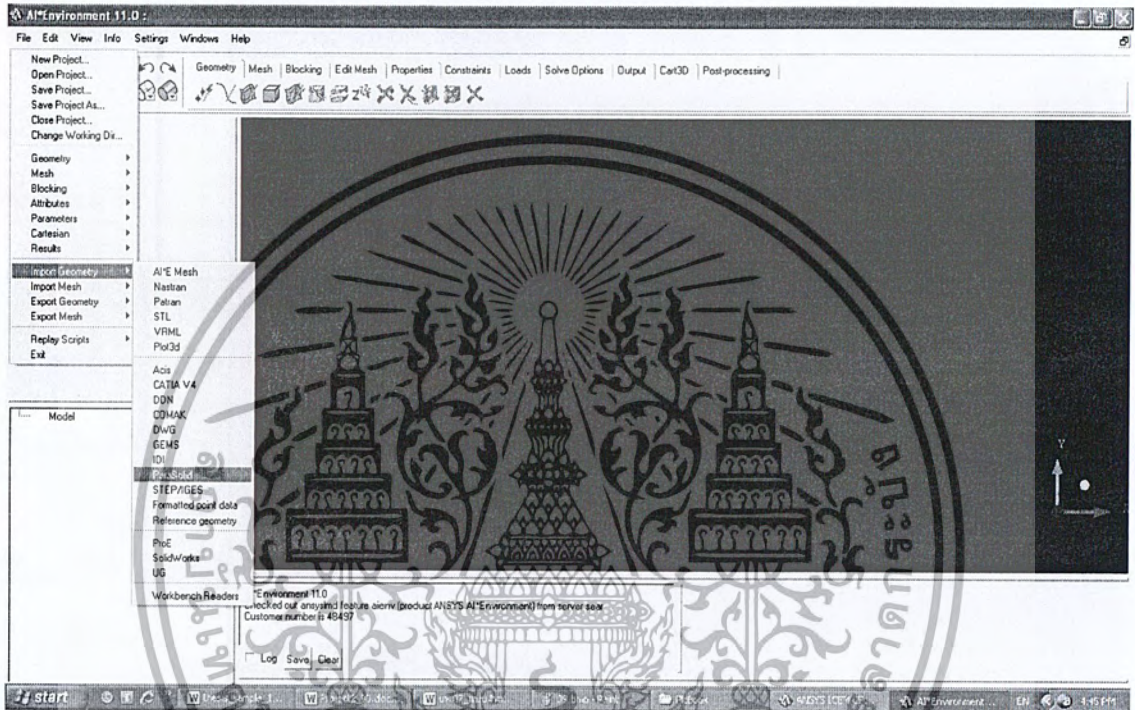
รูป 4.10 แสดงการส่งไฟล์ออกจากโปรแกรมเขียนแบบโดยใช้สกุล Parasolid(.x_t)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสร้างเมชด้วยโปรแกรม ANSYS ICEM CFD 11.0

4.3.1 การนำไฟล์เข้าจากโปรแกรมเขียนแบบเข้าสู่โปรแกรมสร้างเมช

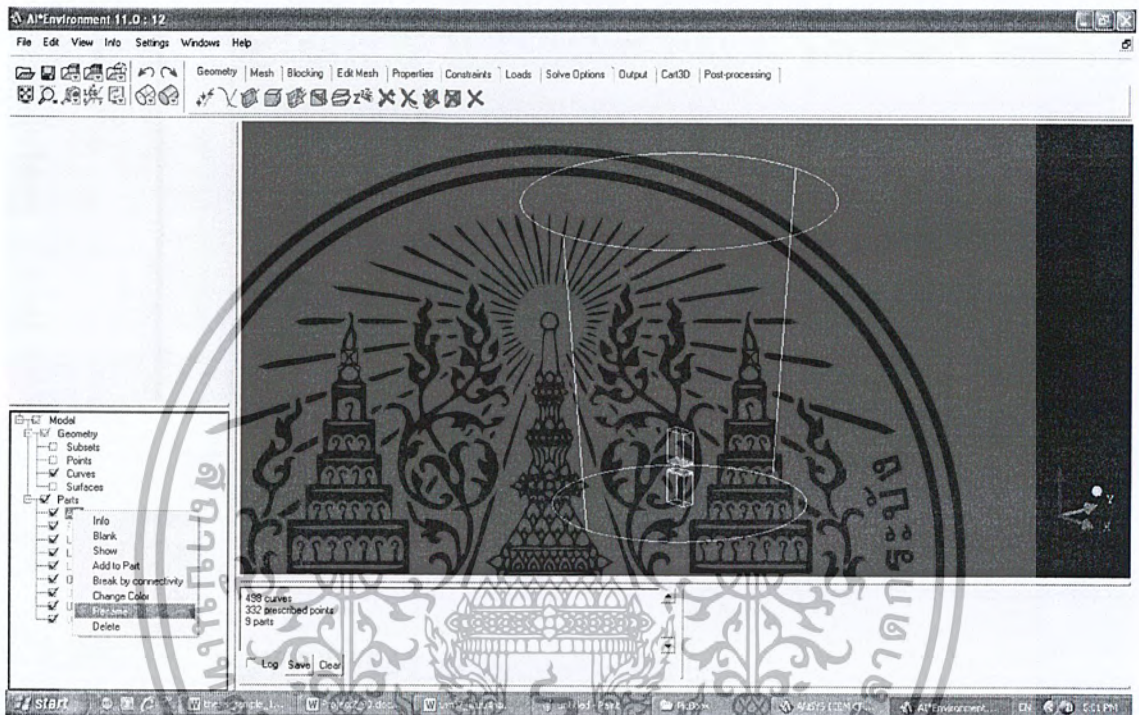
เปิดโปรแกรม ANSYS ICEM CFD 11.0 ใช้คำสั่ง Import Geometry เลือกไฟล์สกุลพาราโซลิต โดยเลือกชื่อไฟล์ที่ได้ทำการเซฟไว้แล้วกำหนดหน่วยเป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 4.11 แสดงการนำไฟล์เข้าจากโปรแกรมเขียนแบบเข้าสู่โปรแกรมสร้างเมช

4.3.2 กำหนดชื่อปริมาตรของวัสดุที่ปรากฏ

เปลี่ยนชื่อปริมาตรของวัสดุเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนและง่ายต่อการทำงาน โดยปริมาตรที่ปรากฏขึ้นมาจะมีทั้งหมดห้าอย่างคือ อากาศบรรยากาศ แผ่นให้ความร้อนแผ่นบน แผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง และแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน สามารถทำได้โดยใช้การคลิกขวาเลือกคำสั่ง Rename



รูปที่ 4.12 แสดงการกำหนดชื่อปริมาตรของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การกำหนดผิวสำหรับใช้ในการสร้างเงื่อนไขที่ขอบ

ในส่วนของแถบ Geometry ด้านซ้าย กดเลือกให้แสดง Surfaces จะทำให้เห็นแนวเส้นพื้นที่ของปริมาตรทั้งหมด จากนั้นกดคลิกขวาที่คำว่า Parts ในแถบด้านซ้าย กดเลือก Create Part จะมีคำสั่งขึ้นมา ให้ตั้งชื่อพื้นที่สำหรับใช้สร้างเงื่อนไขที่ขอบขึ้นมา โดยการเลือกให้ใช้การเลือกแบบ Toggle selection of surfaces เพียงอย่างเดียว ซึ่งพื้นผิวที่จะทำการสร้างขึ้นประกอบไปด้วยสี่ผิวคือ ผิวของอากาศบรรยากาศรอบนอก ผิวของพื้นที่ฐานของอากาศบรรยากาศ ผิวรูตามแนวของท่อไอน้ำของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน และผิวรูตามแนวของท่อไอน้ำของแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง

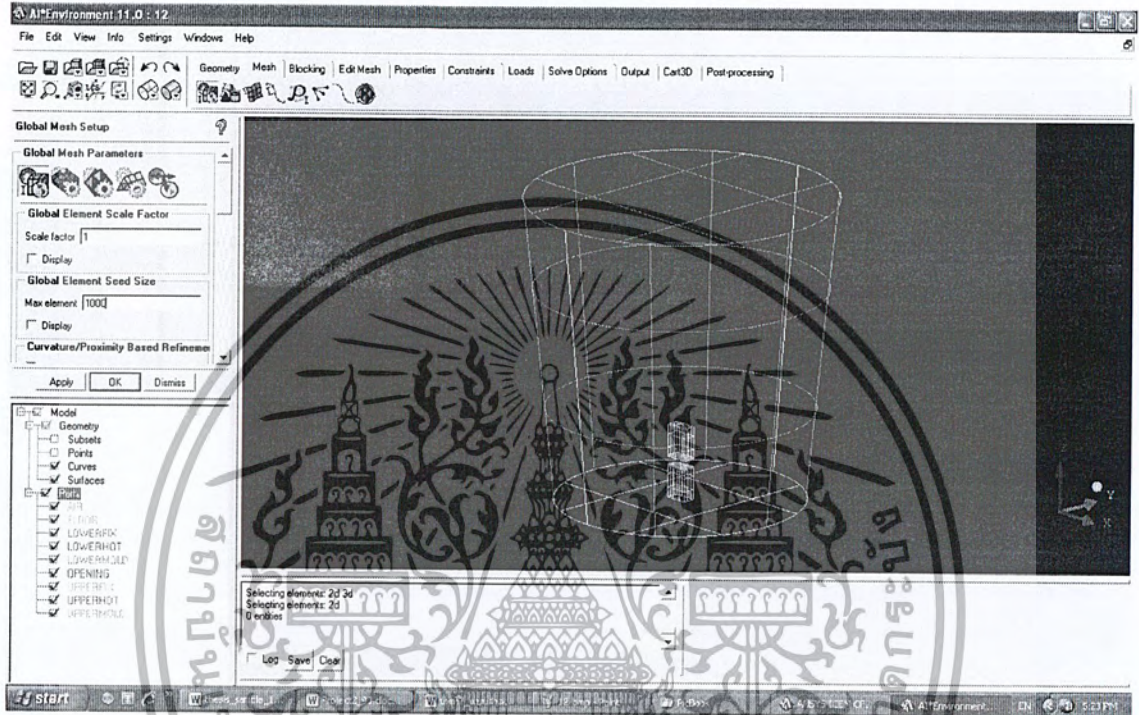


รูปที่ 4.13 แสดงการกำหนดผิวสำหรับใช้ในการสร้างเงื่อนไขที่ขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การกำหนดค่าขนาดอนุภาคโดยรวม (Global Element Seed Size)

การกำหนดขนาดอนุภาคโดยรวมคือการกำหนดขนาดของเม็ชที่จะมีขนาดใหญ่ที่สุด ทำได้โดยเลือกแถบด้านบนที่หัวข้อ Mesh จากนั้นกดเลือก Global Mesh Setup ซึ่งในที่นี้กำหนดค่าในช่อง Max. element เท่ากับ 1000

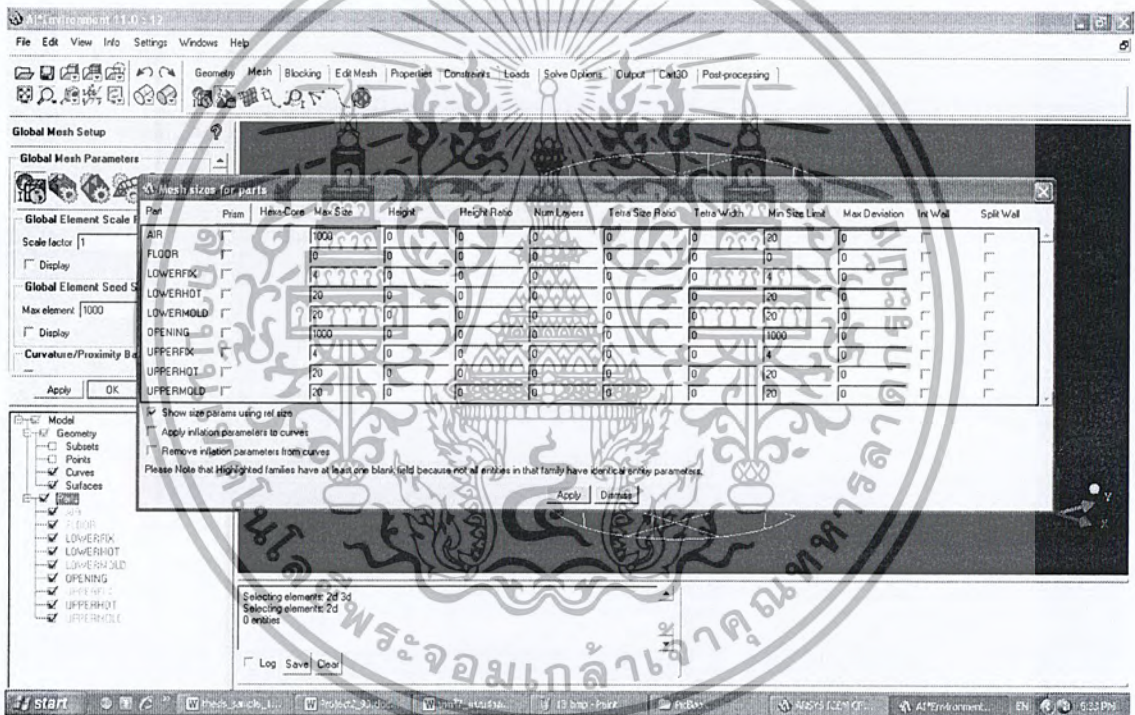


รูปที่ 4.14 แสดงการกำหนดค่าขนาดอนุภาคโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การกำหนดค่าขนาดเม็ชของชิ้นส่วน (Mesh sizes of parts)

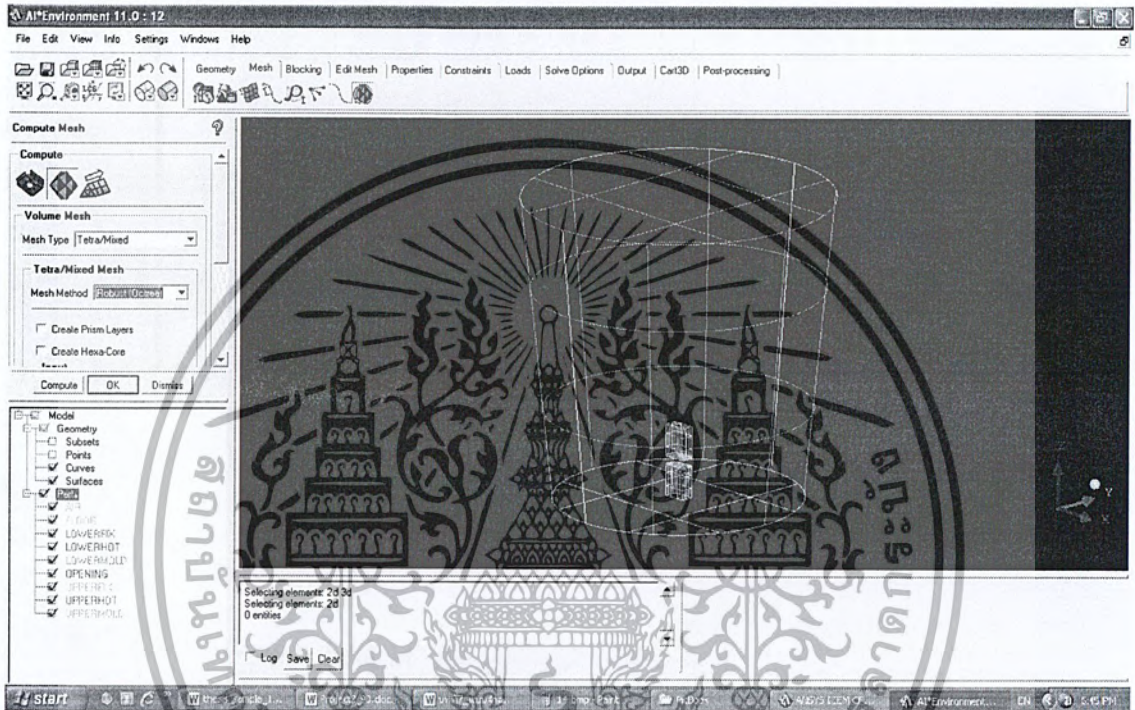
กำหนดขนาดใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดของเม็ชในแต่ละปริมาตรของวัสดุได้โดยใช้คำสั่ง Part Mesh Setup โดยขนาดเม็ชที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับขนาดของปริมาตรวัสดุและบริเวณที่สนใจ โดยกำหนดขนาดเม็ชใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดของอากาศเท่ากับ 1000 และ 20 ตามลำดับ ในส่วนของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและล่าง และแผ่นแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปแผ่นบนและแผ่นล่าง จะกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 20 ทั้งหมด แต่ที่ผิวภายในตามแนวท่อของไอน้ำของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและล่างจะกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 4 เนื่องจากส่วนโค้งที่มีความแคบ ถ้ากำหนดใหญ่อาจทำให้เม็ชแตกได้ สุดท้ายสำหรับพื้น กำหนดขนาดเม็ชเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายถึงขนาดเม็ชที่จะถูกสร้างขึ้นจะถูกโปรแกรมคำนวณให้เองโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.15 แสดงการกำหนดค่าขนาดเม็ชของชิ้นส่วน

4.3.6 การสร้างเม็ช

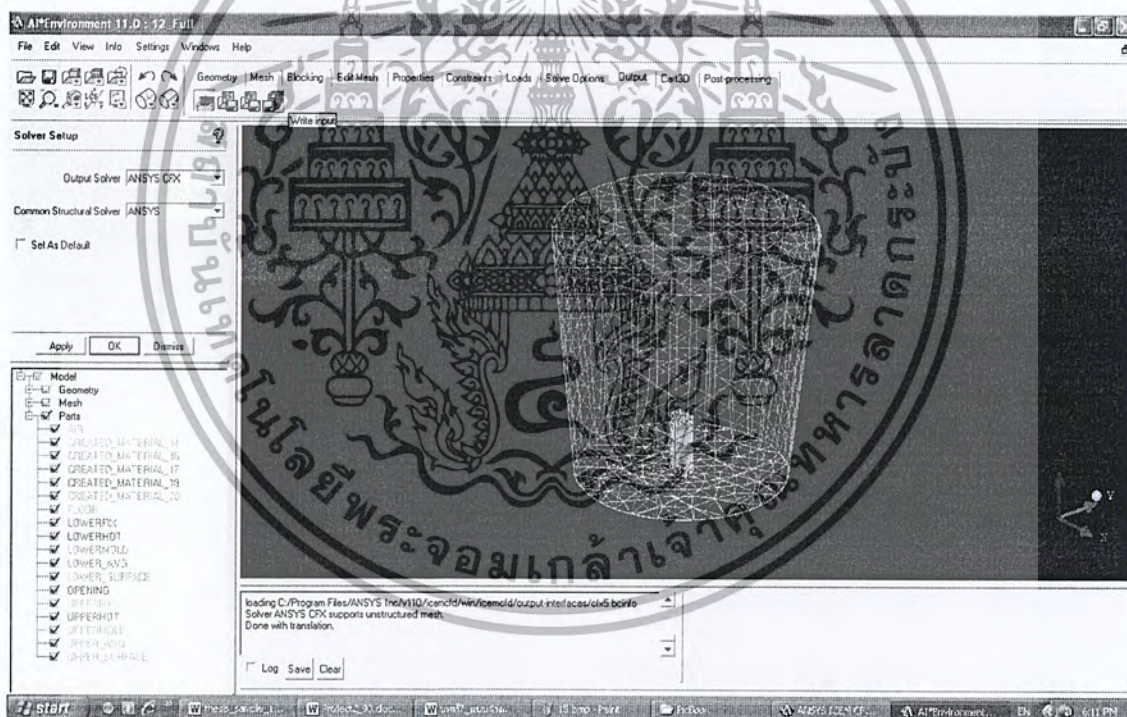
หลังจากที่ได้กำหนดค่าขนาดของเม็ชเรียบร้อยแล้ว จะการสร้างเม็ชโดยใช้คำสั่งในหัวข้อ Compute Mesh โดยกดเลือกรูปแบบการสร้างเป็นการสร้างเม็ชปริมาตร (Volume Mesh) และกดเลือกชนิดเม็ช (Mesh Type) เป็นแบบทรงสี่หน้าและแบบผสม (Tetra/Mixed) จากนั้นเลือก Mesh Method แบบ Robust(Octree) สุดท้ายกด OK หรือ Compute โปรแกรมจะดำเนินการสร้างเม็ชขึ้นมา



รูปที่ 4.16 แสดงการสร้างเม็ช

4.3.7 ตรวจสอบเม็ชและการส่งข้อมูลไฟล์ออกสำหรับใช้ต่อไปโปรแกรมสำหรับการจำลอง

ตรวจสอบเม็ชว่ามีการแตกหักหรือมีความสมบูรณ์ต่อเนื่องในแต่ละปริมาตรหรือไม่ โดยอาจดูด้วยการเปิดตรวจสอบทีละวัสดุ หรืออาจใช้คำสั่ง Mesh Cut Plane ดูเป็นระนาบเพื่อดูความต่อเนื่องของเม็ช หลังจากตรวจสอบเม็ชแล้วให้ตรวจสอบปริมาตรที่โปรแกรมได้สร้างขึ้นหลังจากการสร้างเม็ช ซึ่งโปรแกรมจะสร้างปริมาตรขึ้นด้วยแนวคิดของพื้นที่ปิด กล่าวคือทุกๆ ปริมาตรพื้นที่ๆ ถูกปิดล้อมจะถูกสร้างปริมาตรของเม็ชขึ้นมา ในที่นี้มีจำนวนวัสดุหลายอย่าง แต่โปรแกรมจะสร้างปริมาตรขึ้นมาแปดปริมาตร ดังนั้นจึงต้องลบส่วนที่ไม่ใช้งานออกคือ ปริมาตรของน้ำในท่อของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและล่าง อีกปริมาตรที่ต้องลบออกคือ ปริมาตรเหนือชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปชุดบน หลังจากนั้นจะทำการส่งข้อมูลไฟล์ออก ทำได้โดย กดเลือกหัวข้อ Output กดเลือก Output Solver เป็น ANSYS CFX จากนั้นกดเลือก Common Structural Solver เป็น ANSYS กด OK สุดท้ายเลือกกดที่ Write input เพื่อเลือกที่อยู่ในการเซฟไฟล์ กด Done จะได้ไฟล์ที่สมบูรณ์สำหรับการทำการจำลอง



รูปที่ 4.17 แสดงการส่งไฟล์ออกสำหรับใช้ต่อไปโปรแกรมทำการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทำการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS CFX 11.0

4.4.1 เริ่มต้นโปรแกรม ANSYS CFX 11.0

เปิดโปรแกรม ANSYS CFX 11.0 กดเลือก New Simulation แล้วกดเลือก Simulation Type แบบ General จะได้หน้าจอที่พร้อมการทำงานในส่วนของ CFX-Pre

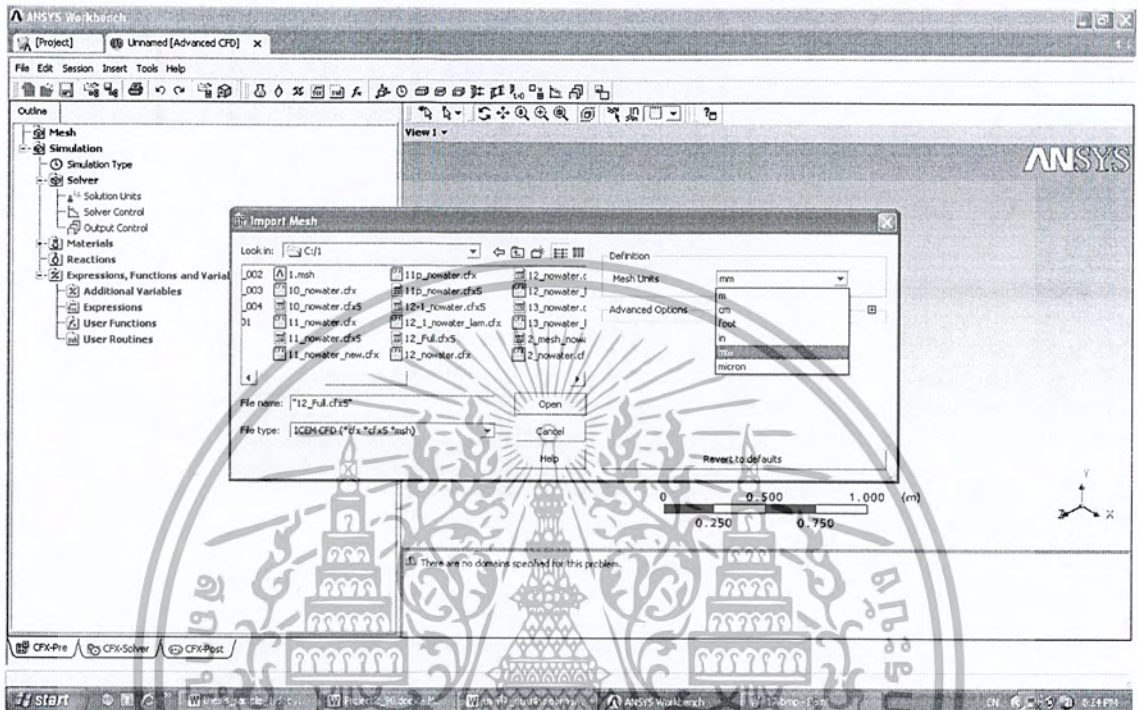


รูปที่ 4.18 แสดงหน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมสำหรับการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ทำการนำเข้าไฟล์เม็ชจากโปรแกรมสร้างเม็ชเข้าสู่โปรแกรมทำการจำลอง

ทำการนำเข้าไฟล์เม็ชโดยใช้คำสั่ง Import Mesh แล้วเลือกเปิดชนิดไฟล์ (File Type) แบบ CFX-Solver จากนั้นเลือกชื่อไฟล์ที่ได้สร้างเม็ชไว้ และเลือกหน่วยในการทำงานเป็นมิลลิเมตร

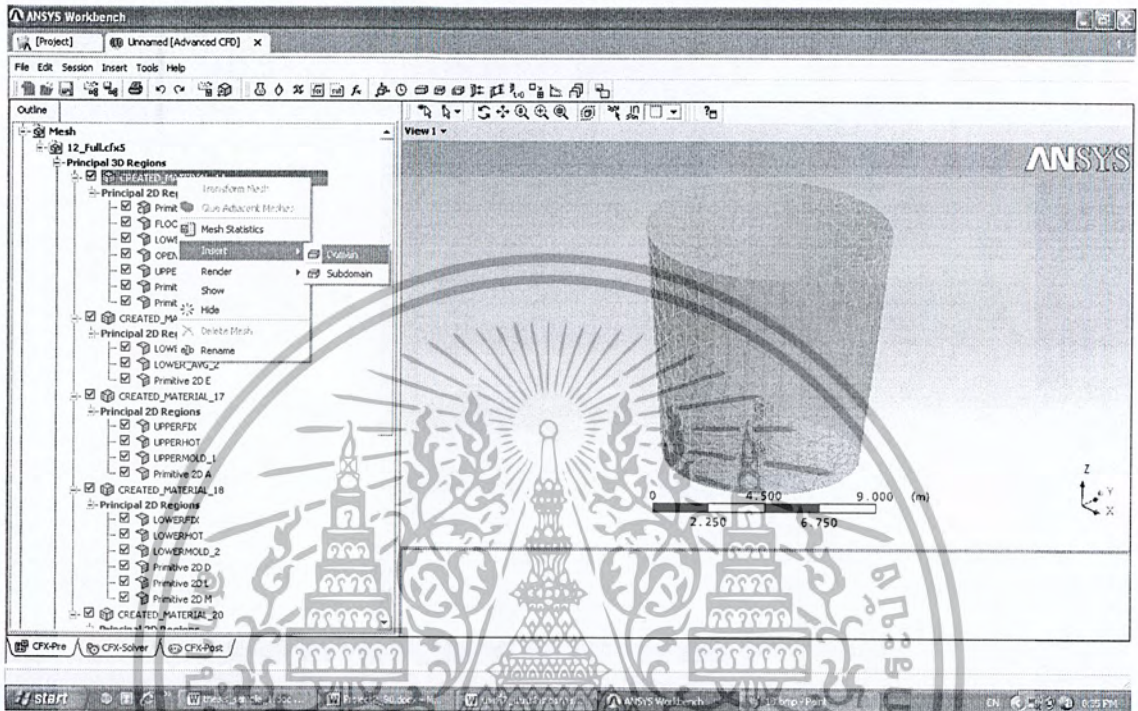


รูปที่ 4.19 แสดงการนำเข้าไฟล์เม็ชเข้าสู่โปรแกรมทำการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การกำหนดชนิดของโดเมน

ชนิดของ โดเมนของแต่ละวัสดุ สามารถกำหนดได้โดยคลิกขวาที่รายชื่อของปริมาตรวัสดุ เลือก Insert Domain

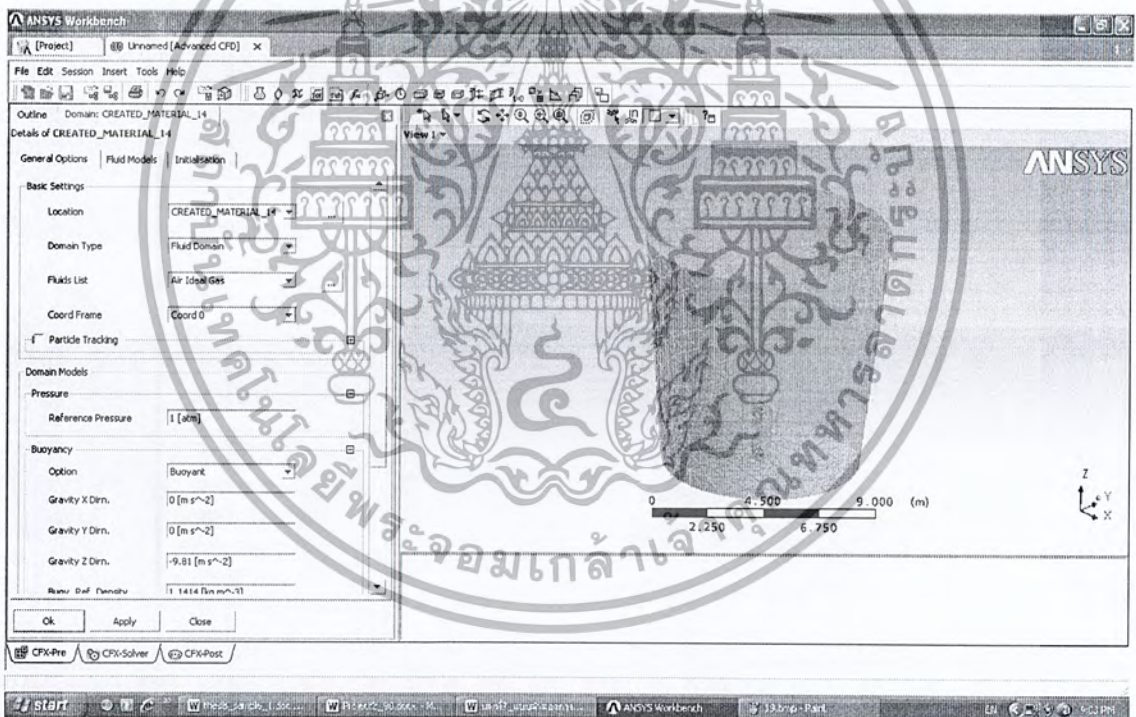


รูปที่ 4.20 แสดงขั้นตอนการกำหนดชนิดของโดเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การกำหนดโดเมนของอากาศบรรยากาศ

กำหนดแถบ Domain Type ของอากาศบรรยากาศเป็น Fluid Domain เลือกในแถบ Fluid List เป็น Air Ideal Gas (เนื่องจากสมมติฐานปัญหาเป็นการพาแบบอิสระ) สำหรับแถบ Buoyancy Option เลือกเป็น Buoyant (กำหนดให้มีแรงลอยตัวเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศบรรยากาศที่อุณหภูมิต่างๆ) จากนั้นใส่ค่าในแถบ Gravity Direction ของแกน X, Y และ Z เป็น 0,0 และ -9.81 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง ตามลำดับ จากนั้นใส่ค่าในแถบ Buoy. Ref. Density เท่ากับ 1.1414 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (อ้างอิงตามอุณหภูมิของอากาศบรรยากาศ) ต่อมาในส่วนของหัวข้อ Fluid Models เลือกแถบ Heat Transfer Option เป็นแบบ Thermal Energy และแถบ Turbulence Option เป็น None (Laminar) สุดท้ายกำหนดหัวข้อ Initialisation แถบ Initial Conditions กำหนดแบบ Automatic แต่สำหรับแถบ Temperature ให้เลือกแบบ Automatic with Value โดยกำหนดค่าเท่ากับ 41 องศาเซลเซียส (อ้างอิงตามสภาวะจริง)

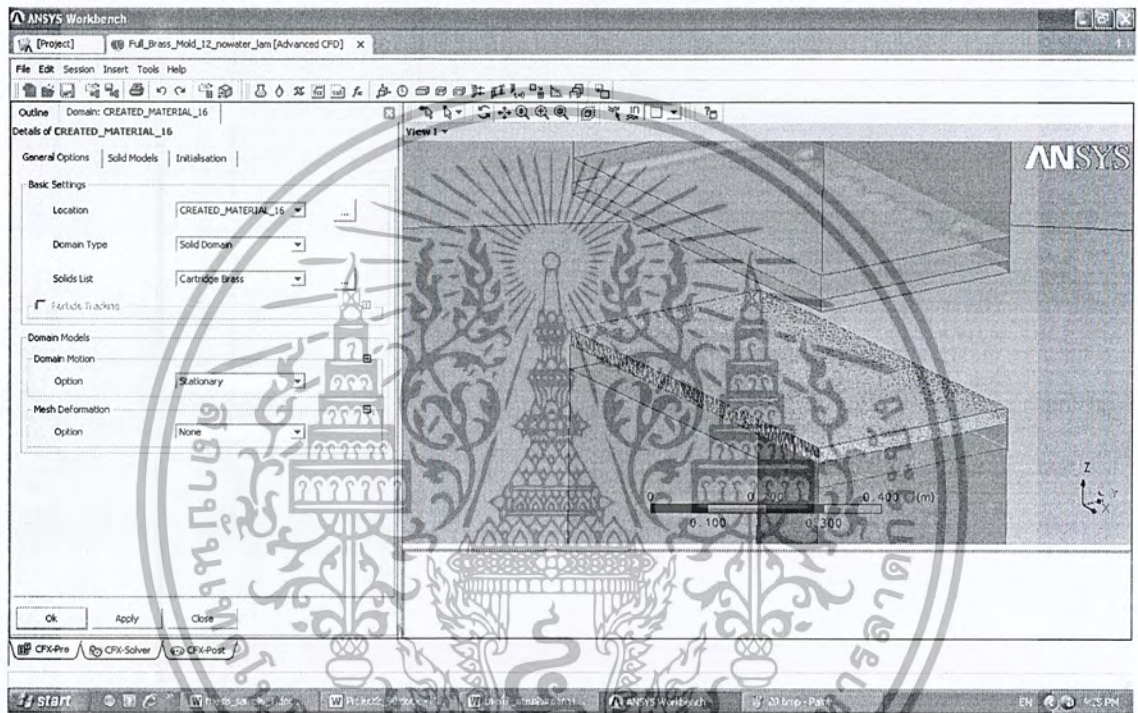


รูปที่ 4.21 แสดงการกำหนด โดเมนของอากาศบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 การกำหนดโดเมนของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

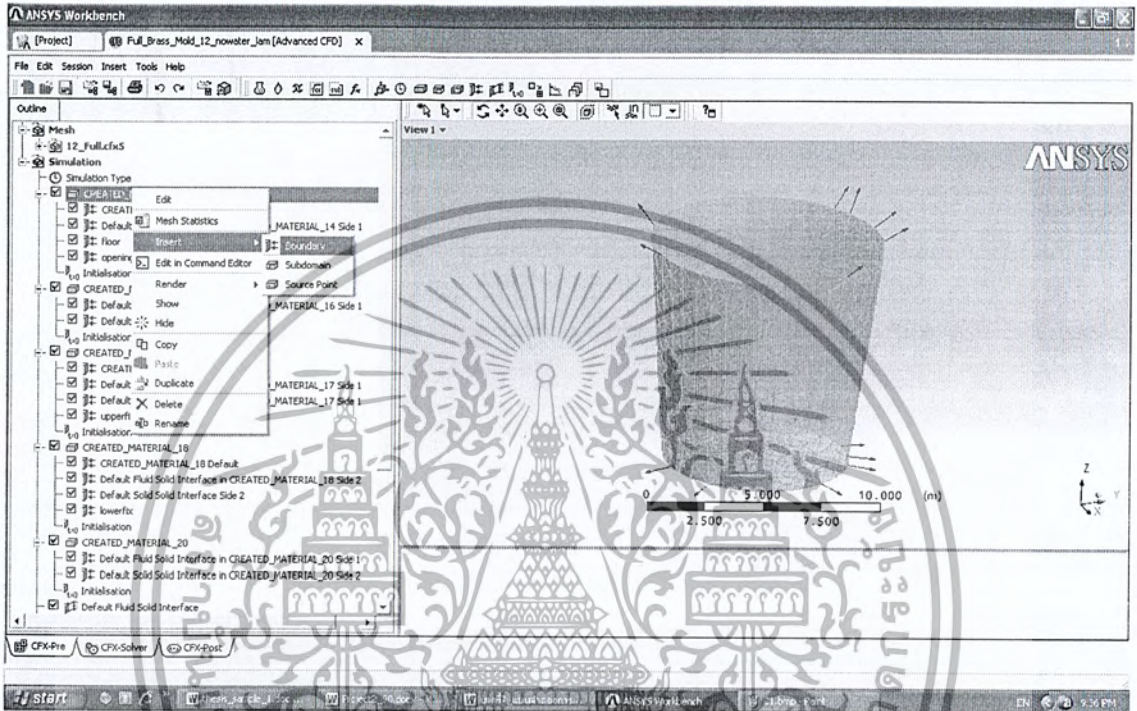
กำหนดแถบ Domain Type ของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปเป็นแบบ Solid Domain โดยเลือกในส่วนของแถบ Solids List ของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปเป็น Aluminium 5083 และ Cartridge Brass ตามลำดับ ต่อมาในหัวข้อ Solid Models เลือกแถบ Heat Transfer Option เป็นแบบ Thermal Energy และแถบ Thermal Radiation Model Option เป็น None สุดท้ายกำหนดหัวข้อ Initialisation แถบ Initial Conditions กำหนดแบบ Automatic



รูปที่ 4.22 แสดงการกำหนด โดเมนของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

4.4.6 การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ

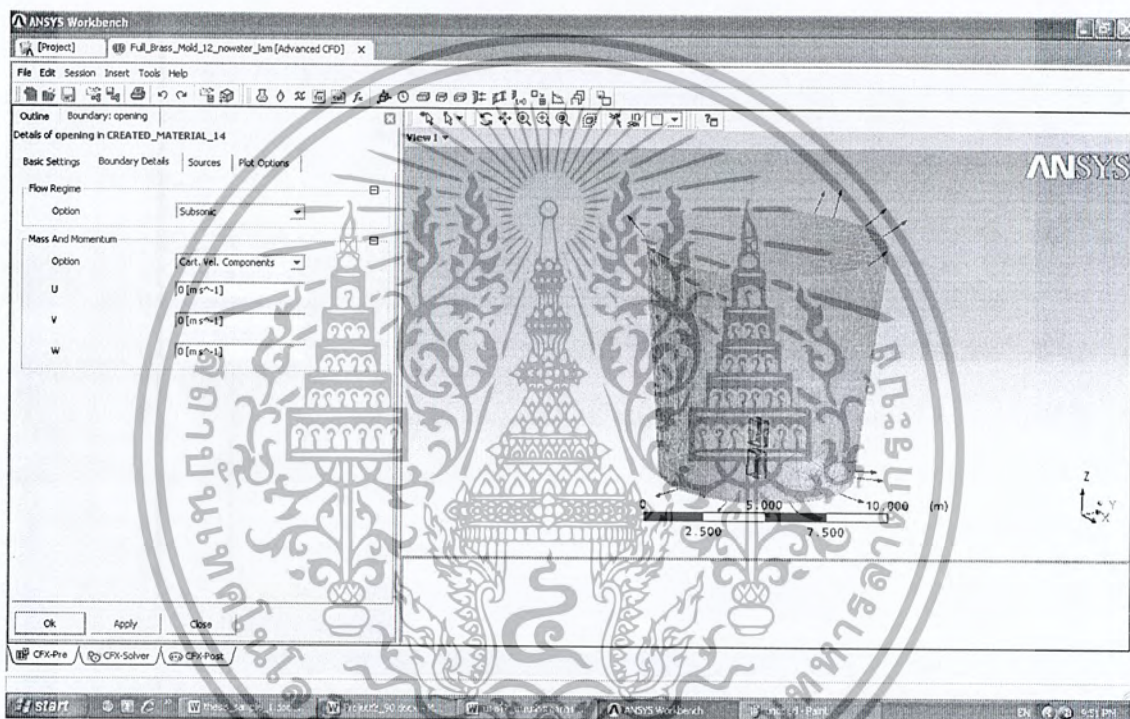
การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบทำได้โดยเลือกโดเมน ของวัสดุที่ต้องการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ โดยคลิกขวาที่วัสดุนั้น แล้วกดเลือก Insert Boundary จากนั้นจึงเลือกบริเวณพื้นที่ที่ต้องการใส่เงื่อนไขที่ขอบ



รูปที่ 4.23 แสดงขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ

4.4.7 กำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้กับอากาศบรรยากาศ

ทำการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้กับอากาศบรรยากาศโดยกำหนดแถบ Boundary Type เป็นแบบ Outlet สำหรับผิวนอกของอากาศบรรยากาศ จากนั้นในหัวข้อ Boundary Details กำหนดแถบของ Mass and Momentum Option เป็นแบบ Cart. Vel. Components โดยกำหนดความเร็วในแนวแกน U V และ W ให้เป็นศูนย์ทั้งหมด นั่นคือกำหนดให้อากาศไม่เคลื่อนที่ใดๆที่ผิวขอบ และในส่วนของการกำหนดรูปแบบขอบเขตเป็น Wall โดยหัวข้อ Boundary Details เลือกแถบ Heat Transfer เป็นแบบ Adiabatic



รูปที่ 4.24 แสดงการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบของอากาศบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.8 กำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้กับผิวรูปท่อกายในแผ่นให้ความร้อน

กำหนดแถบ Boundary Type แบบ Wall โดยหัวข้อ Boundary Details กำหนดแถบ Heat Transfer เป็นแบบ Temperature ซึ่งแผ่นให้ความร้อนมีทั้งแผ่นบนและล่าง ดังนั้นจึงกำหนดอุณหภูมิผิวรูปท่อแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและแผ่นล่างเป็น 170 และ 165 องศาเซลเซียสตามลำดับ



รูปที่ 4.25 แสดงการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้กับผิวรูปท่อกายในแผ่นให้ความร้อน

4.4.9 การกำหนดประเภทการจำลอง (Simulation Type)

กำหนดประเภทการจำลองโดยการคลิกขวาที่ Simulation Type กดเลือก Edit จากนั้นเลือก Option เป็นสถานะคงตัว (Steady State)

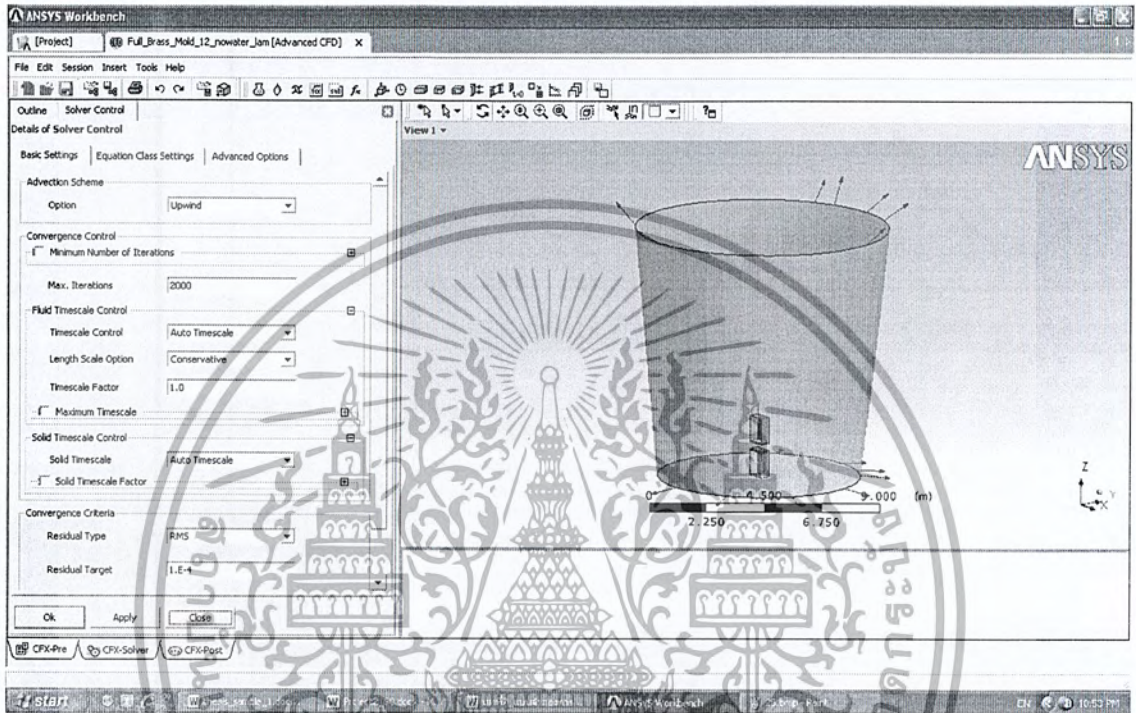


รูปที่ 4.26 แสดงการกำหนดประเภทการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.10 การกำหนดตัวควบคุมหาผลเฉลย (Solver Control)

กำหนดโดยคลิกขวาที่ Solver Control เลือก Edit จากนั้นกำหนดแถบ Advection Scheme Option เป็น Upwind ต่อมาจึงกำหนดค่าในช่อง Max. Iterations เท่ากับ 2000 (จำนวนขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของแต่ละปัญหา)

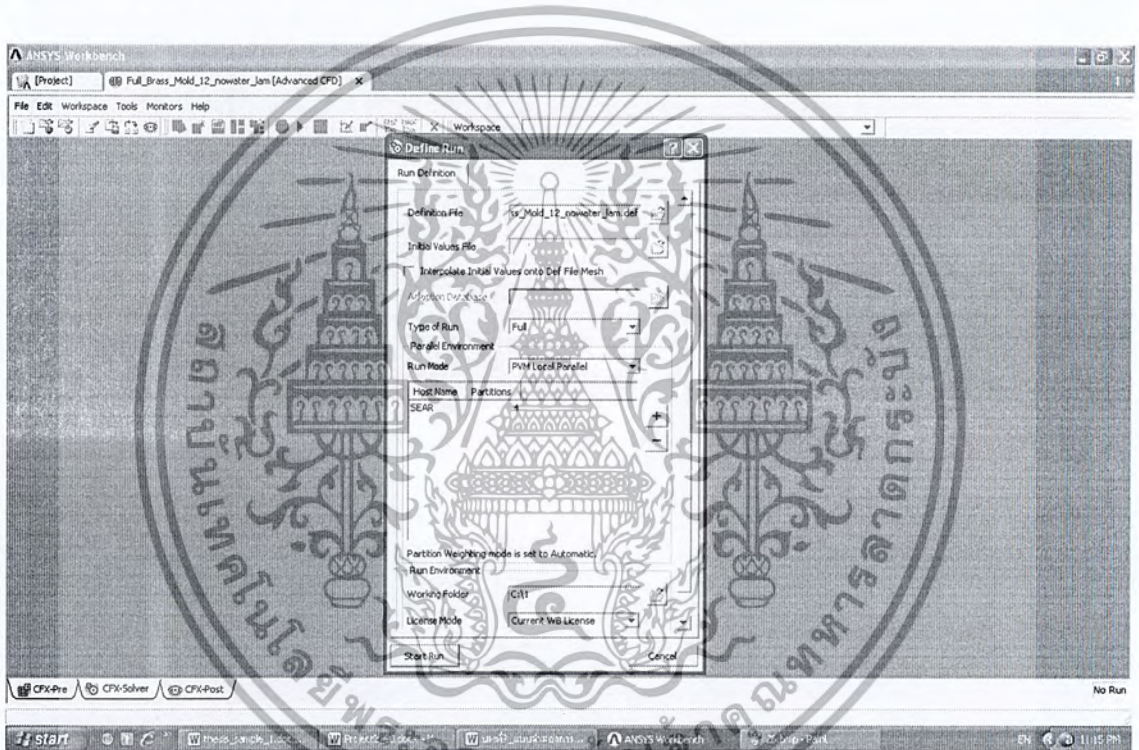


รูปที่ 4.27 แสดงการกำหนดตัวควบคุมหาผลเฉลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.11 การส่งคำสั่งทำการจำลอง

ส่งคำสั่งทำการจำลอง ทำโดยกดที่ File เลือกคำสั่ง Write Solver File จากนั้นเลือกที่อยู่ของเซฟไฟล์ที่จะทำการจำลอง จากนั้นจะสามารถเลือกแถบ Run Mode ได้ ในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับคอมพิวเตอร์ ถ้าคอมพิวเตอร์มีจำนวนซีพียู(CPU)ประมวลผลแค่หนึ่งตัว เลือกใช้แบบ Serial แต่ถ้าคอมพิวเตอร์มีจำนวนซีพียูประมวลผลมากกว่าหนึ่งตัว สามารถเลือกแบบ PVM Local Parallel แล้วกำหนดจำนวนซีพียูประมวลผลที่จะช่วยในการทำการจำลอง ซึ่งถ้ามีมากจะช่วยให้การดำเนินงานทำได้เร็วขึ้น หลังจากนั้นกด Start Run โปรแกรมจะเริ่มทำการจำลอง รอจนกว่าการประมวลผลจะลู่เข้า (Converge) สุดท้ายจะได้ผลลัพธ์ของการทำการจำลอง

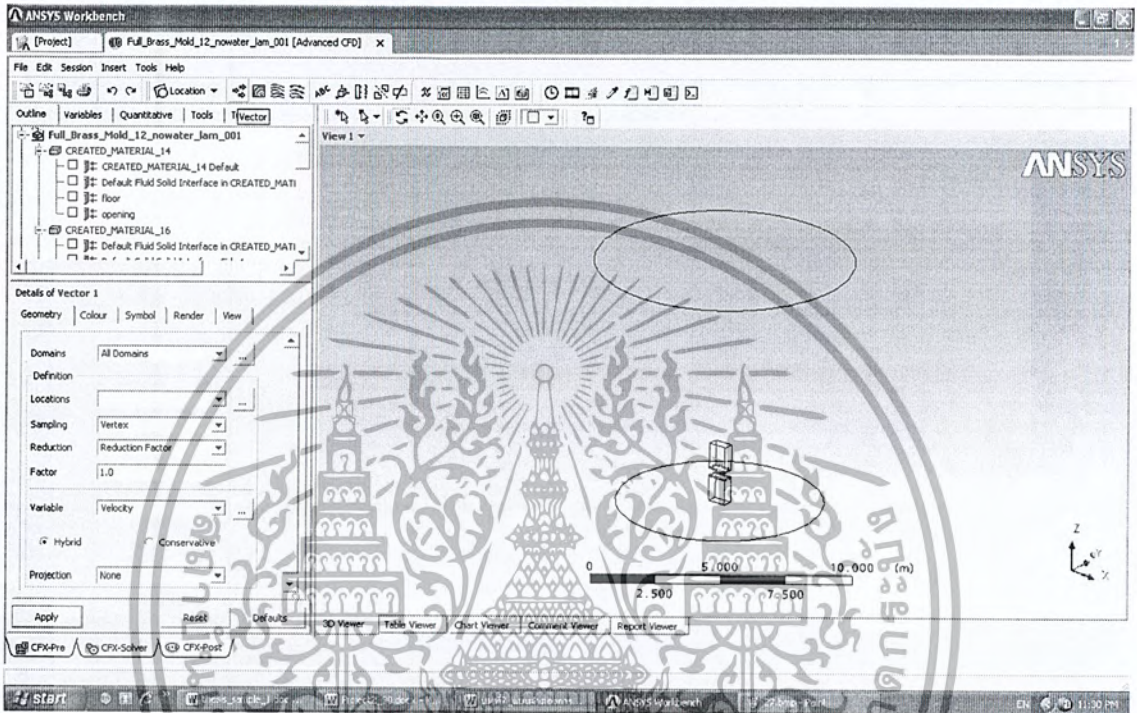


รูปที่ 4.28 แสดงการส่งคำสั่งทำการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.12 การโพสเวกเตอร์ของผลลัพธ์

หลังจากที่ทำการจำลองเรียบร้อยแล้วจะดูผลลัพธ์ที่ได้ สามารถโพสเวกเตอร์ค่าต่างๆที่สนใจเช่น เวกเตอร์การไหลของอากาศบรรยากาศ ทำได้โดยการกดสัญลักษณ์สำหรับโพสเวกเตอร์ จากนั้นเลือกบริเวณที่สนใจของแต่ละโดเมนที่จะดูผลลัพธ์ แล้วกด Apply



รูปที่ 4.29 แสดงขั้นตอนการ โพสเวกเตอร์

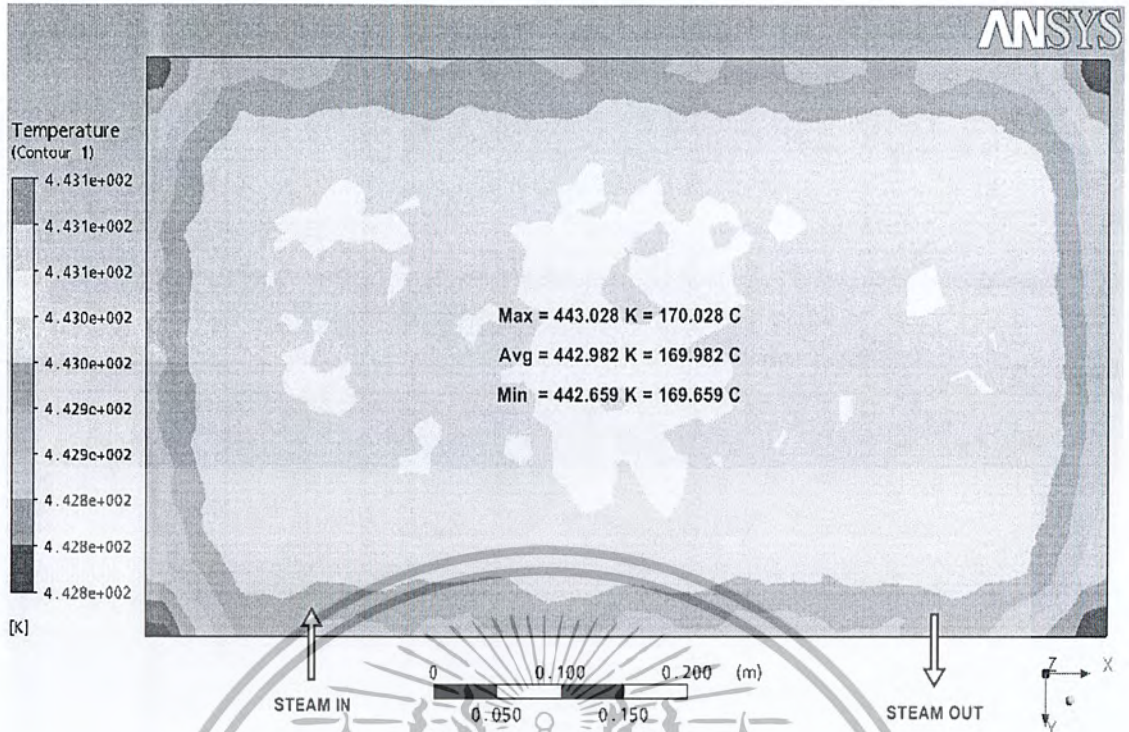
4.4.13 การโพสคอนทัวร์ของผลลัพธ์

หลังจากที่ทำการทำการจำลองเรียบร้อยแล้วจะดูผลลัพธ์ที่ได้ สามารถโพสคอนทัวร์ดูการกระจายของค่าต่างๆที่สนใจเช่น คอนทัวร์ของอุณหภูมิบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป ทำได้โดยการกดสัญลักษณ์สำหรับโพสคอนทัวร์ (อยู่ข้างๆกับสัญลักษณ์โพสเวกเตอร์) จากนั้นเลือกบริเวณที่สนใจของแต่ละโดเมนที่จะดูผลลัพธ์ แล้วกด Apply

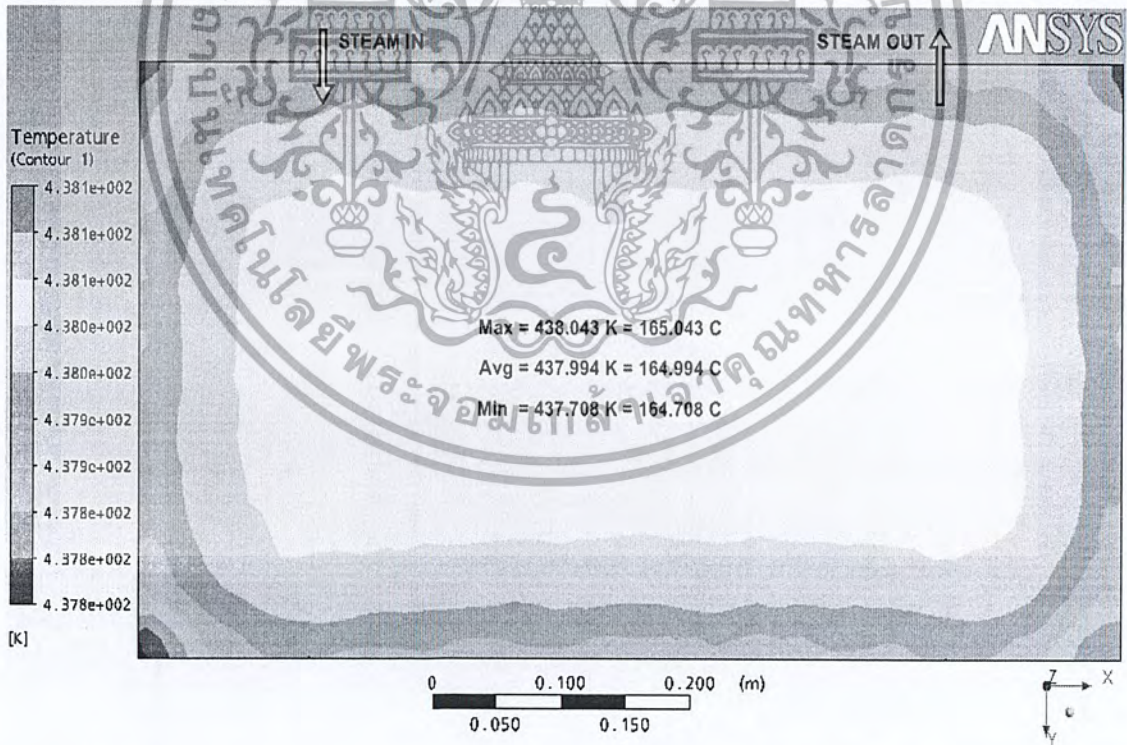


รูปที่ 4.30 แสดงขั้นตอนการโพสคอนทัวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงคอนทัวร์การกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน



รูปที่ 4.32 แสดงคอนทัวร์การกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

เมื่อวัดค่าของอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป ทั้งแผ่นบนและแผ่นล่าง โดยค่าที่ได้จะนำมาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ผิวแผ่นและทำการหาค่าสูงสุดและต่ำสุด ก็จะได้ค่าตามตารางข้างล่างนี้ ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นบนจะมีค่ามากกว่าแผ่นล่าง เนื่องจากไอน้ำไหลเข้าแผ่นบนก่อนแล้วจะไหลออกจากแผ่นบนเข้าสู่แผ่นล่าง ซึ่งทำให้อุณหภูมิลดลงเสียในระหว่างที่ไอน้ำผ่านในแผ่น

5.2 ผลการทดลองด้วยเครื่องมือวัด และกล้องเทอร์โมสแกน

ตารางที่ 5.1 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว ค่าสูงสุด และต่ำสุด จากการทดลองด้วยเครื่องมือวัด

การทดลอง	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ค่าอุณหภูมิสูงสุด (°C)	ค่าอุณหภูมิต่ำสุด (°C)
แผ่นให้ความร้อนแผ่นบน	163.333	170.000	155.000
แผ่นให้ความร้อน แผ่นล่าง	161.821	167.000	151.000
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน	151.875	158.000	141.000
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง	152.129	159.000	143.000

ตารางที่ 5.2 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว ค่าสูงสุด และต่ำสุดจากภาพถ่ายความร้อนเทอร์โมสแกน

เทอร์โมสแกน	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ค่าอุณหภูมิสูงสุด (°C)	ค่าอุณหภูมิต่ำสุด (°C)
แผ่นให้ความร้อนแผ่นบน	164.9	170.4	151.7
แผ่นให้ความร้อน แผ่นล่าง	162.0	168.5	151.4
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน	154.5	167.6	98.2
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง	157.8	164.9	141.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการคำนวณทางทฤษฎี

การคำนวณทางทฤษฎีที่ได้จะคำนวณค่าอุณหภูมิออกมาเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว ซึ่งคำนวณตามทฤษฎีการนำความร้อนในหนึ่งมิติ สามารถดูวิธีการคำนวณได้ที่ ภาคผนวก ก

ตารางที่ 5.3 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของการคำนวณทางทฤษฎี

การคำนวณทางทฤษฎี	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
แผ่นให้ความร้อนแผ่นบน	169.96
แผ่นให้ความร้อน แผ่นล่าง	164.93
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน	169.89
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง	164.76

5.4 ผลของการจำลอง

การจำลองหาผลของแบบจำลองของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป เพื่อที่จะหาผลของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากการจำลอง ซึ่งจะสามารถหาแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ โดยที่ไม่ต้องหยุดเครื่องหรือเสียบประมาณ ไปด้วยการทดลอง

ตารางที่ 5.4 ตารางค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของการจำลอง

การจำลอง	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
แผ่นให้ความร้อนแผ่นบน	169.91
แผ่นให้ความร้อน แผ่นล่าง	164.93
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน	169.83
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง	164.84

5.5 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว

เมื่อนำค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงหรือไปในแนวทางเดียวกัน

ตารางที่ 5.5 ตารางเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว

	เทอร์โมสแกน (°C)	เครื่องมือวัด (°C)	การคำนวณมิติ (°C)	การจำลอง (°C)
แผ่นให้ความร้อน				
แผ่นบน	164.90	163.33	169.96	169.91
แผ่นล่าง	162.00	161.82	164.93	164.93
แผ่นแม่พิมพ์				
แผ่นบน	154.50	151.87	169.89	169.83
แผ่นล่าง	157.80	152.13	164.76	164.84

จากตารางเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว พบว่าผลการทำการจำลอง และผลการคำนวณหนึ่งมิติที่ได้ มีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกันคือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวทั้งของแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนจะมีค่ามากกว่าแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างประมาณ 5 องศาเซลเซียส

สำหรับผลการทดลองโดยเครื่องมือวัดอุณหภูมิและภาพถ่ายความร้อนโดยกล้องเทอร์โมสแกน มีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกันคือ แผ่นให้ความร้อนแผ่นบนจะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวสูงกว่าแผ่นล่างประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส แต่แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนจะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวต่ำกว่าแผ่นล่างประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.6 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว

	%การทดลอง/ กล้องเทอร์โม	%ทางทฤษฎี/ กล้องเทอร์โม	การจำลอง/ กล้องเทอร์โม
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนค่าเฉลี่ย	1.7	-9.96	-9.92
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างค่าเฉลี่ย	3.59	-4.41	-4.46
แผ่นให้ความร้อนแผ่นบนค่าเฉลี่ย	0.95	-3.07	-3.04
แผ่นให้ความร้อนแผ่นล่างค่าเฉลี่ย	0.11	-1.81	-1.81

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณหนึ่งมิติและการทำการจำลอง พบว่าการกระจายความร้อนบนแผ่นให้ความร้อนมีความแตกต่างกันน้อยประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส แต่หลังจากติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแล้ว ผลของการกระจายความร้อนบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปจะมีความแตกต่างกันอย่างมากประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการกระจายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปว่าสูญเสียความร้อนมากน้อยเพียงใด โดยทำการทดลองวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิและถ่ายภาพความร้อนด้วยกล้องเทอร์โมสแกน อีกทั้งยังทำการศึกษาคำนวณทางทฤษฎีหนึ่งมิติในสภาวะคงตัว และทำการจำลอง ด้วยโปรแกรม ANSYS ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ซึ่งจากการเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำการจำลอง ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิตั้งแต่บนผิวแผ่นให้ความร้อนบนมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.95, -3.07 และ -3.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6.1.2 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำการจำลอง ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิตั้งแต่บนผิวแผ่นให้ความร้อนบนมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.11, +1.81 และ -1.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6.1.3 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำการจำลอง ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิตั้งแต่บนผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปบนมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 1.70, -9.96 และ -9.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6.1.4 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำการจำลอง ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิตั้งแต่บนผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปบนมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 3.59, -4.41 และ -4.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6.1.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการกระจายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป โดยทำการจำลองเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากกล้องเทอร์โมสแกนเท่ากับ 9.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถยืนยันความน่าเชื่อถือของการทำการจำลองได้

6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

6.2.1 ผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อน อาจเกิดจากความสกปรกของผิวแผ่นแม่พิมพ์ ขึ้นรูปและผิวแผ่นให้ความร้อน หรือข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าทางทฤษฎีไม่ตรงตามวัสดุที่ใช้งานจริง จึงต้องสมมติค่าคุณสมบัติของวัสดุขึ้นมา

6.2.2 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการใช้ในการคำนวณทางทฤษฎีและการทำการจำลองมีไม่เพียงพอ จึงต้องทำการสมมติค่าของข้อมูลบางอย่าง ซึ่งอาจจะไม่ตรงกับสภาพการดำเนินงานจริงของทางบริษัท ซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน

6.2.3 รูปทรงของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปที่ใช้งานจริงมีลักษณะตามรูปทรงของผลิตภัณฑ์ แต่ในการทำการจำลองได้จำลองรูปทรงของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ทำให้ผลการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อน

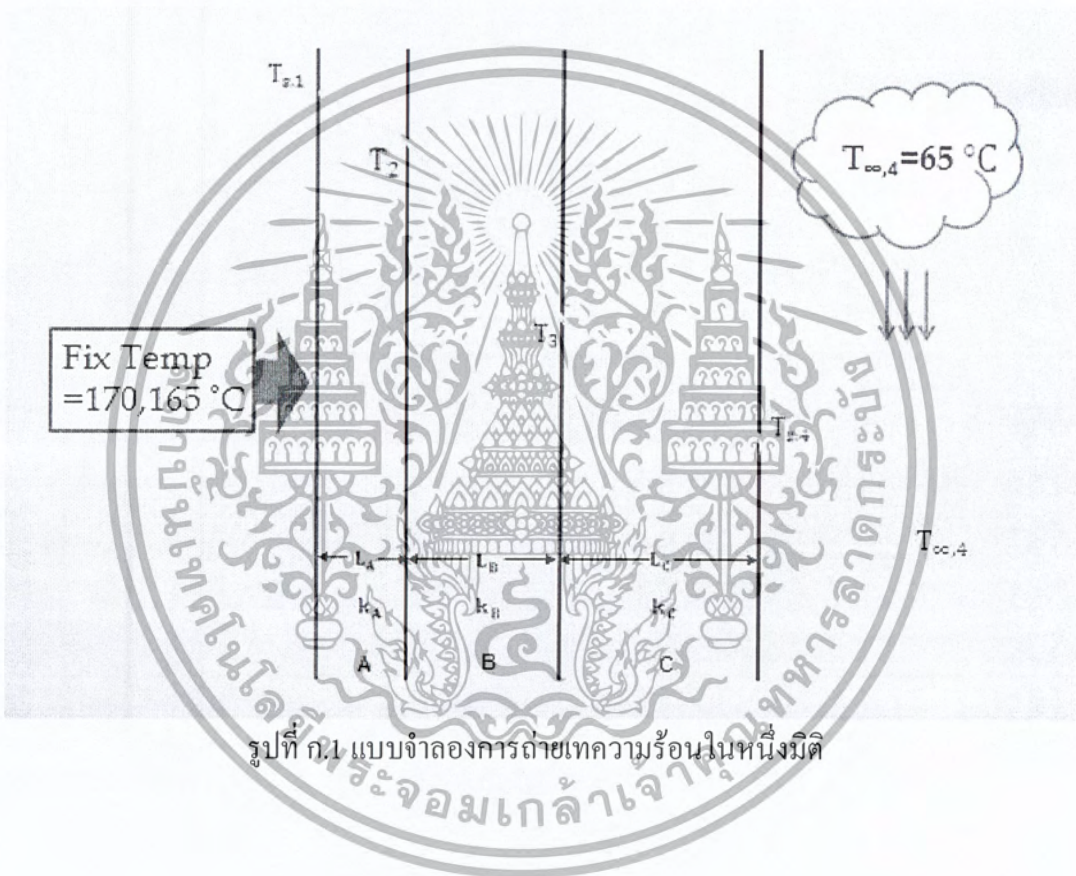
6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 จากผลการทดลองพบว่าการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและล่างมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แต่จะมีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยแผ่นบนจะมีค่าสูงกว่าแผ่นล่างประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากลักษณะการไหลของไอน้ำเป็นแบบใช้งานต่อเนื่องจากแผ่นบนสู่แผ่นล่าง ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนลักษณะการไหลของไอน้ำให้ไหลเข้าสู่แผ่นความร้อนแผ่นบนและแผ่นล่างพร้อมๆกันด้วยสภาวะอุณหภูมิและความดันเดียวกัน เพื่อให้การกระจายอุณหภูมิของทั้งสองแผ่นใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของการอบชิ้นงานและอาจสามารถลดระยะเวลาในการอบชิ้นงาน ทำให้ผลิตชิ้นงานได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นกว่าเดิม

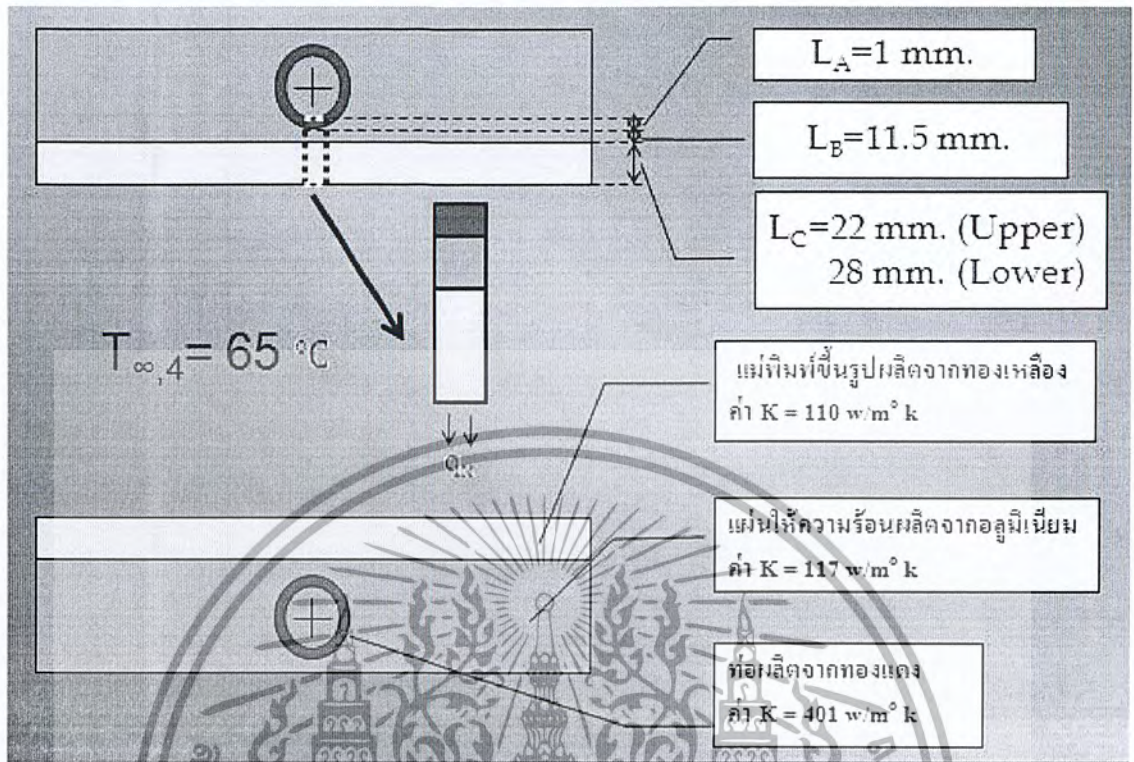
ภาคผนวก ก

ก.1 การคำนวณภายใต้เงื่อนไข

- (1) สภาวะสมำเสมอ (Steady state)
- (2) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)
- (3) กำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวท่อคงที่
- (4) ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปเป็นผิวเรียบไม่มีความขรุขระ



ก.2 ขั้นตอนการคำนวณ



รูปที่ ก.2 จวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นให้ความร้อนและแม่พิมพ์ขึ้นรูป

ก.2.1 แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน

- (1) ให้อุณหภูมิที่ผิวท่อ ($T_{s,1}$) คงที่เท่ากับ 170 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิอากาศบรรยากาศ (T_{∞}) เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส
- (2) หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_f) จากสมการ $T_f = \frac{T_{s,1} + T_{\infty,4}}{2}$ จะได้ค่า T_f เท่ากับ 390.5 เคลวิน
- (3) หาค่า ν , α และ k จากการเปิดตารางคุณสมบัติที่อุณหภูมิเฉลี่ย (T_f)
- (4) ได้ค่า ν เท่ากับ $25.37 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, ค่า α เท่ากับ $36.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ และค่า k เท่ากับ $33.08 \times 10^{-3} \text{ W/m.k}$
- (5) หาค่า β จากสมการ $\beta = \frac{1}{T_f}$ จะได้ค่า β เท่ากับ 0.00256 K^{-1}
- (6) เนื่องจากการพาความร้อนผ่านแผ่นเรียบในแนวนอน ค่าความยาวเฉพาะ (L) จึงหาได้จากสมการ $L = \frac{A_s}{P}$ โดยที่ A_s และ P เป็นพื้นที่ผิวและเส้นรอบรูปของแผ่นตามลำดับ จะได้ค่า L เท่ากับ 0.138 m
- (7) หาค่าเรย์เลย์นัมเบอร์ (Ra_L) จากสมการ (2.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_{s,1}-T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

จะได้ค่า Ra_L เท่ากับ 7.45×10^6

(8) ลักษณะของแผ่นเป็นแบบแผ่นร้อนคว่ำหน้าลง จึงสามารถหาค่านัสเซลท์นัมเบอร์ (\overline{Nu}_L) จากสมการ (2.25)

$$\overline{Nu}_L = 0.27Ra_L^{1/4}$$

จะได้ค่า \overline{Nu}_L เท่ากับ 14.10

(9) หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{h}) จากสมการ (2.20)

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L}$$

จะได้ค่า \bar{h} เท่ากับ $3.38 \text{ w/m}^2\text{K}$

(10) หาค่าฟลักซ์ความร้อน (q_x'') จากสมการ (2.13)

$$q_x'' = \frac{T_{s,1}-T_\infty}{\Sigma R}$$

โดยที่ความต้านทานรวม (ΣR) หาได้จากสมการ $\Sigma R = \left[\frac{L_A}{K_{AA}} + \frac{L_B}{K_{BA}} + \frac{L_C}{K_{CA}} + \frac{1}{h_A} \right]$

ให้ L_A เท่ากับ 0.001 m , L_B เท่ากับ 0.0115 m , L_C เท่ากับ 0.022 m , K_A เท่ากับ 401 w/m.k , K_B เท่ากับ 117 w/m.k , K_C เท่ากับ 110 w/m.k

จะได้ค่า q_x'' เท่ากับ 354.61 w/m^2

(11) หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแม่พิมพ์ ($T_{s,4}$) จากสมการ $T_{s,4} = \frac{q_x''}{h} + T_\infty$

จะได้ $T_{s,4}$ เท่ากับ 169.89 องศาเซลเซียส

(12) หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแผ่นให้ความร้อน (T_3) จากสมการ $T_3 = q_x'' \left[\frac{1}{h} + \frac{L_c}{K_c} \right] + T_\infty$

T_∞

จะได้ T_3 เท่ากับ 169.96 องศาเซลเซียส

ก.2.2 แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง

(1) อุณหภูมิที่ผิวท่อ ($T_{s,1}$) คงที่เท่ากับ 165 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศบรรยากาศ (T_∞) เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส

(2) หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_f) จากสมการ $T_f = \frac{T_{s,1}+T_\infty}{2}$ จะได้ค่า T_f เท่ากับ 388 เคลวิน

(3) หาค่า ν, α และ k จากการเปิดตารางคุณสมบัติที่อุณหภูมิเฉลี่ย (T_f)

(4) ได้ค่า ν เท่ากับ $25.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, ค่า α เท่ากับ $36.28 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ และ

ค่า k เท่ากับ $32.89 \times 10^{-3} \text{ w/m.k}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) หาค่า β จากสูตร $\beta = \frac{1}{T_f}$ จะได้ค่า β เท่ากับ 0.00258 K^{-1}

(6) เนื่องจากการพาความร้อนผ่านแผ่นเรียบในแนวนอน ค่าความยาวเฉพาะ (L) จึงหาได้จากสมการ $L = \frac{A_s}{P}$ โดยที่ A_s และ P เป็นพื้นที่ผิวและเส้นรอบรูปของแผ่นตามลำดับ จะได้ค่า L เท่ากับ 0.138 m

(7) หาค่าเรย์เลย์นัมเบอร์ (Ra_L) จากสมการ (2.21)

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_{s,1}-T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

จะได้ค่า Ra_L เท่ากับ 7.3×10^6

(8) ลักษณะของแผ่นเป็นแบบแผ่นร้อนหงายหน้าขึ้น จึงสามารถหาค่านัสเซลท์นัมเบอร์ (\overline{Nu}_L) จากสมการ (2.23)

$$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{1/4}$$

จะได้ค่า \overline{Nu}_L เท่ากับ 28.07

(9) หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{h}) จากสมการ (2.20)

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L}$$

จะได้ค่า \bar{h} เท่ากับ $6.69 \text{ w/m}^2\text{K}$

(10) หาค่าฟลักซ์ความร้อน (q_x'') จากสมการ (2.13)

$$q_x'' = \frac{T_{s,1}-T_\infty}{\Sigma R}$$

โดยที่ความต้านทานรวม (ΣR) หาได้จากสมการ $\Sigma R = \left[\frac{L_A}{K_A A} + \frac{L_B}{K_B A} + \frac{L_C}{K_C A} + \frac{1}{hA} \right]$

ให้ L_A เท่ากับ 0.001 m , L_B เท่ากับ 0.0115 m , L_C เท่ากับ 0.028 m , K_A เท่ากับ 401 w/m.k ,

K_B เท่ากับ 117 w/m.k , K_C เท่ากับ 110 w/m.k

จะได้ค่า q_x'' เท่ากับ 667.31 w/m^2

(11) หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแม่พิมพ์ ($T_{s,4}$) จากสูตร $T_{s,4} = \frac{q_x''}{h} + T_\infty$

จะได้ค่า $T_{s,4}$ เท่ากับ 164.76 องศาเซลเซียส

(12) หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแผ่นให้ความร้อน (T_3) จากสูตร $T_3 = q_x'' \left[\frac{1}{h} + \frac{L_C}{K_C} \right] + T_\infty$

จะได้ค่า T_3 เท่ากับ 164.93 องศาเซลเซียส



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูป กระดาษย่อยสลายได้

THE STUDY OF STEAM-HEATING PLATE TEMPERATURE DISTRIBUTION FOR BIO-DEGRADABLE PAPER MOLD

นาย เสรี คงเกิดลาภ 50011790, นาย อภินันท์ ประสานพานิช 50011861 และ นาย อวิรุทธ์ ชะนะ 50011907

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

บทคัดย่อ

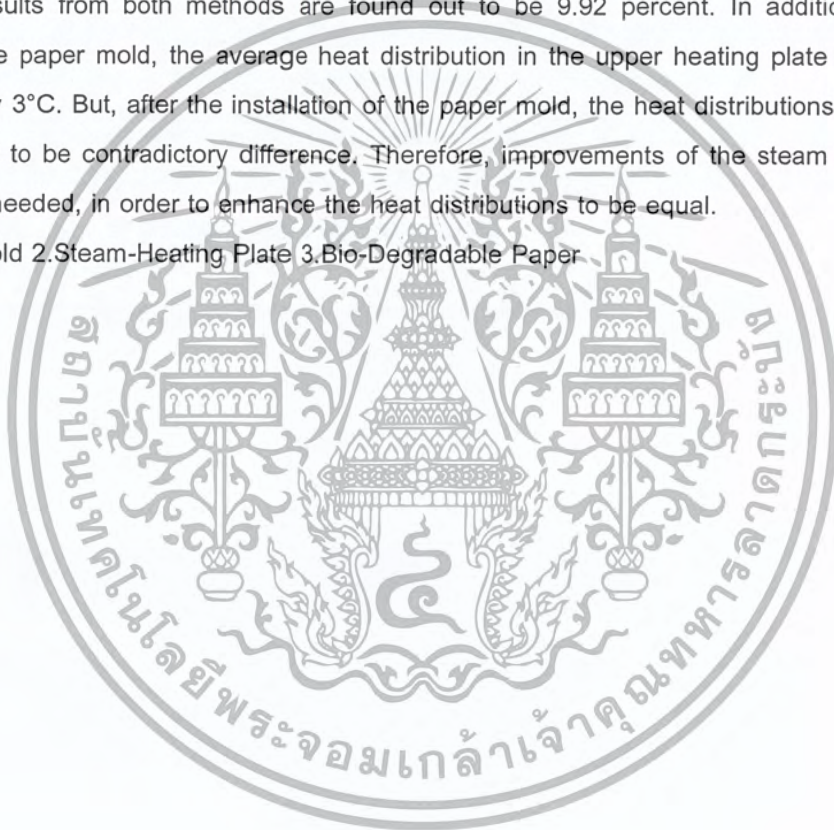
โครงการนี้เป็นการศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปว่าสูญเสียความร้อนมากน้อยเพียงใด โดยทำการทดลองวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิและถ่ายภาพความร้อนด้วยกล้องเทอร์โมสแกน อีกทั้งยังทำการศึกษาคำนวณทางทฤษฎีหนึ่งมิติในสภาวะคงตัว และทำการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลจากกล้องเทอร์โมสแกนกับการทำการจำลอง มีค่าความแตกต่างเท่ากับ 9.92 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนจะมีค่าการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าแผ่นล่างประมาณ 3 องศาเซลเซียส แต่หลังจากติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปค่าการกระจายอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนจะต่ำกว่าแผ่นล่างประมาณ 3 องศาเซลเซียส ดังนั้นควรปรับปรุงการไหลของท่อส่งไอน้ำให้ไหลเข้าสู่แผ่นความร้อนแผ่นบนและแผ่นล่างพร้อม ๆ กันด้วยสภาวะอุณหภูมิและความดันเดียวกัน เพื่อให้การกระจายอุณหภูมิของทั้งสองแผ่นใกล้เคียงกัน

คำหลัก: 1.แม่พิมพ์ขึ้นรูป 2.แผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 3.กระดาษย่อยสลายได้

Abstract

This project aims to study the heat distribution of steam heating plate for biodegradable paper mold as to find the difference of heat loss between before and after installation of the steam heating plate. The experiments are conducted with both measurements and simulation methods. The measuring experiments are carried out by collecting the data from measuring instruments, a thermoscan infrared camera and thermocouples. Moreover, the theoretical analysis, one-dimension model and the 3-D simulation, by using ANSYS, are performed. By comparison, the differences between the results from both methods are found out to be 9.92 percent. In addition, before the installation of the paper mold, the average heat distribution in the upper heating plate is higher than the lower one by 3°C. But, after the installation of the paper mold, the heat distributions between both plates are found to be contradictory difference. Therefore, improvements of the steam tubes through both plates are needed, in order to enhance the heat distributions to be equal.

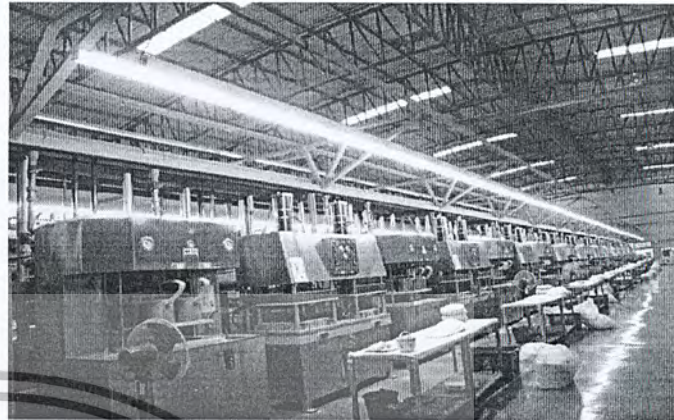
Keywords: 1.Mold 2.Steam-Heating Plate 3.Bio-Degradable Paper



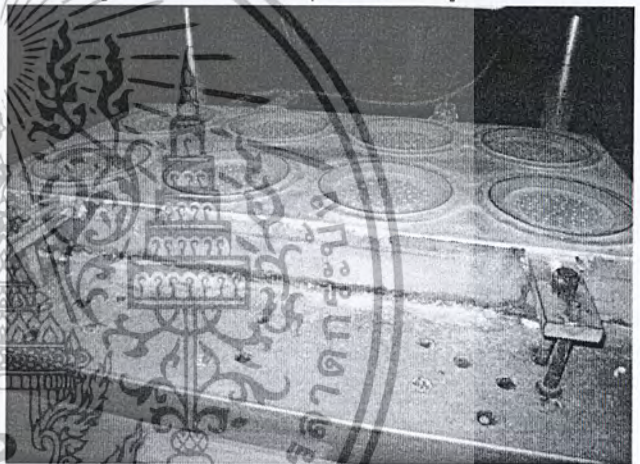
1. บทนำ

ปัจจุบันมีหลากหลายประเทศซึ่งมีพื้นฐานทางธุรกิจ อยู่ในรูปแบบอุตสาหกรรม ประชากรเกือบทั้งหมดต้องใช้ อุปกรณ์หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่เกิดขึ้นจาก เทคโนโลยี และความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ โดย พื้นฐานของการใช้ชีวิตนั้นอุปกรณ์ซึ่งใช้ในชีวิตประจำวัน มากมายทั้งสิ่งของที่ใช้เป็นการส่วนตัว หรือแม้กระทั่งใช้ใน งานด้านต่าง ๆ เพื่อส่วนรวม ถูกใช้อย่างเป็นประจำและ ต่อเนื่อง ดังนั้นภาคอุตสาหกรรมการผลิตจึงมีบทบาท สำคัญในการผลิตสินค้าใช้งานต่าง ๆ ให้มีคุณภาพ อีกทั้งใน ปัจจุบันยังเผชิญกับปัญหาวิกฤตทางเศรษฐกิจ ธุรกิจการ ผลิตจึงต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ซึ่ง เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและราคาของสินค้า โดยมีธุรกิจรูปแบบหนึ่งของกระบวนการผลิตที่มีการใช้งาน อย่างแพร่หลายคือ การขึ้นรูปวัสดุด้วยแผ่นให้ความร้อน ด้วยไอน้ำ ซึ่งใช้การไหลผ่านของไอน้ำภายในท่อเป็นแหล่ง ความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับเนื้อโลหะบริเวณรอบ ของท่อไอน้ำที่ฝังตัวอยู่ในแผ่นความร้อน โดยลักษณะของ แม่พิมพ์จะมีแผ่นให้ความร้อนสองแผ่นด้านบนและ ด้านล่างวางตัวในแนวดิ่ง และจะเคลื่อนที่มาประกบกันเพื่อ ทำการขึ้นรูปวัสดุ

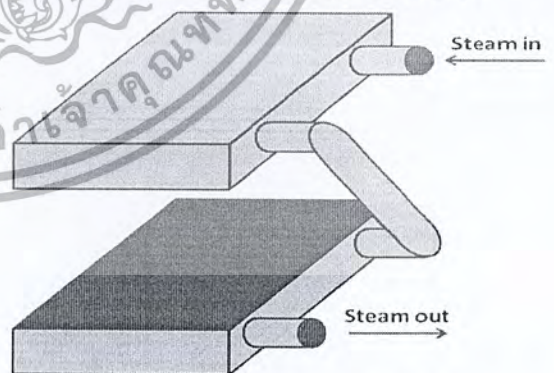
เนื่องจากท่อไอน้ำที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนมี การไหลผ่านแผ่นให้ความร้อนทั้งแผ่นบนและแผ่นล่าง อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความร้อนจากไอน้ำมีอุณหภูมิลดลง ตามระยะทางของการไหล เป็นเหตุผลทำให้เกิดความไม่ สม่าเสมอในการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน จึง ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางการพัฒนาแผ่น ให้ความร้อนให้มีกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น โดยมีแนวทางการศึกษาคือ ทำการทดลองด้วยเครื่องมือ วัดเพื่อเก็บข้อมูลของแผ่นให้ความร้อน และทำ Simulation สำหรับการวิเคราะห์หาการกระจายอุณหภูมิมบนแผ่นให้ ความร้อน



รูปที่ 1 ลักษณะของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป



รูปที่ 2 ลักษณะของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำ



รูปที่ 3 ภาพจำลองลักษณะการไหลของไอน้ำผ่านแผ่น ความร้อน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้ด้วยวิธีทำการทดลองและ Simulation

2.2 เพื่อศึกษาแนวทางทำให้การกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกันทั่วทั้งแผ่นและสูญเสียความร้อนลดลง

2.3 เพื่อศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิทั้งก่อนและหลังติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปว่าสูญเสียความร้อนมากน้อยเพียงใด

2.4 เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม ANSYS

3. ขอบเขตของโครงการ

3.1 ศึกษาการกระจายอุณหภูมิมบนผิวแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

3.2 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นให้ความร้อนด้วยไอน้ำจากผลการทดลองเทียบกับผลการทำ Simulation

3.3 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปจากการทดลอง, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำ Simulation

3.4 ศึกษาปัญหาการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขการนำความร้อนและการพาความร้อน ในสภาวะคงตัว

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

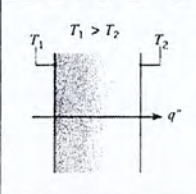
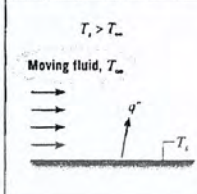
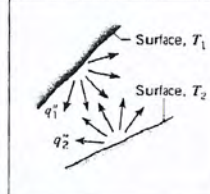
4.1 ได้ศึกษาและพบปัญหาการสูญเสียความร้อนของการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้

4.2 สามารถนำผลการทดสอบที่ถูกต้องไปพัฒนาแผ่นให้ความร้อนนี้ให้มีการกระจายอุณหภูมิที่ดีขึ้นและสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

4.3 เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการนำความรู้ทางด้านนี้ไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม

5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

5.1 รูปแบบของการถ่ายเทความร้อน

Conduction through a solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation heat exchange between two surfaces
		

รูปที่ 4 แสดงรูปแบบของการถ่ายเทความร้อน

5.1.1 การนำความร้อน

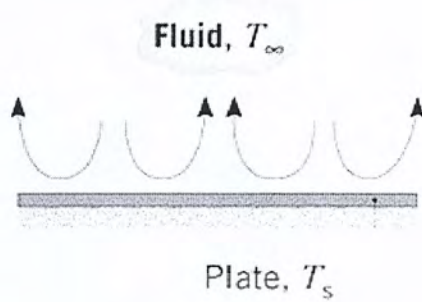
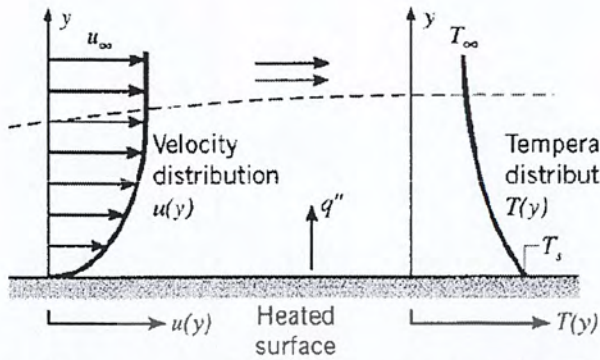
การนำความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยเคลื่อนที่แบบจลน์หรือการชนกันโดยตรงของโมเลกุลซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง

5.1.2 การพาความร้อน

การพาความร้อนจะเกิดขึ้น เมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งหรือไหลผ่านภายในช่องทางการไหล โดยที่อุณหภูมิของของไหลและผิวของของแข็งมีค่าแตกต่างกัน

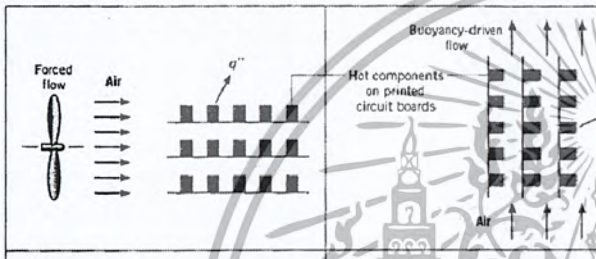
ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นโดยการทำขึ้นเองโดยใช้ปั๊มหรือพัดลมเป็นตัวทำให้เกิดแรงกระทำให้ของไหลไหลผ่านบนพื้นผิว จะเรียกการถ่ายเทความร้อนแบบนี้ว่า การพาความร้อนแบบบังคับ

ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล จะเรียกการถ่ายเทความร้อนแบบนี้ว่าการพาความร้อนแบบอิสระ



รูปที่ 5 แสดงการพาความร้อนของของไหลผ่านผิวร้อน

รูปที่ 8 การไหลเนื่องจากการลอยตัวบนแผ่นความร้อน
หงายหน้าขึ้นโดย $T_s > T_\infty$



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการพาความร้อนแบบบังคับและแบบ
ธรรมชาติ

6. อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

6.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องวัดอุณหภูมิ
2. ถังมือกันความร้อน
3. ตลับเมตร
4. ไม้อปรทัดเหล็ก
5. เทปกาวทนความร้อน
6. ทราย
7. คัตเตอร์
8. ปากกาเมจิก
9. สมุดบันทึกผล
10. เครื่องวัดความเร็วลม

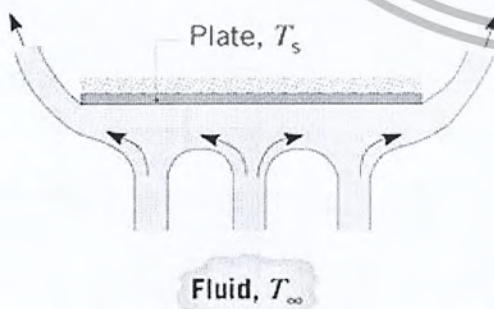
6.2 วิธีการทดลอง

- 6.2.1 ทำการทดลองเก็บวัดค่าการกระจายความร้อน ณ ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- 6.2.2 ทำการถ่ายภาพความร้อนของแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยกล้องเทอร์โมสแกน
- 6.2.3 ทำการคำนวณทางทฤษฎีหาค่าอุณหภูมิผิวของแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป
- 6.2.4 จำลองรูปทรงแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปตามแบบของชิ้นงานจริง สำหรับทำ Simulation
- 6.2.5 ทำ Simulation ด้วยโปรแกรม ANSYS
- 6.2.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.2.1 การพาความร้อนแบบอิสระ

5.1.2.1.1 แผ่นเรียบในแนวนอน

ในกรณีนี้รูปแบบสมการขึ้นอยู่กับว่าแผ่นเรียบเป็นแผ่นร้อนหรือเย็น เมื่อเทียบกับของไหลที่ล้อมรอบ และขึ้นอยู่กับว่าแผ่นเรียบหงายหน้าขึ้น หรือคว่ำหน้าลงสัมผัสกับของไหล (ตามรูปที่ 8 และ 9) โดยถือว่าแผ่นเรียบมีหน้าเดียว



รูปที่ 7 การไหลเนื่องจากการลอยตัวบนแผ่นความร้อนคว่ำ
หน้าลงโดย $T_s > T_\infty$

7. การดำเนินงาน

7.1 ทำการทดลอง

7.1.1 การวัดค่าและเก็บข้อมูล

ทำการตรวจวัดอุณหภูมิบนผิวให้ความร้อนด้วยไอน้ำสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษย่อยสลายได้ ณ บริษัทบรรจุก้อนเพื่อสิ่งแฉดล้อม จำกัด ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยจะเริ่มจากการเก็บค่าของอุณหภูมิแต่ละจุดบนผิวให้ความร้อนและบนผิวชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งตำแหน่งการวัดกำหนดโดยการตีตารางสี่เหลี่ยมจตุรัสแบบ

Matrix ระยะห่างเท่าๆกันขนาด 9จุด 13ช่อง แล้วจึงบันทึกค่าแสดงผลที่เสถียรแล้วเป็นผลการทดลอง

7.1.2 จัดเตรียมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่าสำหรับกรณีวิเคราะห์ผล

นำข้อมูลจากการวัดค่าด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวให้ความร้อนและผิวแม่พิมพ์มาดำเนินการเขียน Contour ของผิว เพื่อดูการกระจายของอุณหภูมิโดยใช้โปรแกรม MATLAB และหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ผิวแผ่น

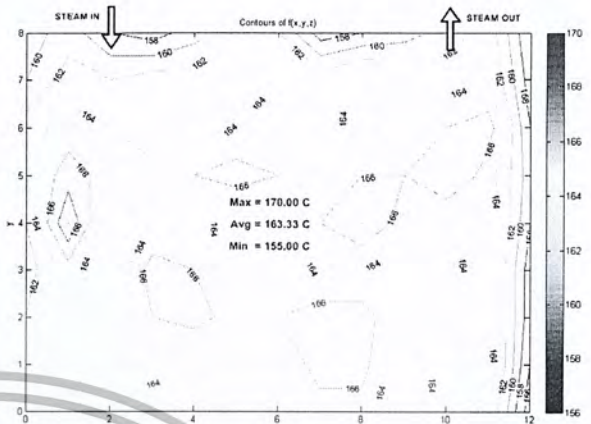
จากการวัดค่าอุณหภูมิบนผิวให้ความร้อนบน มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 163.33, 170 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 9

สำหรับผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 161.82, 171 และ 152 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 10

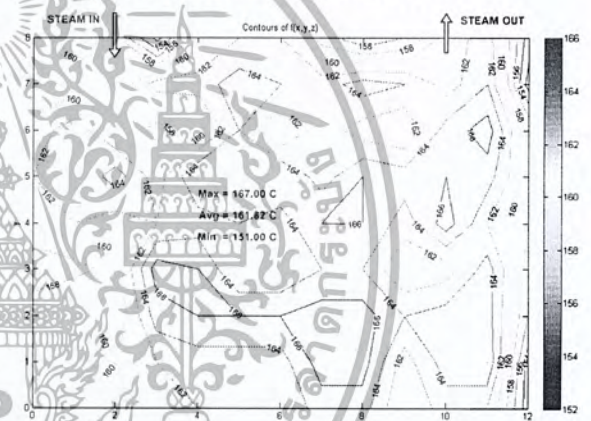
สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปบนบนค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 151.87, 158 และ 141 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 11

สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 152.13, 159 และ 143 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่

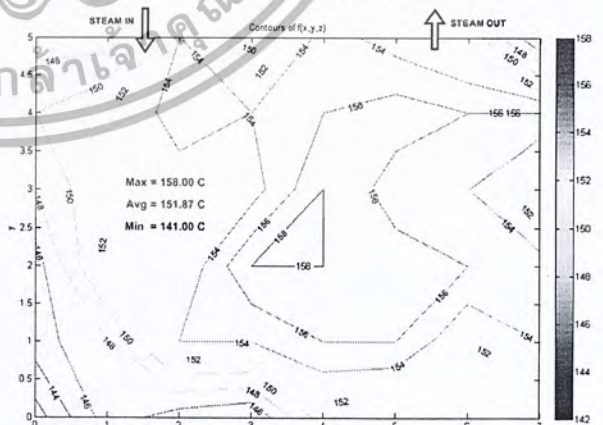
12



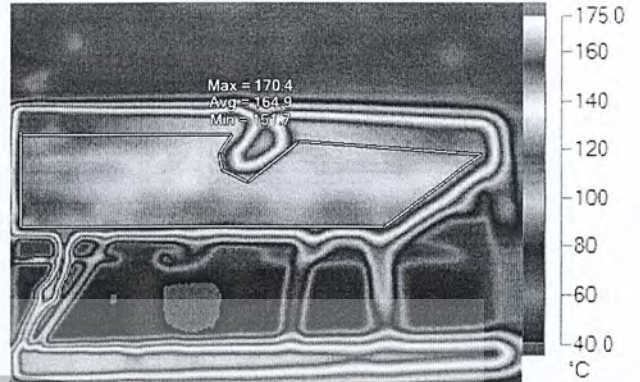
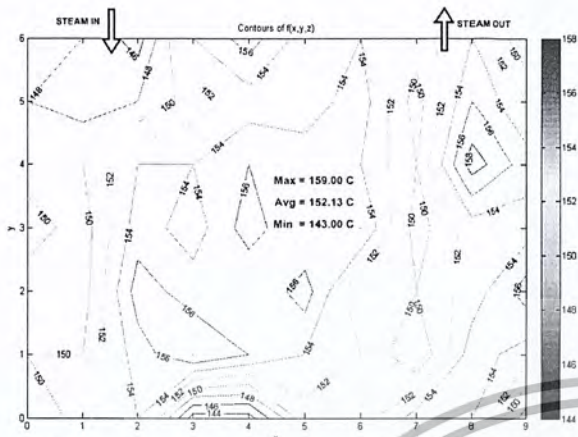
รูปที่ 9 Contour การกระจายความร้อนบนผิวให้ความร้อนแผ่นบนโดยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 10 Contour การกระจายความร้อนบนผิวให้ความร้อนแผ่นล่างโดยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 11 Contour การกระจายความร้อนบนผิวแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนโดยโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 13 ภาพถ่ายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบน โดยกล้องเทอร์โมสแกน

รูปที่ 12 Contour การกระจายความร้อนบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างโดยโปรแกรม MATLAB เมื่อได้ทำการเก็บวัดค่าด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและทำการเขียนกราฟแล้ว จากนั้นทำการวัดค่าอุณหภูมิด้วยการถ่ายภาพความร้อนจากกล้องเทอร์โมสแกน เพื่อดูการกระจายของอุณหภูมิบนผิวแผ่นให้ความร้อนและผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูป

จากภาพถ่ายความร้อนจะพบว่าค่าของอุณหภูมิบนผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 164.9, 170.4 และ 151.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 13

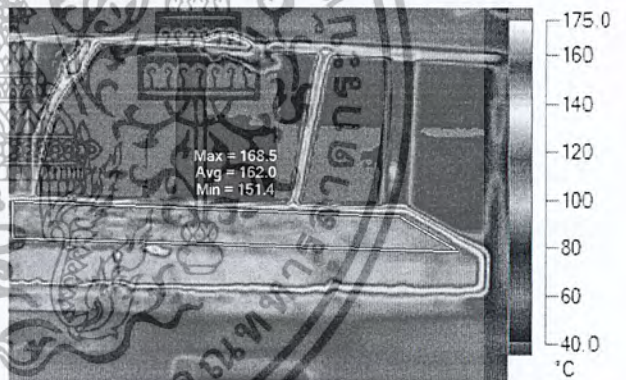
สำหรับผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่างมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 162.0, 168.5 และ 151.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 14

สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 154.5, 167.6 และ 98.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 15

สำหรับผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 157.8, 164.9 และ 141.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 16

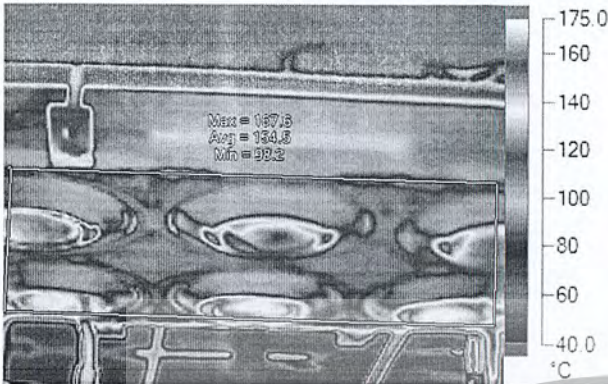
จากรูปที่ 13 อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าน้อยอาจมาเนื่องจากมีสิ่งสกปรกบนแผ่นให้ความร้อน ทำให้ค่าความร้อนที่ได้หลาย ๆ ตำแหน่งมีค่าต่ำกว่าที่ควร ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

จากรูปที่ 14 ผิวของแผ่นให้ความร้อนมีความสกปรก ซึ่งเกิดจากการที่ไอน้ำไหลมาตามรูระบายในกระบวนการอบแห้งขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยมีคาลดลง ดังที่เห็นว่ามีแถบสีเหลืองและเขียวอยู่บนแผ่นให้ความร้อน



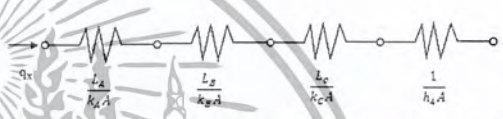
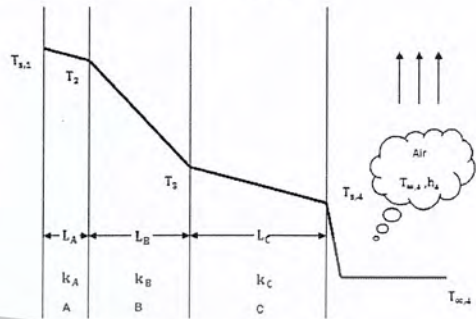
รูปที่ 14 ภาพถ่ายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่าง โดยกล้องเทอร์โมสแกน

จากรูปที่ 15 พบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากลักษณะของแม่พิมพ์ขึ้นรูปที่มีรูปทรงนูนออกมา ทำให้พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจึงต่ำลง และเนื่องจากรูปทรงที่นูนออกมา ทำให้ระยะห่างการถ่ายเทความร้อนโดยการนำจากแผ่นความร้อนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง จะเห็นว่าที่ปลายนูนจะมีสีฟ้าและสีเขียว ซึ่งตามสเกลอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 100-120 เท่านั้น



รูปที่ 15 ภาพถ่ายความร้อนของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน โดยกล้องเทอร์โมสแกน

7.2 การคำนวณทางทฤษฎี



รูปที่ 17 รูปจำลองการถ่ายเทความร้อนผ่านแม่พิมพ์แบบ 1 มิติ

7.2.1 การคำนวณทำภายใต้สมมติฐาน

- สภาวะสม่ำเสมอ (Steady State)
- กำหนดให้อุณหภูมิที่ผิวของคงที่
- การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)
- ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปเป็นผิวเรียบไม่มีความขรุขระ

7.2.2 ขั้นตอนการคำนวณ

7.2.2.1 แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน

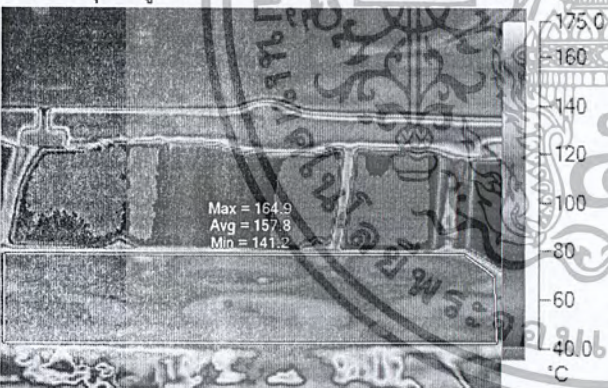
- ให้อุณหภูมิที่ผิวท่อ ($T_{s,1}$) คงที่เท่ากับ 170 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิอากาศบรรยากาศ (T_{∞}) เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส

- หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_f) จากสมการ

$$T_f = \frac{T_{s,1} + T_{\infty,4}}{2} \text{ จะได้ค่า } T_f \text{ เท่ากับ } 390.5 \text{ เคลวิน}$$

- หาค่า ρ , α และ K จากการเปิดตารางคุณสมบัติที่อุณหภูมิเฉลี่ย (T_f)

- ได้ค่า ρ เท่ากับ $25.37 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, ค่า α เท่ากับ $36.7 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ และค่า K เท่ากับ $33.08 \times 10^3 \text{ w/m.k}$



รูปที่ 16 ภาพถ่ายความร้อนของชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง โดยกล้องเทอร์โมสแกน

- หาค่า β จากสมการ $\beta = \frac{1}{T_f}$ จะได้ค่า β เท่ากับ 0.00256 K^{-1}

- เนื่องจากเป็นการพาความร้อนผ่านแผ่นเรียบในแนวนอน ค่าความยาวเฉพาะ (L) จึงหาได้จากสมการ

$$L = \frac{A_s}{P}$$

โดยที่ A_s และ P เป็นพื้นที่ผิวและเส้นรอบรูปของแผ่นตามลำดับ จะได้ค่า L เท่ากับ 0.138 m

- หาค่าเรย์เลย์นัมเบอร์ (Ra_L) จากสมการ

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_{s,1} - T_{\infty,4})L^3}{\nu\alpha} \quad (1)$$

จะได้ค่า Ra_L เท่ากับ 7.45×10^6

- ลักษณะของแผ่นเป็นแบบแผ่นร้อนคว่ำหน้าลง จึงสามารถหาค่านัสเซลท์นัมเบอร์ (Nu_L) จากสมการ

$$\overline{Nu}_L = 0.27Ra_L^{1/4} \quad (2)$$

จะได้ค่า \overline{Nu}_L เท่ากับ 14.10

- หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (\bar{h}) จากสมการ

$$\bar{h} = \frac{k\overline{Nu}_L}{L} \quad (3)$$

จะได้ค่า \bar{h} เท่ากับ $3.38 \text{ W/m}^2\text{K}$

- หาค่าฟลักซ์ความร้อน (q''_x) จากสมการ

$$q''_x = \frac{T_{s,1} - T_{\infty,4}}{\sum R} \quad (4)$$

โดยที่ความต้านทานรวม ($\sum R$) หาได้จากสมการ

$$\sum R = \left[\frac{L_A}{K_A A} + \frac{L_B}{K_B A} + \frac{L_C}{K_C A} + \frac{1}{hA} \right] \quad (5)$$

ให้ $L_A = 0.001 \text{ m}$, $L_B = 0.0115 \text{ m}$, $L_C = 0.022 \text{ m}$,

$K_A = K_{ทองแดง} = 401 \text{ W/m.k}$, $K_B = K_{อลูมิเนียม(5083)} = 117 \text{ W/m.k}$

และ

$K_C = K_{ทองเหลือง} = 110 \text{ W/m.k}$

จะได้ค่า q''_x เท่ากับ 354.61 W/m^2

- หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแม่พิมพ์ ($T_{s,4}$) จากสมการ

$$T_{s,4} = \frac{q''_x}{h} + T_{\infty,4} \quad \text{จะได้ } T_{s,4} \text{ เท่ากับ } 169.89 \text{ องศาเซลเซียส}$$

เซลเซียส

- หาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนแผ่นให้ความร้อน (T_3)

จากสมการ $T_3 = q''_x \left[\frac{1}{h} + \frac{L_C}{K_C} \right] + T_{\infty,4}$ จะได้ T_3 เท่ากับ 169.96 องศาเซลเซียส

7.2.2.2 แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง

- การคำนวณของแผ่นล่างทำลักษณะคล้ายกับการคำนวณของแผ่นบน แต่จะมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิที่ผิวท่อ ($T_{s,1}$) คงที่มีค่าเท่ากับ 165 องศาเซลเซียส จึงทำให้ได้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 388 เคลวิน

- ได้ค่า ν เท่ากับ $25.09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, ค่า α เท่ากับ $36.28 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ค่า K เท่ากับ $32.89 \times 10^{-3} \text{ W/m.k}$

β เท่ากับ 0.00258 K^{-1} และค่า Ra_L เท่ากับ 7.3×10^6

- ลักษณะของแผ่นเป็นแบบแผ่นร้อนหงายหน้าขึ้น จึงสามารถหาค่านัสเซลท์นัมเบอร์ (\overline{Nu}_L) จากสมการ

$$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{1/4} \quad (6)$$

จะได้ค่า \overline{Nu}_L เท่ากับ 28.07 และค่า \bar{h} เท่ากับ $6.69 \text{ W/m}^2\text{K}$

- ค่า $L_C = 0.028 \text{ m}$ ทำให้ได้ค่า q''_x เท่ากับ 667.31 W/m^2 , ค่า $T_{s,4} = 164.76$ องศาเซลเซียส และค่า $T_3 = 164.93$ องศาเซลเซียส

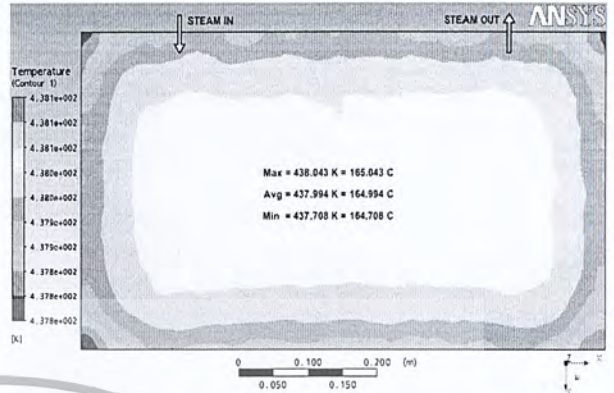
7.3 การทำ Simulation

1. เขียนแบบจำลองรูปทรงแผ่นให้ความร้อน, แผ่นแม่พิมพ์ และอากาศบรรยากาศ ด้วยโปรแกรม Unigraphics NX โดยรูปทรงของ Domain อากาศบรรยากาศที่เหมาะสมที่สุดคือรูปทรงกระบอกที่ส่วนหัวกว้างกว่าส่วนฐานดังรูปที่ 18 และรูปทรงของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปสมมติให้เป็นเพียงแผ่นเรียบ

2. สร้าง Mesh สำหรับเก็บค่าตัวแปรของสมการ ด้วยโปรแกรม ANSYS ICEM CFD เพื่อให้ง่ายต่อการสร้าง Mesh สำหรับรูปทรงสามมิติที่มีความซับซ้อน จึงสร้าง Mesh แบบ Tetra Mesh โดยความละเอียดของ Mesh ขึ้นอยู่กับว่าบริเวณใดเป็นสิ่งที่สนใจศึกษาหรือเป็นบริเวณที่มีอิทธิพลต่อผลของการทำ Simulation ซึ่งนั้น

คือบริเวณผิวท่อ, ผิวแผ่นความร้อน, ผิวแผ่นแม่พิมพ์ และ
อากาศที่อยู่ล้อมรอบชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป

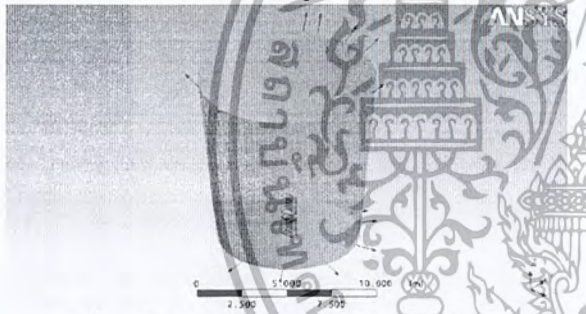
3. ทำ Simulation ด้วยโปรแกรม ANSYS CFX โดยการ
หาผลลัพธ์ทำภายใต้เงื่อนไขเดียวกับการคำนวณทาง
ทฤษฎี ซึ่งในส่วนของการทำงาน Simulation นั้น Boundary
Condition ของ Domain อากาศที่เหมาะสมต่อการหา
ผลลัพธ์คือแบบ Stagnation Point หมายถึงความเร็วของ
อากาศทั้งสามทิศทางในระบบพิกัดฉากมีค่าเป็นศูนย์ จึงได้
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุดและต่ำสุดบนผิวแผ่นแม่พิมพ์
ความร้อนแผ่นบนเท่ากับ 169.982, 170.028 และ
169.659 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 19 และค่า
อุณหภูมิเฉลี่ย, สูงสุดและต่ำสุดบนผิวแผ่นแม่พิมพ์ความ
ร้อนแผ่นล่างเท่ากับ 164.994, 165.043 และ 164.708
องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 Contour การกระจายความร้อนของอุณหภูมิ
บนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่าง โดยการ Simulation

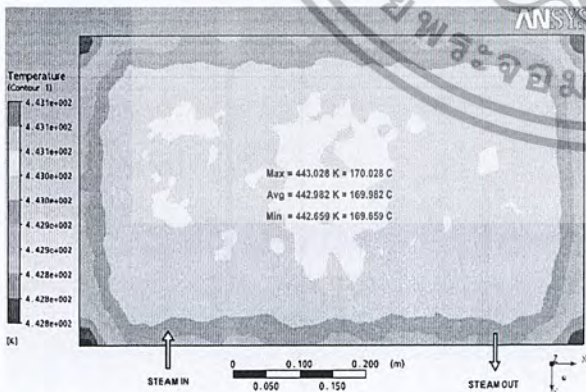
8. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิว



รูปที่ 18 ลักษณะ Domain ของอากาศบรรยากาศ

	Thermo- scan	เครื่อง มือวัด (□C)	จำนวน มิติ (□C)	Simulation (□C)
แผ่นให้ ความร้อน				
แผ่นบน	164.90	163.33	169.96	169.91
แผ่นล่าง	162.00	161.82	164.93	164.93
แผ่น แม่พิมพ์				
แผ่นบน	154.50	151.87	169.89	169.83
แผ่นล่าง	157.80	152.13	164.76	164.84



รูปที่ 19 Contour การกระจายความร้อนของอุณหภูมิบน
แผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบน โดยการ Simulation

จากตารางเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่
ผิว พบว่าผลการทำ Simulation และผลการคำนวณ
1 มิติที่ได้ มีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกันคือ
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวทั้งของแผ่นความร้อนและแผ่น
แม่พิมพ์แผ่นบนจะมีค่ามากกว่าแผ่นความร้อนและ
แผ่นแม่พิมพ์แผ่นล่างประมาณ 5 องศาเซลเซียส
สำหรับผลการทดลองโดยเครื่องมือวัด
อุณหภูมิและภาพถ่ายความร้อนโดยกล้องเทอร์โม
สแกน มีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกันคือ แผ่น
ให้ความร้อนแผ่นบนจะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าแผ่นล่างประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส แต่แผ่นแม่พิมพ์แผ่นบนจะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวต่ำกว่าแผ่นล่างประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณ 1 มิติและการทำ Simulation พบว่าการกระจายความร้อนบนแผ่นให้ความร้อนมีความแตกต่างกันน้อยประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส แต่หลังจากติดตั้งแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแล้ว ผลของการกระจายความร้อนบนแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปจะมีความแตกต่างกันอย่างมาก ประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส

9. สรุปผลการทดลอง

9.1 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำ Simulation ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.95, -3.07 และ -3.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

9.2 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำ Simulation ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนผิวแผ่นให้ความร้อนแผ่นล่างมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.11, -1.81 และ -1.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

9.3 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำ Simulation ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นบนมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 1.70, -9.96 และ -9.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

9.4 เปรียบเทียบกล้องเทอร์โมสแกนกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ, การคำนวณทางทฤษฎี และการทำ Simulation ได้ค่าการกระจายความร้อนของอุณหภูมิบนผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นล่างมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 3.59, -4.41 และ -4.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

9.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการกระจายความร้อนของแผ่นให้ความร้อนและแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปโดยการทำ Simulation เปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากกล้องเทอร์โม

สแกนเท่ากับ 9.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถยืนยันความน่าเชื่อถือของการทำ Simulation ได้

9.6 จากผลการทดลองพบว่าการกระจายอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนแผ่นบนและล่างมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แต่จะมีอุณหภูมิแตกต่างกันโดยแผ่นบนจะมีค่าสูงกว่าแผ่นล่างประมาณ 3-5 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากลักษณะการไหลของไอน้ำเป็นแบบใช้งานต่อเนื่องจากแผ่นบนสู่แผ่นล่าง ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนลักษณะการไหลของไอน้ำให้ไหลเข้าสู่แผ่นความร้อนแผ่นบนและแผ่นล่างพร้อม ๆ กันด้วยสภาวะอุณหภูมิและความดันเดียวกัน เพื่อให้การกระจายอุณหภูมิของทั้งสองแผ่นใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของการอบชิ้นงานและอาจสามารถลดระยะเวลาในการอบชิ้นงาน ทำให้ผลิตชิ้นงานได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

10. วิเคราะห์ผลการทดลอง

10.1 ผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อน อาจเกิดจากความสกปรกของผิวแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปและผิวแผ่นให้ความร้อน หรือข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าทางทฤษฎีไม่ตรงตามวัสดุที่ใช้จริง จึงต้องสมมติค่าคุณสมบัติของวัสดุขึ้นมา

10.2 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ในการคำนวณทางทฤษฎีและการทำ Simulation มีไม่เพียงพอ จึงต้องทำการสมมติค่าของข้อมูลบางอย่าง ซึ่งอาจจะไม่ตรงกับสภาพการดำเนินงานจริงของทางบริษัท ซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน

10.3 รูปทรงของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปที่ใช้จริงมีลักษณะตามรูปทรงของผลิตภัณฑ์ แต่ในการทำ Simulation ได้จำลองรูปทรงของแผ่นแม่พิมพ์ขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ทำให้ผลการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] Cengel YA, Boles MA (2006) Thermodynamics :
an engineering approach, 5th ed in SI units. edn
McGraw-Hill, Boston
- [2] Incropera FP, Dewitt DP (2002) Fundamentals of
heat and mass transfer, 5th edn John Wiley, New
York
- [3] Munson BR, Young DF, Okiishi TH (2006)
Fundamentals of fluid mechanics, 5th edn John
Wiley, Hoboken, NJ
- [4] รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ : การถ่ายเทความร้อน, วีเจ
พริ้นติ้ง, กรุงเทพมหานคร, 2542.



บรรณานุกรม

- [1] Cengel YA, Boles MA (2006) Thermodynamics : an engineering approach, 5th ed in SI units. edn McGraw-Hill, Boston
- [2] Incropera FP, Dewitt DP (2002) Fundamentals of heat and mass transfer, 5th edn John Wiley, New York
- [3] Munson BR, Young DF, Okiishi TH (2006) Fundamentals of fluid mechanics, 5th edn John Wiley, Hoboken, NJ
- [4] รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์: การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, วีเจ พรินติ้ง, กรุงเทพมหานคร, 2542.

