

การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของตัวระบายความร้อน
ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



นางสาว จินตนา ศรีสุวรรณ
นางสาว ธรรมาทิพย์ จิตโสภา

รฟ.
๗๔๕๓
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 76651
วัน,เดือน,ปี..... - 3 S.ค. 2550

b. 11๘๕๐๓๔๖
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature Distribution Analysis of a Heat Sink using Finite Element Method



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของตัวระบายความร้อน
ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

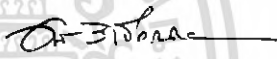


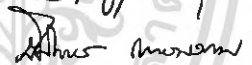
นักศึกษา นางสาวจินตนา ตริสุวรรณ
นางสาวธรรมาทิพย์ จิตโสภา

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปิติพร ถนอมงาม

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย	
กรรมการ	อ.วิฑูรย์ ยินดีสุร	
กรรมการ	ดร.ประธาน บุรณศิริ	
กรรมการที่ปรึกษา	ดร.ปิติพร ถนอมงาม	


.....
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของตัวระบายความร้อน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
นักศึกษา	นางสาวจินตนา ตรีสุวรรณ นางสาวธรรมาทิพย์ จิตโสภา
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปิติพร ถนอมงาม

บทคัดย่อ

การกระจายอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนนั้น สามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์
ในธรรมชาติ 2 ชนิด คือ การนำความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไปสู่แผ่นระบายความร้อน
และการพาความร้อน จากแผ่นระบายความร้อนไปสู่อากาศ ในโครงการพิเศษนี้จะวิเคราะห์การ
กระจายอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีการเชิงตัวเลข โดยใน
ที่นี่ใช้โปรแกรมแอนซิสซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณและจำลองแบบ โดยผลจากการ
วิเคราะห์จะอธิบายในรูปของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นระบายความร้อนโดยเปรียบเทียบ
ลักษณะโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อน 3 แบบ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานลักษณะเดียวกัน คือ
เป็นแผ่นระบายความร้อนแบบฉีดยึดเป็นเส้น แตกต่างกันตรงที่การจัดวางตำแหน่งของครีระบาย
ความร้อน การแสดงผลจะแสดงออกมาในรูปของเจดสี โดยแต่ละเจดสีจะแสดงถึงค่าของช่วง
ตัวเลขอุณหภูมิที่กระจายตัวอยู่บริเวณผิวของวัตถุ

Special Project Title Temperature Distribution Analysis of a Heat Sink
using Finite Element Method

Name Miss Jintana Tresuwan
Miss Thammatip Jitsopha

Department Applied Physics Faculty of Science

Program Instrument and Measurement

Academic Year 2549

Special Project Advisor Dr. Pitiporn Thanomngam

ABSTRACT

Temperature distribution of a heat sink can be explained using two natural phenomena which are heat conduction from an electronic instrument to the heat sink and heat convection from the heat sink to an environment. In the project, the analysis of temperature distribution of the heat sink was performed using finite element technique which is a numerical method. The computer program for calculation and modeling is called "AN-SYS". The analytical results were interpreted in a form of temperature distribution on the surface of the heat sink. The comparison was made for three extrude heat sink with a same basic structure but difference in positions of their fins. The results were shown in color shading which represent the range of temperature distributed on the surface of the object.

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการพิเศษฉบับนี้ต้องอาศัยงานวิจัยและตำราเป็นจำนวนมาก ผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบคุณเจ้าของงานวิจัยและตำราทุกเล่มไว้ ณ ที่นี้ และหวังว่าเอกสารฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและผู้ที่สนใจ และต้องขอขอบคุณ ดร.ปิติพร ถนอมงาม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการซึ่งถ้าขาดท่านผู้นี้แล้วจะไม่สามารถทำให้โครงการนี้เกิดขึ้นได้ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้สามารถทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สร้างบัณฑิตใหม่ขึ้นมา และที่สำคัญขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ทุ่มเทพิทักษ์ดูแลเสีย จนได้เป็นบัณฑิต ภาคฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ทรงเกียรติแห่งนี้

นางสาวจินตนา ศรีสุวรรณ

นางสาวธรรมาทิพย์ จิตโสภา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	3
2.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมแอนซิส	11
2.3 แผ่นระบายความร้อน	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1 แผ่นระบายความร้อน	19
3.2 การใช้งานโปรแกรมแอนซิส	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	41
4.1 แบบจำลองของแผ่นระบายความร้อน	41
4.2 ลักษณะของเงื่อนไข	42
4.3 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อน	43
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	44
4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	54
5.1	สรุปผลการทดลอง	54
5.2	ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง		
ภาคผนวก		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ขนาดของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์	42
4.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	44
5.1	ช่วงอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อน 3 รูปแบบ	54
5.2	ช่วงอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อน 4 รูปแบบ	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	อุณหภูมิของของไหลเนื่องจากการไหลบนหน้าตัดของท่อที่มีอุณหภูมิต่างกัน	5
2.2	การแบ่งรูปร่างโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ	7
2.3	เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่มี 3 จุดต่อ	8
2.4	หน้าจอกของโปรแกรมแอนซิส	12
2.5	แผ่นระบายความร้อนแบบกลมเป็นแผ่นแบน	13
2.6	แผ่นระบายความร้อนแบบกลมมีครีระบายความร้อนหลายชั้น	13
2.7	แผ่นระบายความร้อนแบบจืดเป็นเส้น	14
2.8	แผ่นระบายความร้อนแบบหนาม	14
2.9	การถ่ายเทความร้อนโดยการนำแบบ 1 มิติ	16
2.10	เครื่องหมายแสดงทิศทางการไหลของความร้อนในกฎของ Fourier	16
2.11	การถ่ายเทความร้อนโดยการพา	18
3.1	แผ่นระบายความร้อน 3 รูปแบบ	19
3.2	ขั้นตอนการสร้างรูปทรงลูกบาศก์โดยการกำหนดพิกัด	21
3.3	การสร้างครีของแผ่นระบายความร้อน	21
3.4	ปริมาตรเมื่อทำการลบส่วนที่ไม่ต้องการออกไป	22
3.5	การเข้าคำสั่ง preference	23
3.6	การ set preference	24
3.7	การเข้าคำสั่ง add/edit/delete	25
3.8	การเลือกชนิดของ element	25
3.9	การกำหนดหน่วยของอุณหภูมิ	26
3.10	การเข้าคำสั่ง material model	27
3.11	การกำหนดลักษณะสมบัติของวัสดุ	28
3.12	การกำหนดเงื่อนไขของวัสดุ	28
3.13	การกำหนดความหนาแน่นของวัสดุ	29
3.14	การกำหนดค่าความจุความร้อนของวัสดุ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	การกำหนดค่าการนำความร้อนของวัสดุ	30
3.16	การกำหนดขนาด mesh	31
3.17	ปริมาตรเมื่อทำการตีตาข่ายสมบูรณ์	31
3.18	การเข้าคำสั่ง new analysis	32
3.19	การกำหนดชนิดของการวิเคราะห์	33
3.20	การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและค่าอุณหภูมิที่สัมผัสวัสดุทั้งชิ้น	34
3.21	การกำหนดการพาความร้อนทั่วทั้งชิ้นงาน	35
3.22	การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและค่าอุณหภูมิที่สัมผัสที่ฐาน	36
3.23	การกำหนดการพาความร้อนที่ฐาน	37
3.24	การเข้าคำสั่ง solve	38
3.25	ข้อมูลของแบบจำลอง	38
3.26	หน้าต่างของการเข้าสู่กระบวนการคำนวณ	39
3.27	การเข้าคำสั่งเพื่อแสดงรูปร่างจากการคำนวณ	39
3.28	ผลลัพธ์จากการคำนวณ	40
4.1	แบบจำลองของแผ่นระบายความร้อน	41
4.2	โครงสร้าง solid 70	45
4.3	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นระบายความร้อนแบบครึ่ง ที่ทำมาจากอลูมิเนียม	46
4.4	ตำแหน่งที่ทำการใส่เงื่อนไข	47
4.5	ผลการทดลองในมุม isometric	48
4.6	ผลการทดลองแบบจำลอง (ก)	48
4.7	ผลการทดลองแบบจำลอง (ข)	50
4.8	ผลการทดลองแบบจำลอง (ค)	52
4.9	ผลการทดลองแบบจำลอง (ข) หนา	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

การประยุกต์นำคอมพิวเตอร์ เข้ามาช่วยในการออกแบบ และจำลองการทดสอบ (simulation) ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการออกแบบและ พัฒนาผลิตภัณฑ์ และเพื่อสร้างความมั่นใจว่า ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมานั้น สามารถผ่านการทดสอบได้ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม การจำลองปัญหาบนคอมพิวเตอร์ เป็นการประหยัดเงินทุนในการวิจัย และพัฒนาได้เป็นอย่างมาก ทั้งผลคำตอบที่ได้ก็เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องเป็นอย่างดีกับการทดลองจริง วิธีการจำลองแบบที่วันนี้ก็คือ ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งคือวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ เขียนเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อใช้คำนวณ แก้ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น คำนวณหาคความแข็งแรง ของวัสดุหรือ ชิ้นส่วนเครื่องกล ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อนในชิ้นส่วนเครื่องกล รูปแบบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นเสียง เป็นต้น

แผ่นระบายความร้อนหรือฮีตซิงค์ (heat sink) คือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้ในการระบายความร้อนของตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงจนเกิดความร้อน เช่น ทรานซิสเตอร์กำลังหรือพาวเวอร์ทรานซิสเตอร์ (power transistor) หรือไอซีรักษาระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าหรือเรกูเลเตอร์ (regulator) เป็นต้น ซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนในวงจร และอาจเกิดความเสียหายได้

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการจำลองแบบการกระจายความร้อนของไหลของแผ่นระบายความร้อน โดยจะใช้โปรแกรม ANSYS ในการจำลองแบบ ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้การคำนวณตามวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยผลที่คาดว่าจะได้รับ คือ ข้อมูลระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนแต่ละชนิด และแนวทางในการพัฒนาแผ่นระบายความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการจำลองแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม ANSYS ในการจำลองแบบ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาเรื่องวัสดุและการกระจายความร้อนของตัวระบายความร้อน
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปศึกษาและออกแบบชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการกระจายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนแบบต่างๆ

1.3.2 สามารถออกแบบแผ่นระบายความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

- | | |
|--------------|--|
| ขั้นตอนที่ 1 | ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี ของการจำลองและการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ |
| ขั้นตอนที่ 2 | ศึกษาวิธีการใช้ของโปรแกรม ANSYS |
| ขั้นตอนที่ 3 | ศึกษาโครงสร้างแผ่นระบายความร้อนในวงจรไฟฟ้า และอุณหภูมิเฉลี่ยของ ไอซีแต่ละแบบ |
| ขั้นตอนที่ 4 | วาดแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS |
| ขั้นตอนที่ 5 | สรุปผลและเสนอแนะ |

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถทำการจำลองแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้
- 1.5.2 สามารถใช้งานโปรแกรม ANSYS ได้
- 1.5.3 สามารถนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปออกแบบชิ้นงานได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ปัญหาการไหลเพื่อหาความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ ฯลฯ สำหรับใช้ในการออกแบบงานทางวิศวกรรมหรือการศึกษางานทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (computational fluid dynamics) ได้เข้ามามีบทบาท และก่อให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมากในปัจจุบัน วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลผสมผสานกับความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical methods) โดยทำการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟฟิกส์ ทำให้นักวิเคราะห์สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ของการไหลได้เป็นอย่างดี เป็นผลให้สามารถปรับปรุง ดัดแปลงรูปแบบของการออกแบบ จนได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ก่อนนำไปสร้างจริงหรือทำการทดลองอีกต่อหนึ่งเพื่อย้ำความมั่นใจในการออกแบบนั้น กระบวนการออกแบบด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลดังกล่าว ช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาลงไปอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทดลองแต่เพียงอย่างเดียวที่เคยทำมาในอดีต นอกจากนี้วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลยังได้นำไปประยุกต์เข้ากับงานทางวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์อื่นๆ ในอีกหลายแขนงที่ไม่สามารถทำการทดลองได้หรืออาจเป็นอันตรายหากทำการทดลอง เช่น การจำลองการไหลในเส้นเลือดและหัวใจ หรือการไหลผสมกันระหว่างสารเคมีซึ่งมีอันตราย เป็นต้น

2.1.1 ไฟไนต์เอลิเมนต์และองค์ประกอบความรู้ที่จำเป็น

ศักยภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณพลศาสตร์ของการไหล มักทำให้ผู้วิเคราะห์เข้าใจว่าสามารถใช้โปรแกรมเหล่านี้เพื่อหาผลลัพธ์ของการไหลสำหรับปัญหาใดๆ ได้โดยง่าย ในความเป็นจริงนั้น เนื่องจากโปรแกรมเหล่านี้ตั้งอยู่บนความรู้ทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการคำนวณที่ค่อนข้างลึกซึ้ง ผู้ที่สามารถใช้โปรแกรมเหล่านี้ได้ถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีความรู้ที่เพียงพอองค์ประกอบของความรู้ที่ต้องการนี้อาจจำแนกออกเป็น 5 ประการ คือ

1. **ความรู้ในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย** โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้าน การคำนวณพลศาสตร์ของการไหลล้วนตั้งอยู่บนการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดให้

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาของการไหลที่ครอบคลุม (governed) ด้วยระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยประเภทใด นอกจากนั้น ความเข้าใจทางกายภาพในแต่ละพจน์ของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นก็มีความสำคัญมากเช่นกันในการบ่งบอกศักยภาพ (capability) และขีดจำกัด (limitation) ของโปรแกรมเอง พจน์ต่างๆ ในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนี้ยังบ่งบอกต่อไปด้วยว่า การแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ต้องการความลึกซึ้งของระเบียบวิธีการคำนวณมากน้อยเพียงใด และเป็นผลต่อเนื่องต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณปัญหานั้นๆ อย่างไร ดังนั้นความเข้าใจในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยจึงมีความสำคัญที่จำเป็นต้องทำความเข้าใจก่อนลงมือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น

2. **ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข** ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เป็นความรู้พื้นฐานและองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญสำหรับการคำนวณ ความรู้พื้นฐานในระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนี้ประกอบด้วยความรู้ของฟังก์ชันของการประมาณภายใน (interpolation functions) การดิฟเฟอเรนเชียลและการอินทิเกรตเชิงตัวเลข (numerical differentiations and integrations) ความรู้พื้นฐานในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ordinary differential equations) รวมทั้งสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) และที่สำคัญที่สุดคือความรู้ในระเบียบวิธีต่างๆ ที่ใช้แก้ระบบสมการพีชคณิต (system of algebraic equations) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วย n สมการ

$$\begin{bmatrix} A \\ (n \times 1) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X \\ (n \times 1) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} B \\ (n \times 1) \end{Bmatrix} \quad 2.1$$

โดย $\{X\}$ เป็นเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่า $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$

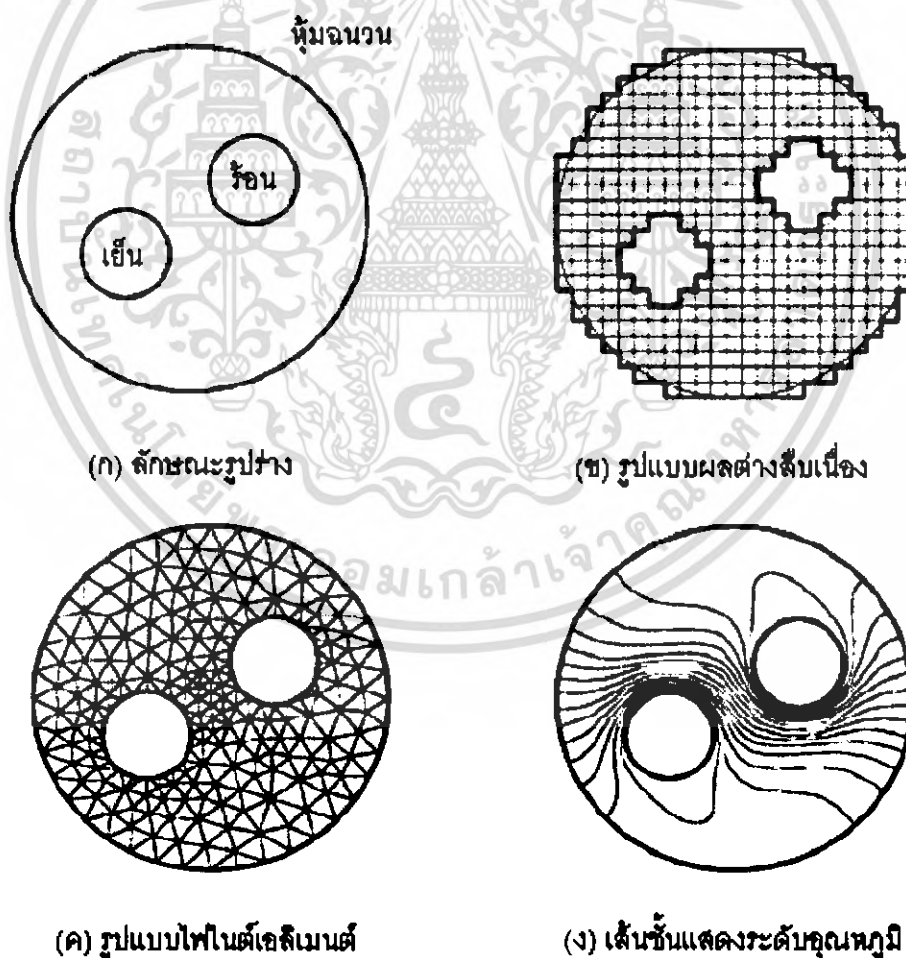
$\{B\}$ เป็นเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยตัวรู้ค่าจำนวน n ค่า

$[A]$ เป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวน $n \times n$ ค่า

3. **ความรู้ในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์** การวิเคราะห์ปัญหาใดๆ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ครอบคลุมปัญหานั้น เงื่อนไขขอบเขตและลักษณะรูปร่างปัญหานั้น ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีที่ตอบสนองทำให้องค์ประกอบหลักทั้งสามที่ต้องการนี้มีความสมบูรณ์ เริ่มจากการแทนลักษณะรูปร่างของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ขนาดเล็กทำให้การสร้างโดเมนของการคำนวณมีความเที่ยงตรงมากกว่าการตีตารางสี่เหลี่ยมที่ใช้กับระเบียบวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่างสี่บเนื่อง จากรูปที่ 2.1 นั้น รูป (ก) แสดงโดเมนของการคำนวณบนหน้าตัดของท่อทรงกระบอกใหญ่ที่ห่อหุ้มด้วยฉนวน โดยภายในท่อมมีทรงกระบอกเล็ก 2 ท่อที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ระหว่างผิวท่อของทรงกระบอกนี้ได้บรรจุของเหลวไว้ จุดประสงค์คือการศึกษาสภาวะการไหลของอุณหภูมิของของเหลวนี้ รูป (ข) แสดงการตีตารางสี่เหลี่ยมเพื่อใช้กับวิธีผลต่างสี่บเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขอบเขตของโดเมนการคำนวณไม่สามารถถูกแทนได้อย่างเที่ยงตรง โดยเห็นเป็นชั้นบันไดตลอดผิวโค้งของท่อ หากต้องการให้บันไดมีขนาดเล็กลง จำเป็นต้องตีตารางสี่เหลี่ยมให้ถี่ขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้จำนวนจุดต่อและตัวไม่รู้ค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่รูป (ค) แสดงเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นสำหรับใช้กับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถแทนส่วนโค้งของท่อได้ดีกว่า ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมากขึ้น รูป (ง) แสดงเส้นชั้นของระดับอุณหภูมิที่คำนวณได้โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 2.1 อุณหภูมิของของไหลเนื่องจากการไหลบนหน้าตัดของท่อที่มีอุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากแบ่งโดเมนของการคำนวณออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับแต่ละเอลิเมนต์ สมการเหล่านี้สร้างขึ้นมาจากการใช้ สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ครอบคลุมปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้น ผสมผสานกับการใช้ฟังก์ชันการประมาณภายใน เพื่อสมมติลักษณะการกระจายตัวของตัวแปรที่ไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นั้น จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นมาได้นี้มาประกอบกันเข้าก่อให้เกิดสมการชุดใหญ่ ซึ่งในความหมายทางกายภาพก็เปรียบเสมือนการนำเอาทุกเอลิเมนต์มาประกอบต่อกันเข้าขึ้นเป็นรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของปัญหานั้น แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ของปัญหาลงในระบบสมการชุดใหญ่นี้ที่อยู่ในรูปแบบสมการ ก่อนทำการแก้ทั้งระบบสมการด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขต่อไป

จากคำอธิบายดังกล่าวข้างต้นนี้จะเห็นได้ว่า ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ตอบสนองความต้องการขององค์ประกอบหลักทั้ง 3 ประการ อันได้แก่ ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย เงื่อนไขขอบเขต และลักษณะรูปร่างของปัญหาได้โดยสมบูรณ์ เนื่องจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าเฉลยโดยประมาณ (approximate method) โดยการสมมติลักษณะการกระจายของผลลัพธ์บนเอลิเมนต์ด้วยฟังก์ชันแบบง่าย ๆ ดังนั้นจึงหมายความว่า จำเป็นต้องใช้เอลิเมนต์ขนาดเล็กเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์สูง เพื่อที่จะได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรง

4. ความเข้าใจในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ความรู้ความเข้าใจในขั้นตอนการคำนวณ ซึ่งถูกประดิษฐ์ขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่สอดคล้องกันจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้วิเคราะห์ปัญหา มีผู้ใช้จำนวนไม่น้อยที่พยายามใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เพื่อแก้ปัญหาการไหลที่มีความซับซ้อนที่ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าจำนวนมาก การคำนวณอาจใช้เวลาต่อเนื่องนานหลายวัน ความเข้าใจในขั้นตอนของการคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เหล่านี้สามารถนำไปสู่แนวทางซึ่งช่วยลดเวลาในการคำนวณได้เป็นอย่างมากโดยก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงทัดเทียมกัน ความไม่เข้าใจในขั้นตอนการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์บางครั้งอาจนำไปสู่การไม่ได้มาซึ่งผลลัพธ์เลยหลังจากใช้เวลาในการคำนวณเป็นระยะเวลาอันยาวนาน หรือหากได้ ผลลัพธ์อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่เที่ยงตรงก็เป็นได้

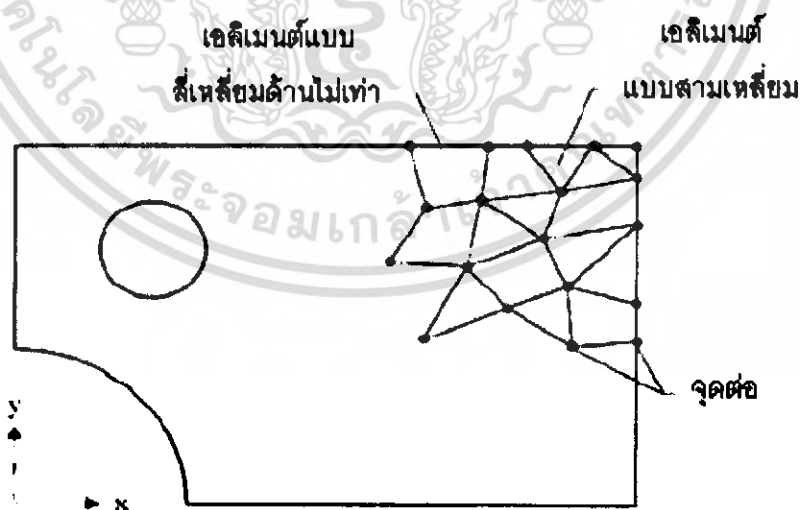
สาเหตุดังกล่าวข้างต้นนี้เอง บังคับให้ผู้ใช้โปรแกรมในทางอ้อมให้มีความรู้ ความเข้าใจที่ค่อนข้างลึกซึ้งในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา ความรู้ความเข้าใจเหล่านี้อาจหาโดยการสั่งสมได้จากชั้นเรียน หรือจากการได้เคยแก้ปัญหาในทำนองเดียวกันมาหลายครั้ง ดังนั้น ในการจัดซื้อโปรแกรมคอมพิวเตอร์เหล่านี้มาจากผู้จำหน่าย ผู้จำหน่ายมักจะรวบรวมเข้าชั้นเรียนเพื่อฝึกฝน เพื่อให้อย่างน้อยเกิดความเข้าใจพื้นฐานในการใช้โปรแกรมได้อย่างถูกต้อง

5. ประสิทธิภาพในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ความสามารถในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการฝึกฝนที่หน้าจคอมพิวเตอร์ การใช้เวลาฝึกฝนที่หน้าจอนานมากเท่าใดก็จะก่อให้เกิดประสบการณ์มากขึ้นเท่านั้น ประสบการณ์เหล่านี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นจากการนั่งฟังในชั้นเรียนเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นจากการลองฝึกด้วยตัวเอง

2.1.2 ขั้นตอนโดยทั่วไป

ในการแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ขั้นตอนโดยปกติทั่วไปจะประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนแรกเป็นการแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ยกตัวอย่างเช่น ปัญหา 2 มิติที่มีพื้นที่ของโดเมนวางตัวในโคออร์ดิเนต x-y ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เนื้อที่ภายในโดเมนนี้ซึ่งอาจเป็นพื้นที่ของแผ่นโลหะหรือพื้นที่ของการไหลก็ได้ จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ซึ่งอาจประกอบด้วยเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยม (triangular element) หรือเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า (quadrilateral element) ก็ได้ เอลิเมนต์เหล่านี้ต่อเชื่อมกันที่จุดต่อ (node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณตัวไม่รู้ค่า (nodal unknowns) เช่น ค่าของอุณหภูมิ ค่าความดัน และค่าความเร็วของการไหล เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การแบ่งรูปร่างโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เนื่องจากบนพื้นที่โดเมนของปัญหานี้ผลลัพธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น ค่าความดันของการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปจากบริเวณหนึ่งสู่อีกบริเวณหนึ่ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์นี้บนแต่ละเอลิเมนต์ เช่น พิจารณาเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยม เอลิเมนต์ใดเอลิเมนต์หนึ่งในพื้นที่โดเมนนี้ ซึ่งประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยที่จุดต่อนี้เป็นตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่า ϕ_1 , ϕ_2 และ ϕ_3 ตามลำดับซึ่งอาจเป็นค่าความดันของการไหล ดังนั้น จึงอาจสร้างสมการที่อธิบายลักษณะการกระจายของค่าความดันโดยประมาณบนเอลิเมนต์สามเหลี่ยมนี้ ได้ดังนี้

$$\phi(x,y) = N_1(xy)\phi_1 + N_2(xy)\phi_2 + N_3(xy)\phi_3 \quad 2.2$$

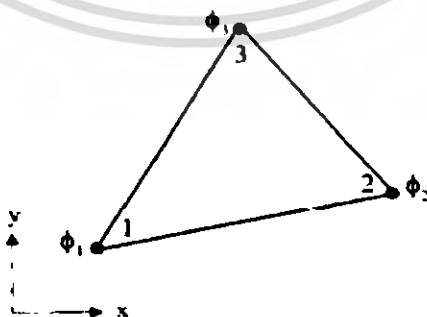
โดย $N_i(xy)$, $i = 1, 2, 3$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ สมการ (2.2) นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\phi(x,y) = [N_1 \quad N_2 \quad N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad 2.3$$

$$= [N(x,y)] \{\phi\} \quad 2.4$$

$\begin{matrix} (1 \times 3) & (3 \times 1) \end{matrix}$

โดย $[N]$ แทนเมตริกซ์แถวอน (row matrix) ของฟังก์ชันการประมาณค่าภายในเอลิเมนต์ และ $\{\phi\}$ แทนเวกเตอร์หรือเมตริกซ์แถวตั้ง (column matrix) ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น



รูปที่ 2.3 เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่มี 3 จุดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 เนื่องจากลักษณะการกระจายของผลลัพธ์โดยประมาณบนเอลิเมนต์นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลลัพธ์ที่แท้จริง ดังนั้นจึงต้องประยุกต์หลักการใดหลักการหนึ่งเพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์โดยประมาณที่มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด วิธีการที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันก็คือการใช้ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (method of weighted residual) สาเหตุที่ระเบียบวิธีนี้เป็นที่นิยมกันมากก็เพราะว่าสามารถประยุกต์เข้าได้กับสมการเชิงอนุพันธ์ที่ครอบคลุมปัญหาที่สนใจนั้น ก่อให้เกิดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกัน เช่น สมการไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยม ในรูปที่ 2.3 จะอยู่ในรูปแบบ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} \quad 2.5$$

โดย $k_{ij} = 1, 2, 3$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งอาจเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและขนาดของเอลิเมนต์นั้น สมการ (2.5) นี้สามารถเขียนโดยย่อได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad 2.6$$

โดยดรรชนีล่าง e แสดงถึงเมตริกซ์เหล่านี้เป็นเมตริกซ์ระดับเอลิเมนต์(element)

หากสมการเชิงอนุพันธ์ที่ครอบคลุมปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear)

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้ จะอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้นตามไปด้วย

$$[K(\phi)]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad 2.7$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ k_{ij} ในสมการ (2.7) นี้จะขึ้นอยู่กับตัวไม่รู้ค่า ϕ_1, ϕ_2 และ ϕ_3 ที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เช่น ระเบียบวิธีของนิวตัน-ราฟสัน จะถูกนำมาประยุกต์เข้ากับสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (2.7) นี้ ก่อให้เกิดสมการระดับเอลิเมนต์ที่แตกต่างออกไปอีกก่อนที่จะนำมาประกอบรวมกันเข้าในขั้นตอนที่ 4 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากทุกๆ เอลิเมนต์จะถูกนำมาประกอบรวมกันเข้า ก่อให้เกิดระบบสมการ (system of equation) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนี้

$$[K]_{sys} \{\phi\}_{sys} = \{F\}_{sys} \quad 2.8$$

โดย ตัวน้อย sys บ่งบอกถึงเมตริกซ์เหล่านี้เป็นเมตริกซ์ของระบบสมการรวม(system) หากค่าสัมประสิทธิ์ k_{ij} ของเมตริกซ์ $[K]_e$ ในสมการ (2.6) เป็นค่าคงที่ เมตริกซ์ $[K]_{sys}$ ที่เกิดขึ้นก็จะประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์

ต่างๆ ซึ่งล้วนเป็นค่าคงที่ด้วย แต่หากค่าสัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์ $[K(\phi)]$ ในสมการ (2.7) นั้นขึ้นอยู่กับตัวไม่รู้ค่า เมตริกซ์ $[K]_{sys}$ ที่เกิดขึ้นก็จะขึ้นอยู่กับตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อเวกเตอร์ $\{\phi\}_{sys}$ ทำให้เกิดสมการไม่เชิงเส้นตามมาด้วย

ขั้นตอนที่ 5 การแก้ปัญหาโดยสมบูร์ณนั้น ผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายความจริงของปัญหา เงื่อนไขขอบเขตของปัญหา และลักษณะรูปร่างของปัญหา ขั้นตอนที่ 1 และ 4 จะตอบสนองลักษณะรูปร่างของปัญหา ส่วนขั้นตอนที่ 2 และ 3 นั้นตอบสนองสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้น ขั้นตอนที่ 5 นี้เองจะทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สมบูร์ณสำหรับปัญหานั้นค่าต่างๆ ที่จุดต่อ สำหรับปัญหาทางปฏิบัติ ระบบสมการรวม (2.8) นี้จะประกอบด้วยสมการแบบไม่เชิงเส้นเป็นจำนวนมาก และจะเป็นส่วนที่ใช้เวลาในการคำนวณรวมทั้งปริมาณหน่วยความจำเป็นจำนวนมากเช่นกัน

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากแก้ระบบสมการรวมและทราบค่าที่จุดต่อต่างๆ แล้ว ค่าอื่นๆ ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องจากค่าที่จุดต่อจึงสามารถคำนวณได้ เช่น ในการแก้ปัญหาของแข็ง ค่าที่คำนวณได้ที่จุดต่อคือค่าการเคลื่อนตัว (displacement) ของการเสียรูป ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหาความเครียด (strains) และความเค้น (stresses) อันจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบต่อไป หรือในการแก้ปัญหาการไหลความเร็วสูงแบบอัดตัวได้ผ่านยานอวกาศ ค่าที่คำนวณได้ที่จุดต่อประกอบด้วย เช่น ค่าของอุณหภูมิ ค่าของอุณหภูมินี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อน (aerodynamic heating) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบตัวยาน เป็นต้น

จากขั้นตอนทั้งหมดนี้ ขั้นตอนที่ 3 ที่เป็นการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของปัญหานั้น อาจจัดได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด ปัญหาต่างชนิดกันไป เช่น ปัญหาของแข็งและปัญหาของไหล จะมีสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่แตกต่างกันไป ในขณะที่ปัญหาทั้ง 2 ชนิดนี้ต่างดำเนินขั้นตอนอื่นๆ ในทำนองเดียวกัน เช่น การแบ่งพื้นที่โดเมนออกเป็นเอลิเมนต์ การเลือกรูปแบบของการประมาณภายในเอลิเมนต์ การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ย่อยขึ้นเป็นระบบสมการรวม การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต รวมไปถึงการแก้ระบบสมการรวม เหตุผลดังกล่าวนี้เองทำให้การศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงพุ่งความสนใจส่วนใหญ่ไปยังในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมแอนซิส

โปรแกรมแอนซิสเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งใช้สำหรับ การวิเคราะห์ ปัญหาทางด้านโครงสร้าง ความร้อน ของไหลและแม่เหล็กไฟฟ้า ฯลฯ นอกจากนี้ยังใช้วิเคราะห์ปัญหา คู่ควบที่เกิดจากสองสาขาความรู้ได้ เช่น thermal stress เป็นต้น

2.2.1 ขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมแอนซิส

แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนเตรียมการ (preprocessing) ได้แก่ การวาดรูป หรือ การสร้างแบบจำลอง กำหนดชนิดของเอลิเมนต์ การกำหนดจุดต่อ และ การสร้างเอลิเมนต์

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณ (solution) ได้แก่ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและโหลดที่กระทำกับแบบจำลอง และการคำนวณหาคำตอบที่จุดต่อต่างๆ

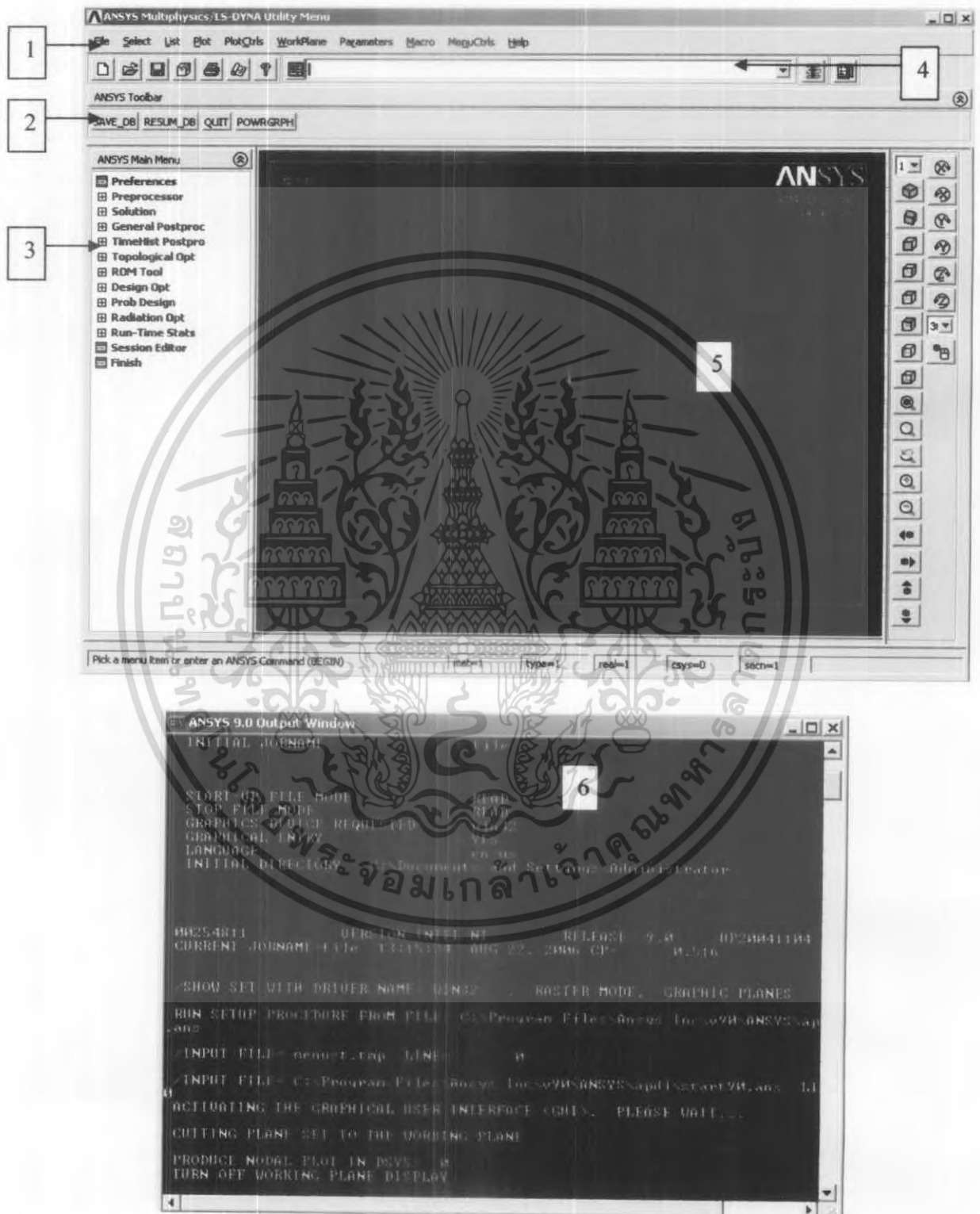
ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการแสดงผล (postprocessor) เป็นการแสดงผลของการคำนวณจากโปรแกรม

2.2.2 วิธีการใช้งานโปรแกรมแอนซิส

หน้าจอของโปรแกรมแอนซิสประกอบไปด้วย

- | | | |
|---|-----------------|--|
| 1 | Utility menu | ประกอบด้วยคำสั่งหลักที่ใช้ในการทำงาน คือ File, Select, List, Plot, PlotCtrls ,Workplane ,Parameters ,Macro ,MenuCtrls และ Help |
| 2 | Toolbar | ประกอบด้วยปุ่มกด (push bottoms) ที่เป็นคำสั่งเบื้องต้นที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งเราสามารถที่จะเพิ่มปุ่มเหล่านั้นได้เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน |
| 3 | Main menu | ประกอบด้วยคำสั่งขั้นต้น ซึ่งประกอบด้วย Preprocessor, Solution, General postprocessor และอื่นๆ |
| 4 | Input window | เป็นส่วนที่ใช้ในการพิมพ์คำสั่งเข้าไปได้โดยตรง ซึ่งคำสั่งที่เคยใช้งานไปแล้วจะปรากฏอยู่ในส่วนนี้ด้วยเช่นกัน |
| 5 | Graphics window | เป็นส่วนที่แสดงผลภาพต่างๆ ที่ทำการสร้างขึ้นหรือจำลอง |
| 6 | Output window | เป็นส่วนที่แสดงผลโปรแกรม โดยเป็นส่วนที่อยู่ด้านหลังสุดซึ่งเมื่อต้องการใช้งานสามารถดึงมาไว้ด้านหน้าได้ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 หน้าจอของโปรแกรมแอนซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แผ่นระบายความร้อน

2.3.1 ประเภทของแผ่นระบายความร้อน

แผ่นระบายความร้อน หรือ ฮีตซิงค์ (heat sink) สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆได้ 4 ชนิด แต่ละชนิดมีรูปร่างและเหมาะสำหรับงานแต่ละประเภทดังนี้

1. แผ่นระบายความร้อนแบบกลมเป็นแผ่นแบน (Round Heat Sink) มีรูปร่างดังรูปที่ 2.5 ส่วนใหญ่ใช้กับทรานซิสเตอร์ที่มีตัวถังแบบ TO-5, TO-92 ใช้กับกำลังงานความร้อนขนาด 1-10 วัตต์



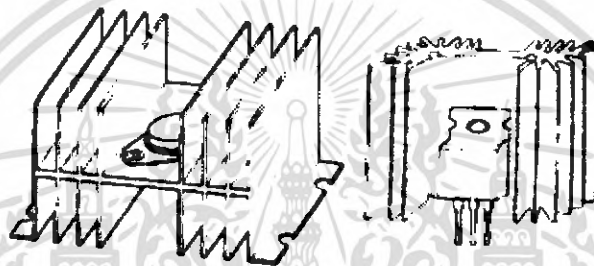
รูปที่ 2.5 แผ่นระบายความร้อนแบบกลมเป็นแผ่นแบน

2. แผ่นระบายความร้อนแบบกลมมีครีบริบหลาย ๆ ชั้น (Multifin Omnidirectional Heat Sink) มีรูปร่างดังรูปที่ 2.6 งานส่วนใหญ่ใช้กับทรานซิสเตอร์ซึ่งมีตัวถังแบบ TO-5, TO-92 หรือไอซีรวมทั้งไอซีแบบเกตอะเรย์ (gate array IC) ที่ต้องการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็ว ใช้กับกำลังงานความร้อนขนาด 3-10 วัตต์



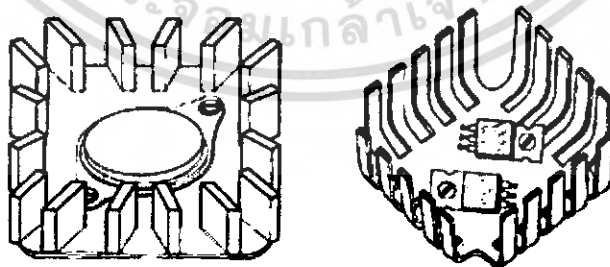
รูปที่ 2.6 แผ่นระบายความร้อนแบบกลมมีครีบริบระบายความร้อนหลายชั้น

3. **แผ่นระบายความร้อนแบบฉุดเป็นเส้น (Extrude Heat Sink)** เป็นแบบที่เห็นกันมากที่สุดในเมืองไทย รูปร่างดังรูปที่ 2.7 ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องขยายเสียงหรือเครื่องจ่ายไฟ โดยใช้เป็นตัวระบายความร้อน ให้ทรานซิสเตอร์กำลังหรือมอสเฟตกำลัง (power MOSFET) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการระบายความร้อน สูงมาก



รูปที่ 2.7 แผ่นระบายความร้อนแบบฉุดเป็นเส้น

4. **แผ่นระบายความร้อนแบบหนาม (Pin-Fin Heat Sink)** ส่วนใหญ่ได้มาจากการหล่อแบบมีลักษณะ รูปร่างดังรูปที่ 2.8 มีประสิทธิภาพสูงมากส่วนใหญ่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น SCR, ไตรแอด, ไดโอดเรียงกระแสขนาดกำลัง (power rectifier diode) ขนาดหลายสิบบถึงหลายร้อยแอมป์ มีขนาดใหญ่และราคาแพงที่สุด



รูปที่ 2.8 แผ่นระบายความร้อนแบบหนาม

2.3.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Heat Transfer by Conduction)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการนำความร้อนเป็นกลไกการแลกเปลี่ยนพลังงานภายใน จากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง หรือจากส่วนหนึ่งของวัตถุไปยังส่วนอื่นๆ ของวัตถุโดยการแลกเปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลที่อยู่ติดกัน หรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการนำนั้นความร้อนจะไหลจากโมเลกุลของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่วัตถุนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นได้ดีในวัสดุที่เป็นของแข็ง ส่วนวัสดุที่เป็นของเหลวหรือแก๊สจะมีการนำความร้อนเกิดขึ้นเช่นเดียวกับการพาความร้อน การแก้ปัญหาชนิดนี้จะมีความยุ่งยากมากกว่าการแก้ปัญหาที่มีการนำความร้อนอย่างเดียว ตัวอย่างของการนำความร้อน ได้แก่ แท่งโลหะที่ถูกเผาให้ร้อนที่ปลายข้างหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปที่ปลายอีกข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นเพราะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือ เมื่อเอาช้อนกาแฟจุ่มลงในถ้วยกาแฟที่ร้อน ตอนแรกช้อนกาแฟทางด้านมือจับจะเย็นแต่เมื่อเวลาผ่านไปช้อนกาแฟทางด้านมือจับจะร้อนขึ้นเพราะได้มีการนำความร้อนจากปลายทางด้านดักไปสู่ทางด้านมือจับ

กฎเบื้องต้นที่ใช้อธิบายวิธีการนำความร้อนคือ กฎของ Fourier ซึ่งกล่าวว่าอัตราการไหลของความร้อนโดยการนำในทิศทางที่กำหนด (เช่นทิศทาง n) จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับระยะทาง dT/dn , พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน A ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำในทิศทาง n คือ

$$Q_n = -kA \frac{dT}{dn} \quad 2.9$$

เมื่อ Q_n คือ อัตราการไหลของความร้อนในทิศทาง n บวก หน่วยคือ W

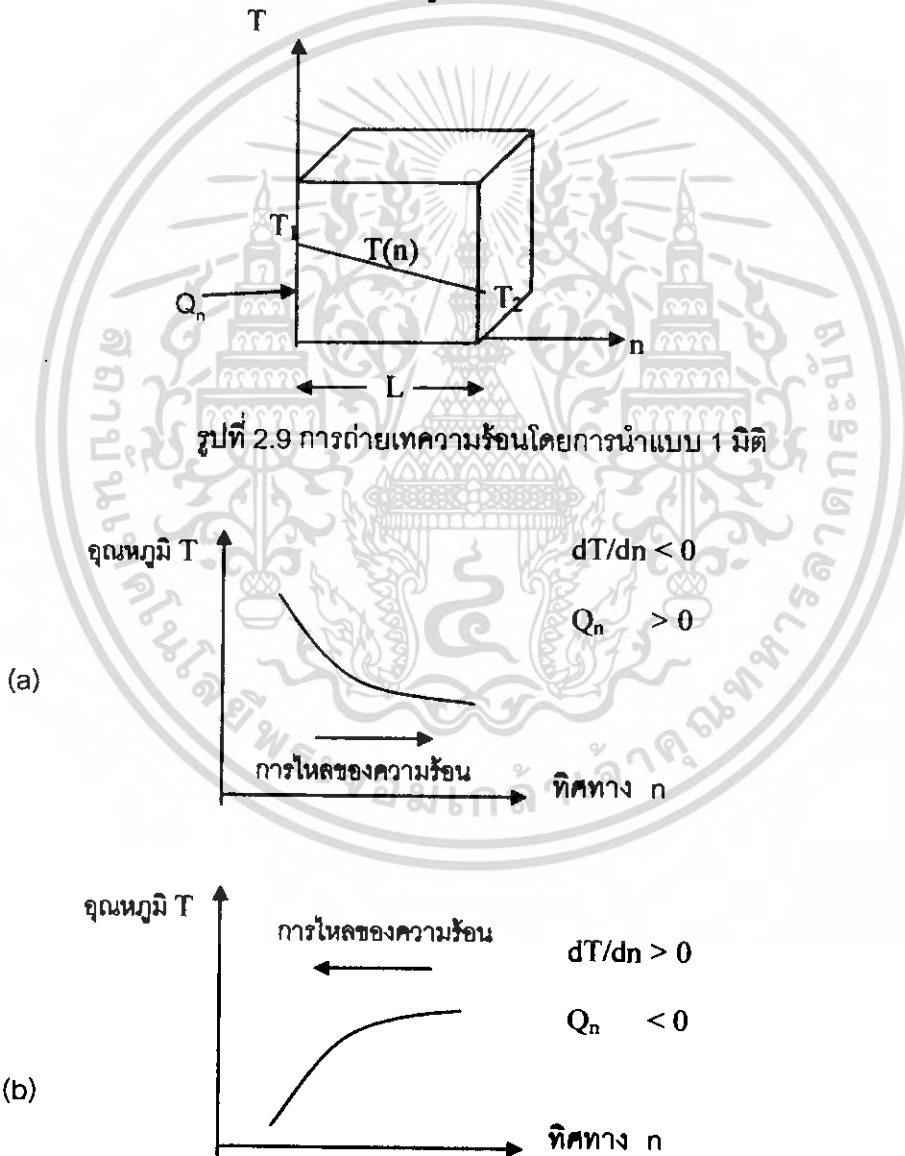
A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทาง n หน่วยคือ m^2

$\frac{dT}{dn} = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta n}$ เป็นเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางการไหลของความร้อน หน่วยคือ K/m

k คือ สภาพนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นคุณสมบัติของสสาร หน่วยคือ $W/(mK)$

เครื่องหมายลบในสมการ (2.9) แสดงว่า

- (1) ถ้าอุณหภูมิลดลงในทิศทาง n บวก, (dT/dn) จะเป็นลบ และ Q_n จะมีค่าเป็นบวกเพราะว่าสมการมีเครื่องหมายลบ ดังนั้นการไหลของความร้อนจะไปในทิศทาง n บวก ดังรูป 2.10(a)
- (2) ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทิศทาง n บวก, (dT/dn) จะเป็นบวก และ Q_n จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นการไหลของความร้อนจะไปในทิศทาง n ลบ ดังรูป 2.10(b)



รูปที่ 2.10 เครื่องหมายแสดงทิศทางการไหลของความร้อนในกฎของ Fourier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Heat Transfer by Convection)

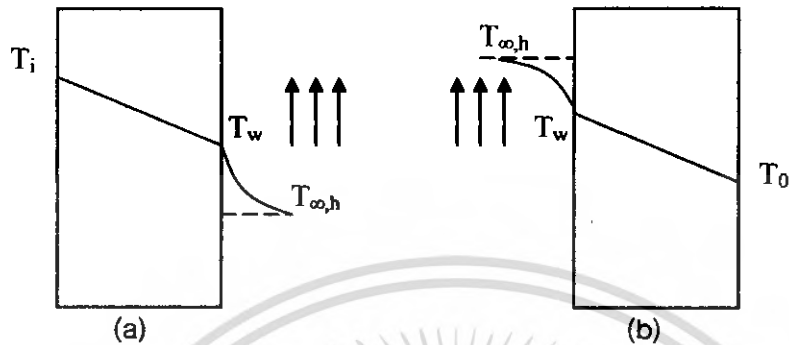
การพาความร้อนเป็นคำศัพท์ที่ใช้กับกลไกของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลโดยการผสมกันระหว่างส่วนหนึ่งของของไหลกับส่วนอื่นๆ ของของไหล อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล กระบวนการที่แท้จริงของการถ่ายเทพลังงานจากโมเลกุลของของไหลหนึ่งไปยังโมเลกุลอื่นๆ ยังคงเป็นการนำความร้อน พลังงานอาจเคลื่อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆ ได้โดยการเคลื่อนที่ของของไหลเอง

การเคลื่อนที่ของของไหลอาจเกิดจากเครื่องมือกลภายนอก เช่น พัดลม บั๊ม ดังนั้นกระบวนการพาความร้อนโดยอาศัยพัดลม หรือบั๊มจึงมีชื่อว่า กระบวนการพาความร้อนโดยอาศัยเครื่องมือกล (forced convection) ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของของไหลอันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่มีอยู่ในมวลของของไหล กระบวนการพาความร้อนแบบนี้จะเรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระ หรือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (free convection or natural convection) การไหลวนของน้ำในกระทะที่ถูกเผาให้ร้อนบนเตาไฟเป็นตัวอย่างของการพาความร้อนแบบอิสระ

กระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยการพาอาจอธิบายโดยทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้กฎการนำความร้อนเบื้องต้นและกฎการเคลื่อนที่ของของไหลพร้อมๆ กัน การวิเคราะห์ระบบสมการอนุพันธ์ของปัญหาการพาความร้อนโดยทางคณิตศาสตร์นับเป็นวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ที่ซับซ้อนมาก ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาการพาความร้อนทางด้านวิศวกรรมที่ถูกต้องควรจะใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ตีๆพร้อมกับการใช้ความสังเกตและความชำนาญช่วย

การที่จะคาดคะเนอัตราที่ซึ่งความร้อนถูกพาออกจากผิวของวัตถุหรือพาจากของไหลเข้าสู่ผนังของวัตถุโดยของไหลที่อยู่รอบๆ วัตถุนั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยากมาก จึงมีการรวมหลักการเรื่องการนำความร้อน พลศาสตร์ของไหล และทฤษฎีของชั้นบาง มารวมเป็นพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวโดยนิเวศน์ ดังนี้

76651



รูปที่ 2.11 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (a) $T_w > T_\infty$ และ (b) $T_\infty > T_w$

$$Q = hA(T_w - T_\infty) \quad \text{ความร้อนไหลออกจากผนังของวัตถุไปสู่ของไหล} \quad 2.10 \text{ (a)}$$

$$Q = hA(T_\infty - T_w) \quad \text{ความร้อนไหลออกจากของไหลไปสู่ผนังของวัตถุ} \quad 2.10 \text{ (b)}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของความร้อน หน่วยคือ W

h คือ ค่าคงที่ หน่วยคือ $W/(m^2K)$

A คือ พื้นที่ หน่วยคือ m^2

T คือ อุณหภูมิ หน่วยคือ $^{\circ}C$

สมการ (2.10) นี้มีชื่อว่ากฎการเย็นตัวของนิวตัน h มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) สัมประสิทธิ์ฟิล์ม (film coefficient) ในการหาค่า h สำหรับปัญหาการพาความร้อนเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมากเพราะค่า h ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

รูปแบบของการไหล (เช่น ไหลแบบลามินาร์ เทอร์บิวเลนต์ หรือทรานซิชัน) รูปทรงเรขาคณิตของวัตถุ คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล ความแตกต่างของอุณหภูมิ ตำแหน่งตามผิวของวัตถุ กลไกของการพาความร้อน (เช่น การพาแบบอิสระ การพาแบบบังคับ)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีในการดำเนินงานวิจัยซึ่งคือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรมแอนซิส ซึ่งแบ่งเป็น การศึกษาแผ่นระบายความร้อน และ การศึกษาการใช้งานโปรแกรมแอนซิส

3.1 แผ่นระบายความร้อน

รูปร่างของแผ่นระบายความร้อนนั้นมีหลายรูปแบบ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมแอนซิสในบทนี้ จึงขอหยิบยกเพียงแบบเดียวมากล่าว คือ แผ่นระบายความร้อนแบบฉีดยึดเป็นเส้น โดยจะนำมาเปรียบเทียบกัน 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผ่นระบายความร้อน 3 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การใช้งานโปรแกรมแอนซิส

การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมแอนซิสนั้นประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. Build Geometry
2. Define Materials
3. Generate Mesh
4. Apply Loads
5. Obtain Solution
6. Review Results

ซึ่งมีรายละเอียด คือ

ขั้นตอนที่ 1 Build Geometry คือ การสร้างรูปทรงเรขาคณิต ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ทำการจำลองแผ่นระบายความร้อนแบบฉัดเป็นเส้น แบ่งออกเป็นขั้นตอน คือ

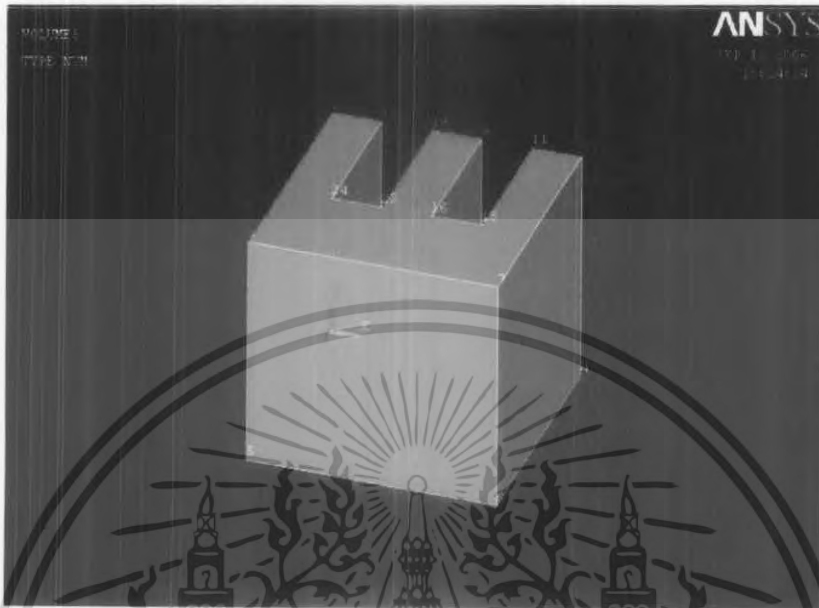
- การสร้างรูปทรง โดยใช้คำสั่ง main menu > preprocessor > modeling > create > volumes > block > by dimension
- ใส่ค่าพิกัดที่ต้องการ แล้วกด OK
- จะได้รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ดังรูปที่ 3.2
- ทำการใส่ค่า keypoint โดยใช้คำสั่ง utility menu > plot ctrls > numbering > turn on area numbers > OK
- ทำการบันทึกชิ้นงานที่สร้างขึ้นมา โดยไปที่ toolbar แล้วกด SAVE_DB
- การสร้างครีบ โดยใช้คำสั่งเหมือนกับการสร้างรูปทรงเพียงแต่เปลี่ยนค่าพิกัดที่ต้องการ
- อาจทำการเปลี่ยนจากรูปทรงที่มีปริมาตรเป็นเพียงเส้นที่บอกรูปร่าง โดยใช้คำสั่ง utility menu > plot > lines จะได้ดังรูปที่ 3.3
- ทำการลบปริมาตรในส่วนที่ไม่ต้องการ โดยใช้คำสั่ง main menu > preprocessor > modeling > operate > booleans > subtract > volumes ดังรูปที่ 3.4
- โดยทำการเลือกปริมาตรทั้งหมด แล้วกด apply
- แล้วเลือกส่วนที่ต้องการจะลบ แล้วกด OK
- ทำการบันทึกชิ้นงานที่สร้างขึ้นมา โดยไปที่ toolbar แล้วกด SAVE_DB



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างรูปทรงลูกบาศก์โดยการกำหนดพิกัด

รูปที่ 3.3 การสร้างครีบของแผ่นระบายความร้อน

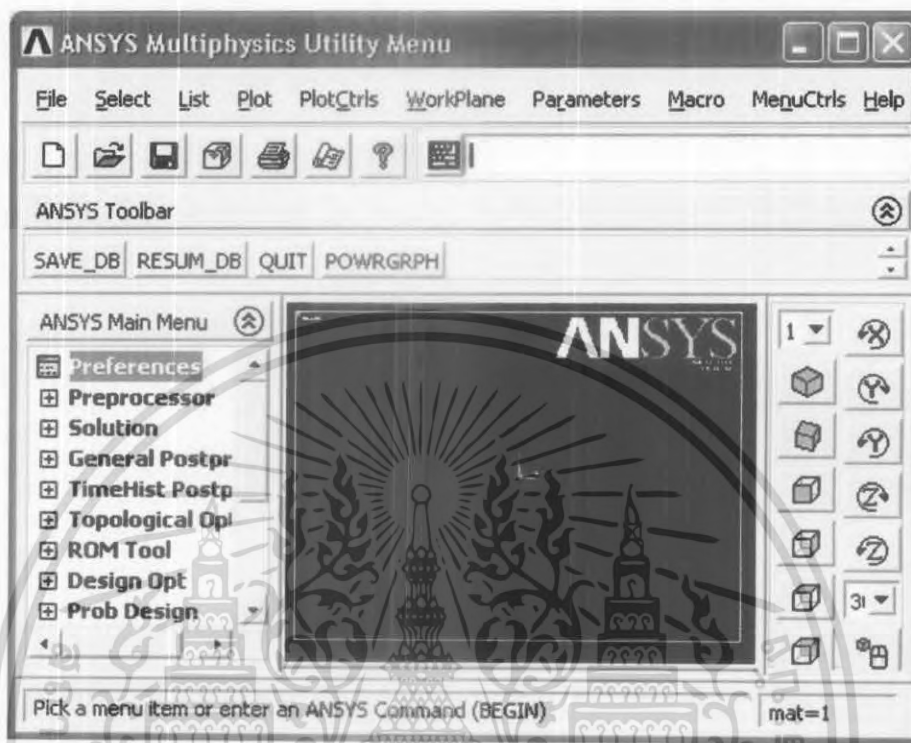
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ปริมาตรเมื่อทำการลบส่วนที่ไม่ต้องการออกไป

ขั้นตอนที่ 2 Define Materials คือ การกำหนดลักษณะของวัสดุที่จะนำมาใช้ในแบบจำลอง แบ่งออกเป็นขั้นตอน คือ

- set preference เป็นการกำหนดรูปแบบของวัสดุว่าเป็นการคำนวณแบบชนิดใด เมื่อทำการเลือกแล้วกด OK ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 การเข้าคำสั่ง preference

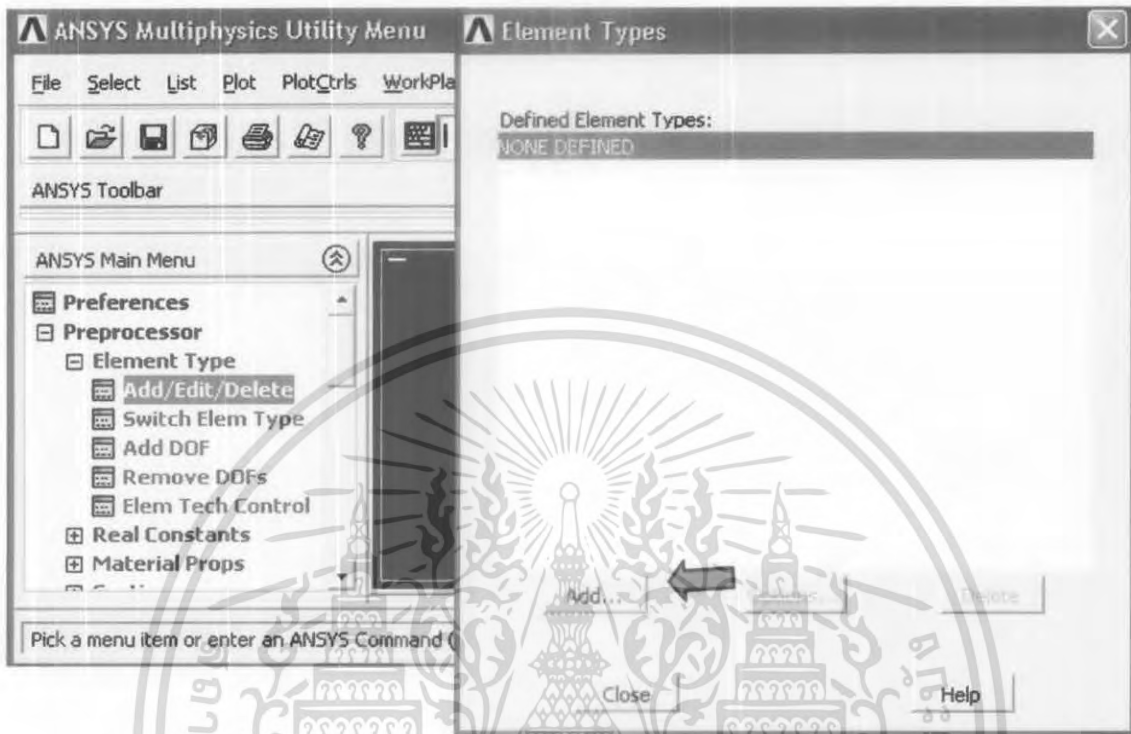
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การ set preference

- ต่อมาคือการกำหนดชนิดของ element ใช้ในการจำลอง โดยเป็นการเลือกลักษณะรูปร่างของ element ว่าเป็นรูปแบบใด เช่น เส้นตรง ลูกบาศก์ เป็นต้น ทำโดยใช้คำสั่ง main menu > preprocessor > element type>add/edit/delete
- คลิก add/edit/delete ซึ่งจะเป็นการกำหนดชนิดของ element โดยทำการคลิกคำสั่ง add ดังรูปที่ 3.7 แล้วทำการเลือกชนิด ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การตั้งค่า add/edit/delete



รูปที่ 3.8 การเลือกชนิดของ element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การกำหนดหน่วยของอุณหภูมิ ทำโดยเข้าไปที่คำสั่ง main menu> preprocessor> material props> temperature units แล้วเลือก Celsius แล้วคลิก OK ดังรูปที่ 3.9

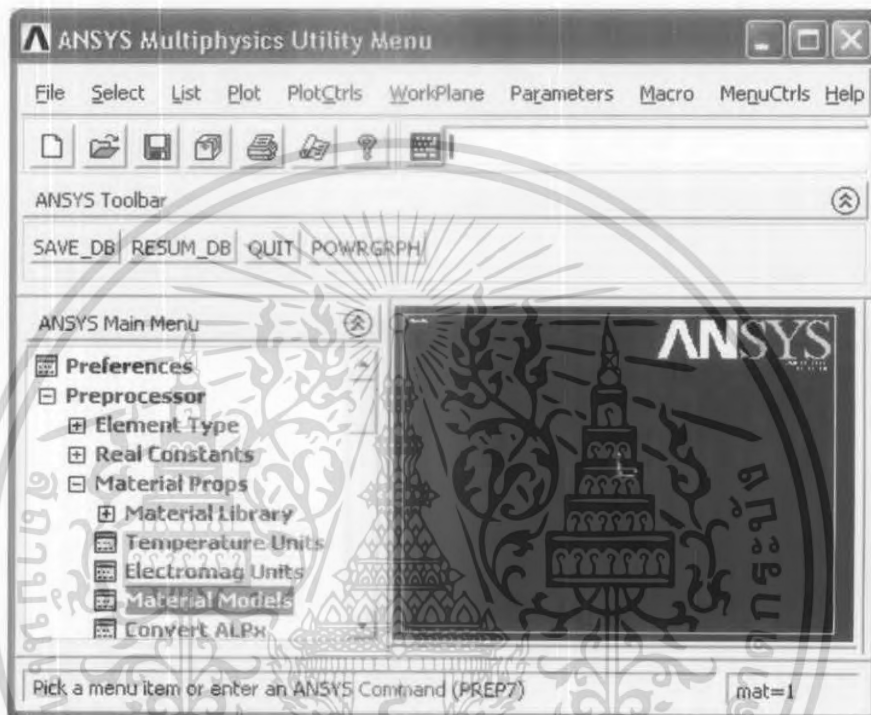


รูปที่ 3.9 การกำหนดหน่วยของอุณหภูมิ

- การกำหนดลักษณะสมบัติของวัสดุ เช่น ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น หรือความหนาแน่น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างทางเรขาคณิต โดยเข้าไปที่คำสั่ง main menu> preprocessor> material props> material models ดังรูปที่ 3.10 โดยในการจำลองครั้งนี้ จะทำการเลือกดังรูปที่ 3.11 ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.12 เพื่อใส่ค่า EX ซึ่งคือ

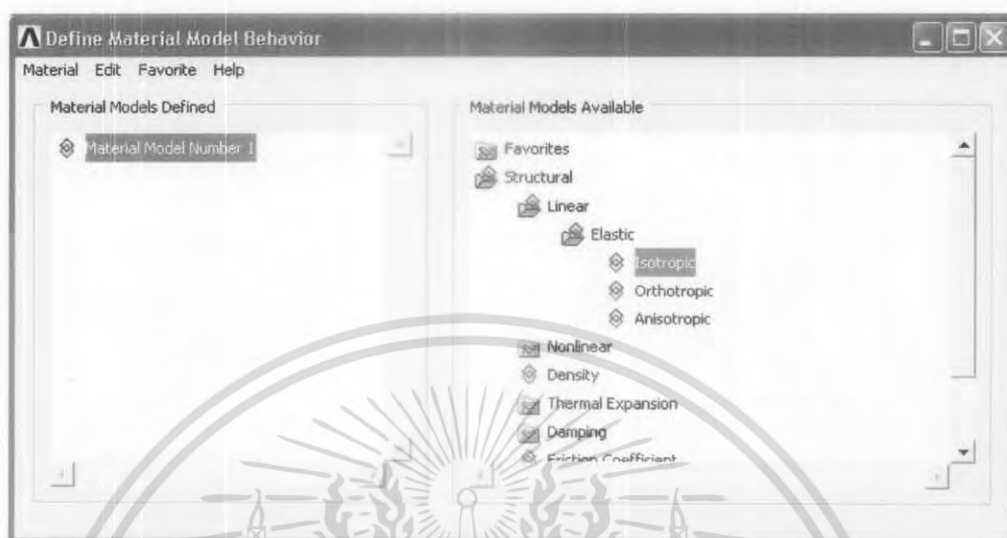
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า young's modulus โดยอลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 70 N/m^2 และ PRXY ซึ่งคือ
ค่า poison's ratio โดยอลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 0.33



รูปที่ 3.10 การเข้าค่าสำหรับ material models

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



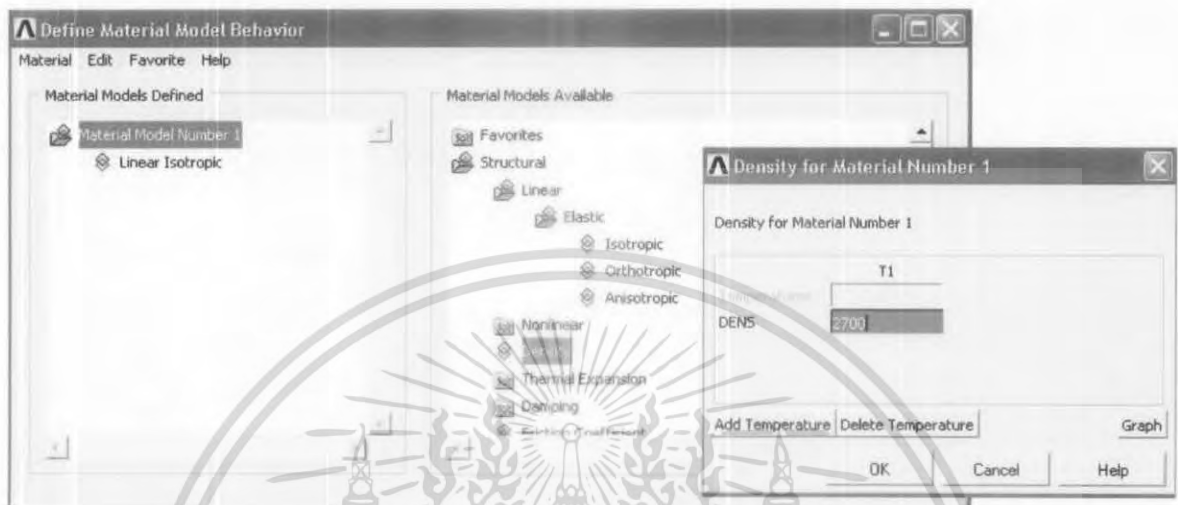
รูปที่ 3.11 การกำหนดลักษณะสมบัติของวัสดุ



รูปที่ 3.12 การกำหนดเงื่อนไขของวัสดุ

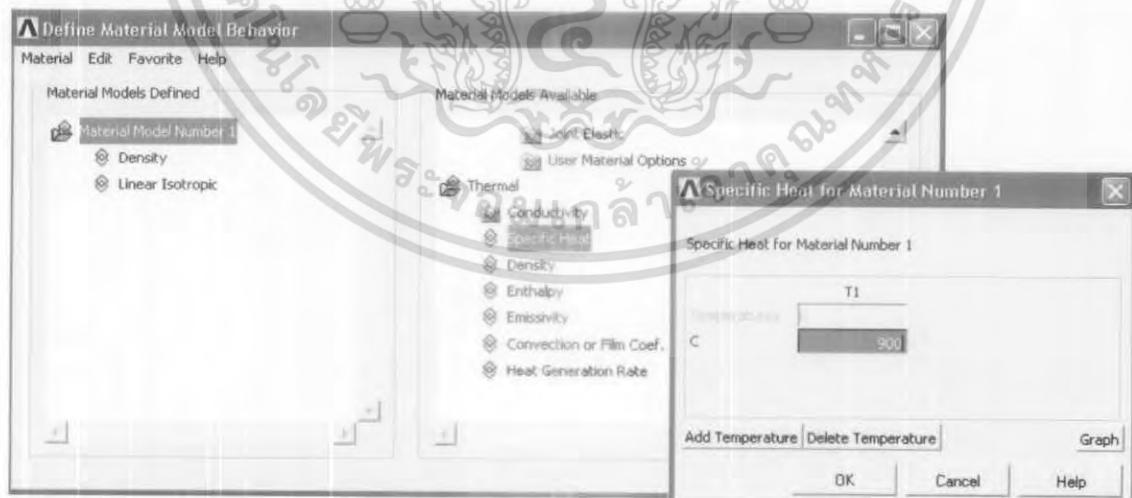
- แล้วทำการใส่ค่าความหนาแน่นของวัสดุ ดังรูปที่ 3.13 โดยที่อลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 2700 kg/m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การกำหนดความหนาแน่นของวัสดุ

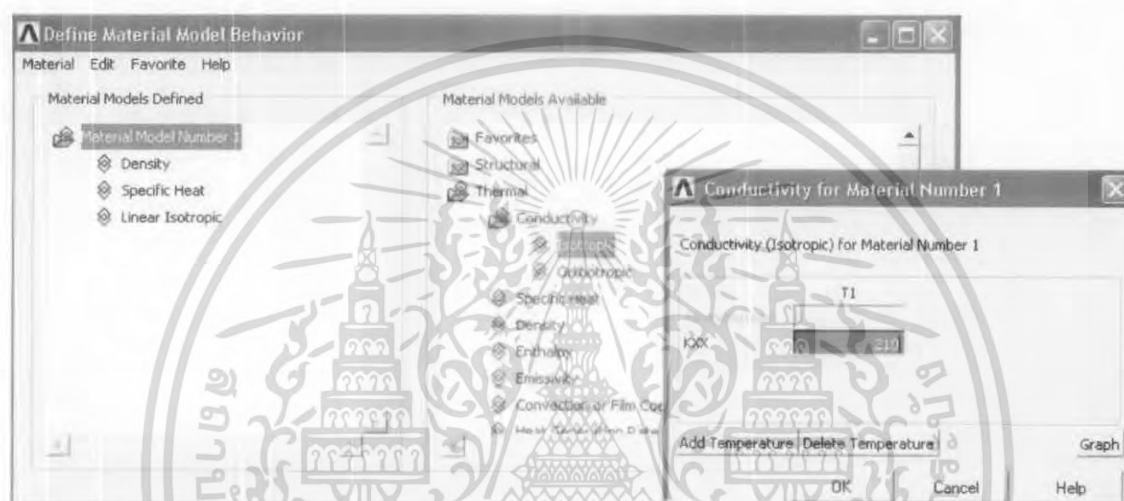
- แล้วทำการกำหนดค่าความจุความร้อนของวัสดุ ดังรูปที่ 3.14 โดยที่อุณหภูมิเริ่ม มีค่าเท่ากับ $0.9 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 3.14 การกำหนดค่าความจุความร้อนของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แล้วทำการกำหนดค่า KXX ซึ่งคือ ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) ของวัสดุ ซึ่งในการจำลองครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับแผ่นระบายความร้อน โดยอลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 205-237 W/m K ดังรูปที่ 3.15

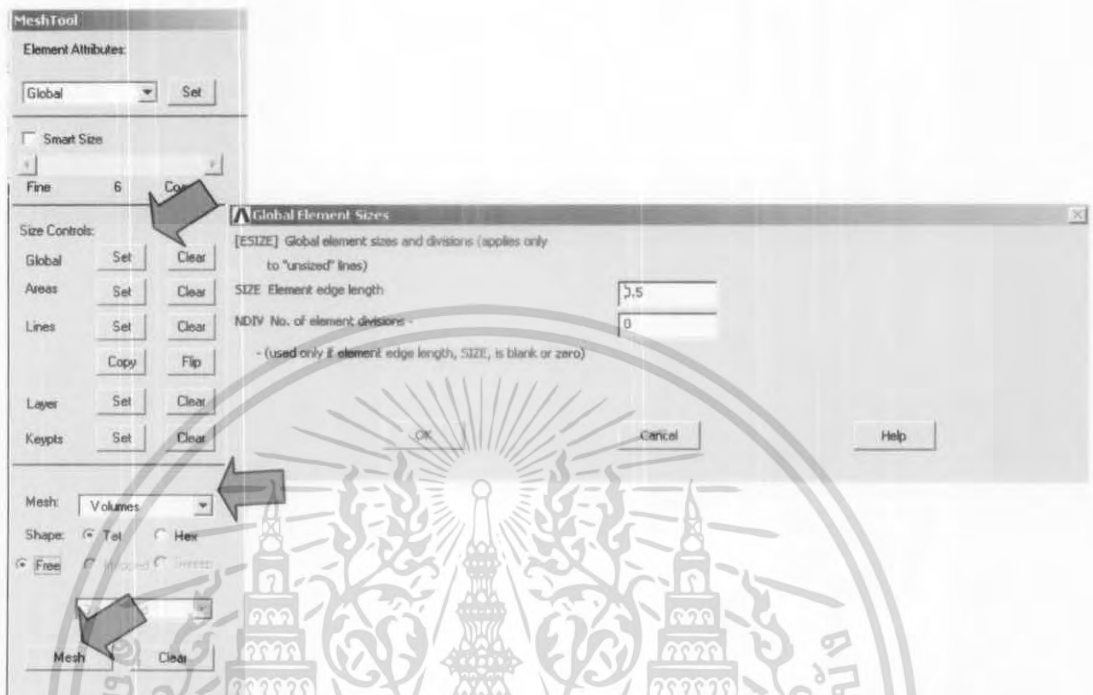


รูปที่ 3.15 การกำหนดค่าการนำความร้อนของวัสดุ

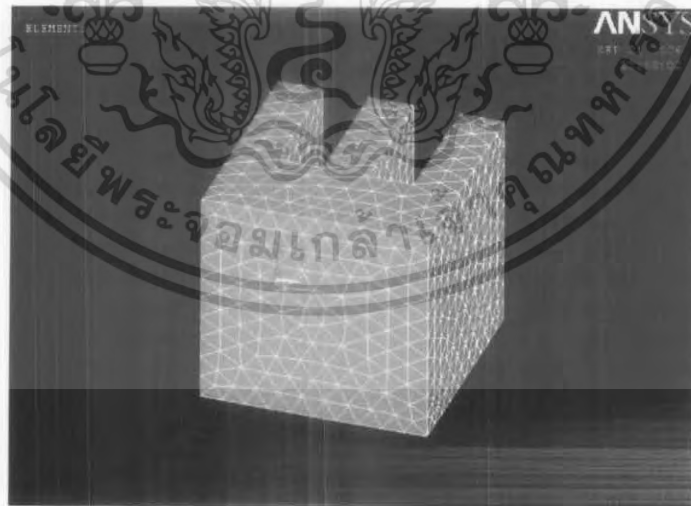
ขั้นตอนที่ 3 Generate Mesh คือการตีตาข่ายในการแบบจำลองโดยสามารถกำหนดขนาดของตาข่ายได้ มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.16 คือ

- ใช้คำสั่ง main menu > preprocessor > meshing > mesh tool
- แล้วทำการกำหนดขนาด โดยคลิกปุ่ม set ที่ global แล้วทำการใส่ขนาดที่ต้องการลงไป ในช่อง size element เสร็จแล้วคลิก OK
- ที่ช่องของ mesh ให้เลือกว่า volumes (ในกรณีนี้จะทำการศึกษาเป็นปริมาตร)
- แล้วคลิก mesh เพื่อทำการเลือกปริมาตรที่ต้องการตีตาข่าย ซึ่งเมื่อเสร็จแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.17
- ทำการบันทึกชิ้นงานที่สร้างขึ้นมา โดยไปที่ toolbar แล้วกด SAVE_DB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



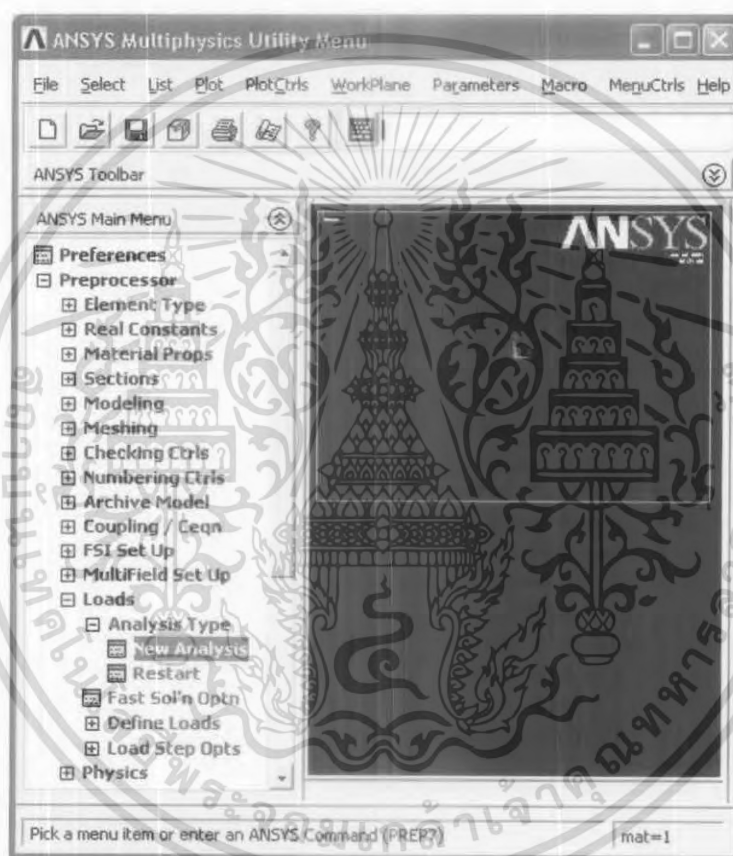
รูปที่ 3.16 กำหนดขนาด mesh



รูปที่ 3.17 ปริมาตรเมื่อทำการตีตาข่ายสมบูรณ์

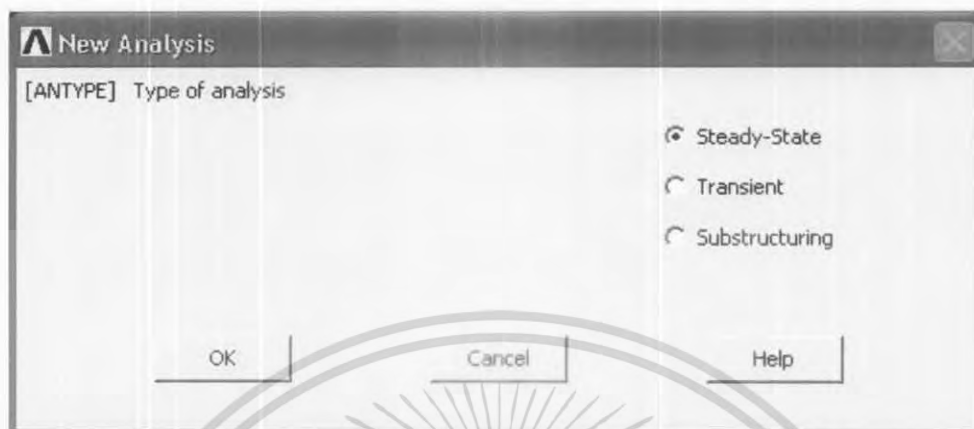
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 Apply Loads เป็นขั้นตอนแรกของการคำนวณ (solution) ซึ่งคือ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและโหลดที่กระทำกับแบบจำลอง โดยใช้คำสั่ง main menu > preprocessor > loads > analysis type > new analysis > steady-state ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19



รูปที่ 3.18 การเข้าคำสั่ง new analysis

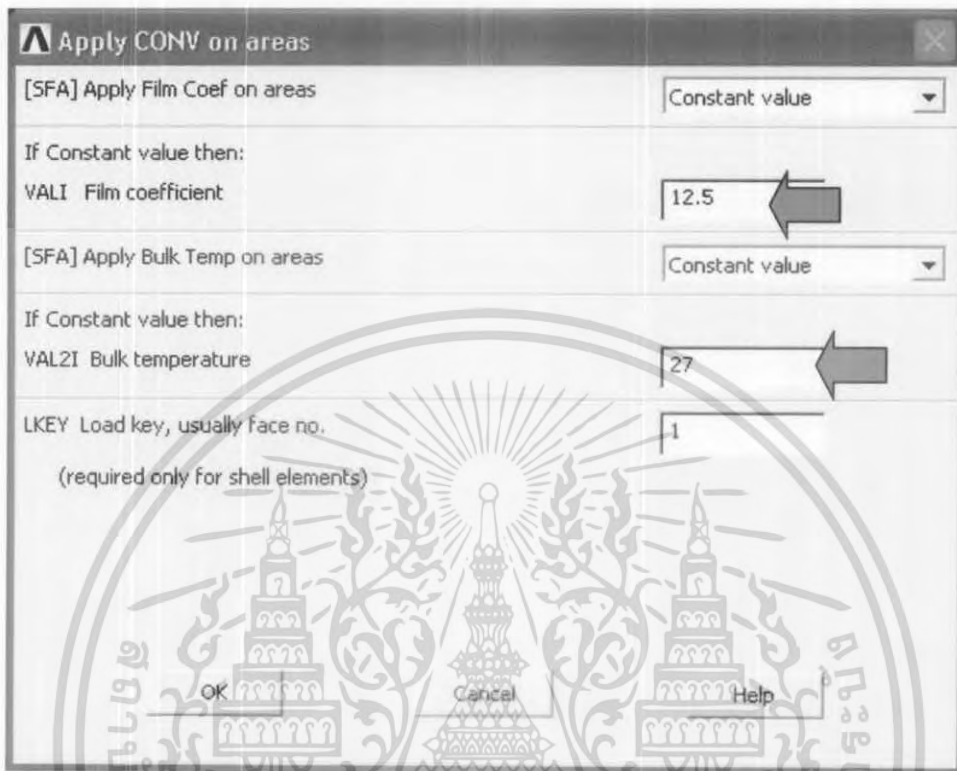
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การกำหนดชนิดของการวิเคราะห์

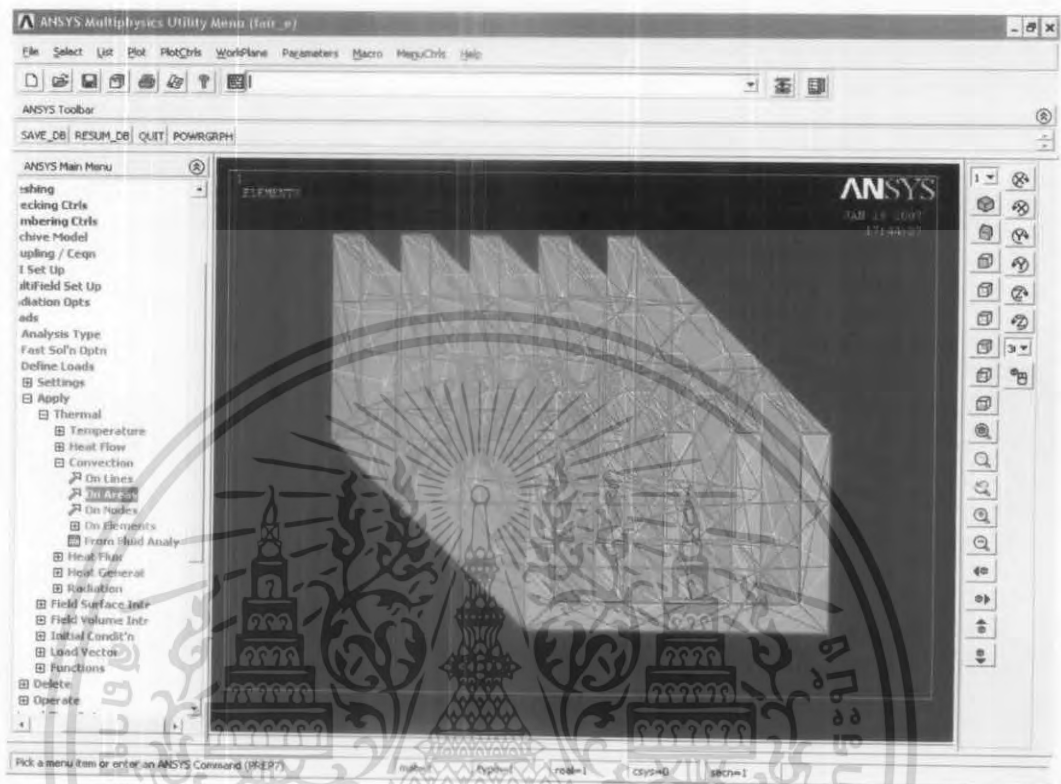
- ขั้นตอนต่อมา คือการใส่โหลด ซึ่งในเงื่อนไขนี้ คือ ความร้อน ทำโดยใช้คำสั่ง main menu > preprocessor > loads > define load > apply > thermal > convection > on areas ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.20 โดยจะทำการใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (film coefficient) และ อุณหภูมิที่สัมผัส (bulk temperature) โดยค่าอุณหภูมิที่ใส่ในครั้งนี คืออุณหภูมิที่วัดตทุกส่วนของสัมผัส ดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และค่าอุณหภูมิที่สัมผัสวัสดุทั้งชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 การกำหนดการพาความร้อนทั้งทั้งชิ้นงาน

- แล้วทำการกำหนดค่าอีกครั้งหนึ่ง โดยครั้งนี้ค่าอุณหภูมิ คืออุณหภูมิที่ฐานซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับความร้อนจากวงจรถิเล็กทรอนิกส์โดยตรง ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Apply CONV on areas

[SFA] Apply Film Coef on areas Constant value ▾

If Constant value then:
 VALI Film coefficient

[SFA] Apply Bulk Temp on areas Constant value ▾

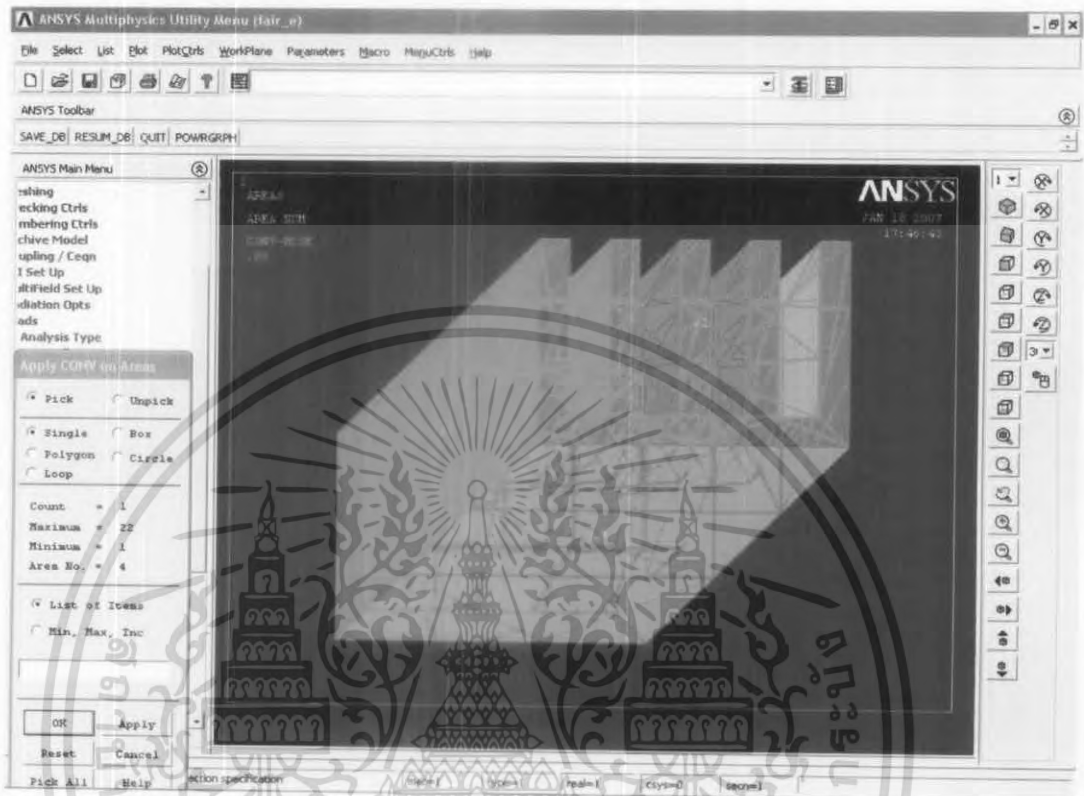
If Constant value then:
 VAL2I Bulk temperature

LKEY Load key, usually face no.
 (required only for shell elements)

OK Cancel Help

รูปที่ 3.22 การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และค่าอุณหภูมิที่สัมผัสพื้นฐาน

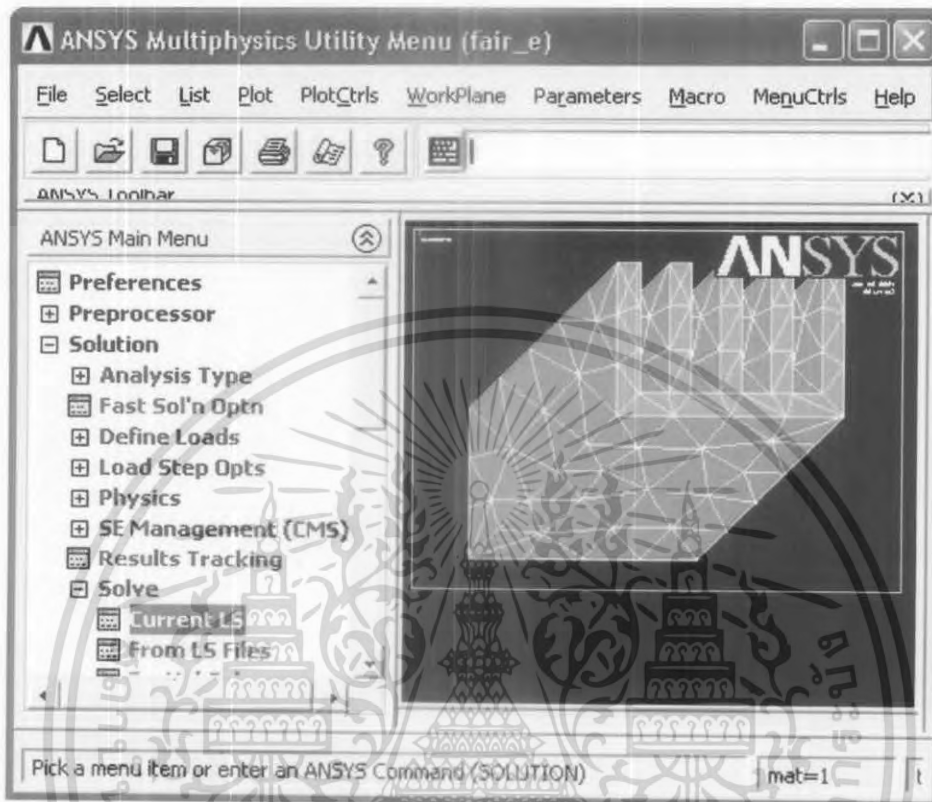
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



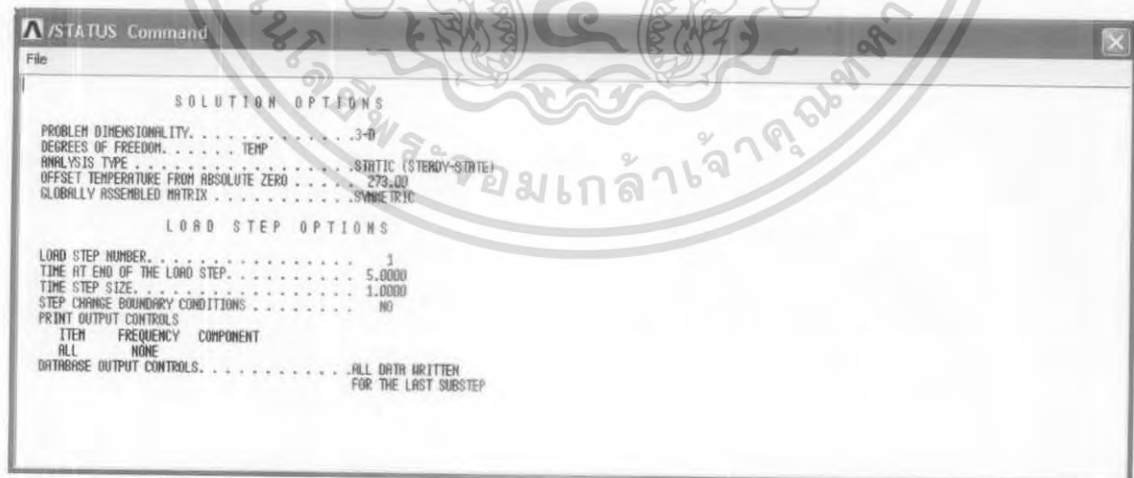
รูปที่ 3.23 การกำหนดการพาความร้อนพื้นฐาน

ขั้นตอนที่ 5 Obtain Solution คือ การแก้ปัญหาของแบบจำลอง ทำโดยใช้คำสั่ง main menu > solution > solve > current LS ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังรูป 3.25 แล้วทำการคลิก OK เพื่อเข้าสู่กระบวนการคำนวณ ดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

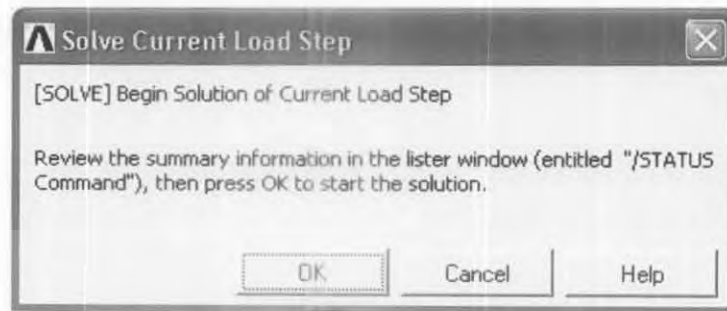


รูปที่ 3.24 การเข้าคำสั่ง solve



รูปที่ 3.25 ข้อมูลของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



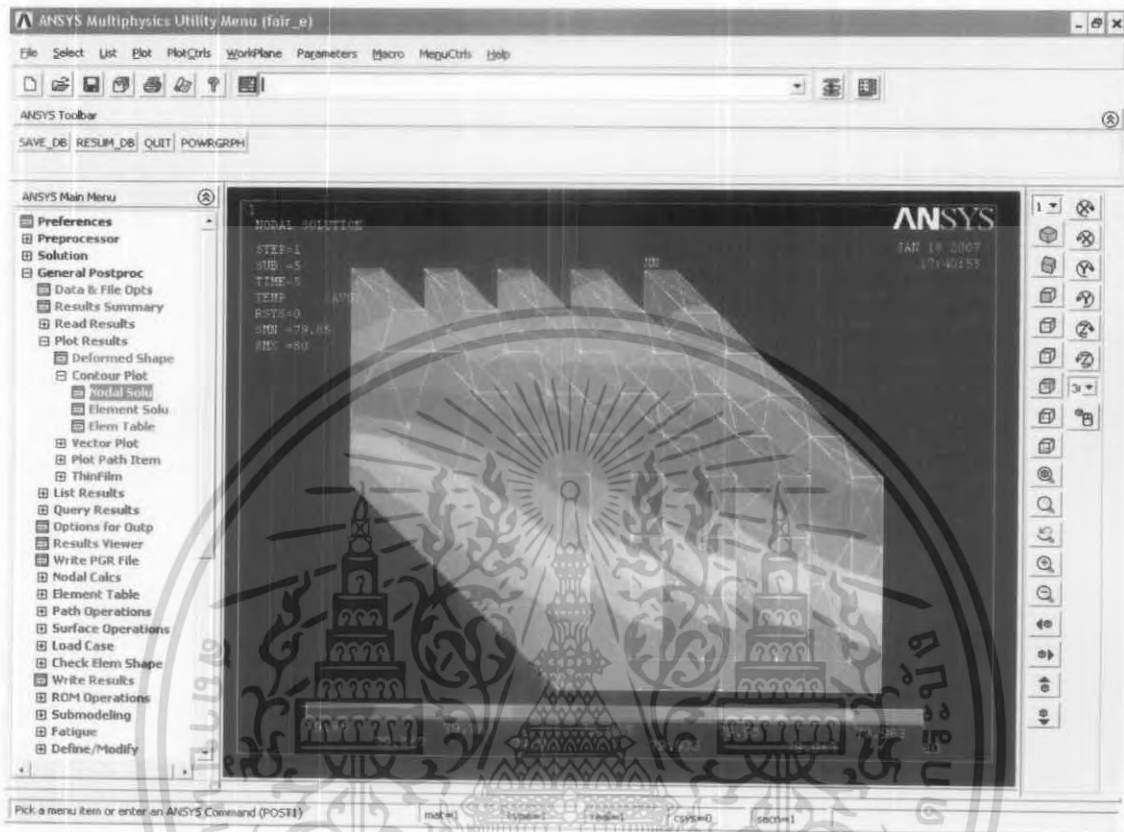
รูปที่ 3.26 หน้าต่างของการเข้าสู่กระบวนการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 6 Review Results คือ การแสดงรูปร่างของผลจากการคำนวณเมื่อใส่โหลดให้แก่แบบจำลอง โดยใช้คำสั่ง main menu > general postproc > plot results > contour plot > nodal solu > DOF solution > temperature จะได้ดังรูปที่ 3.27 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 การเข้าคำสั่งเพื่อแสดงรูปร่างจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ผลลัพธ์จากการคำนวณ

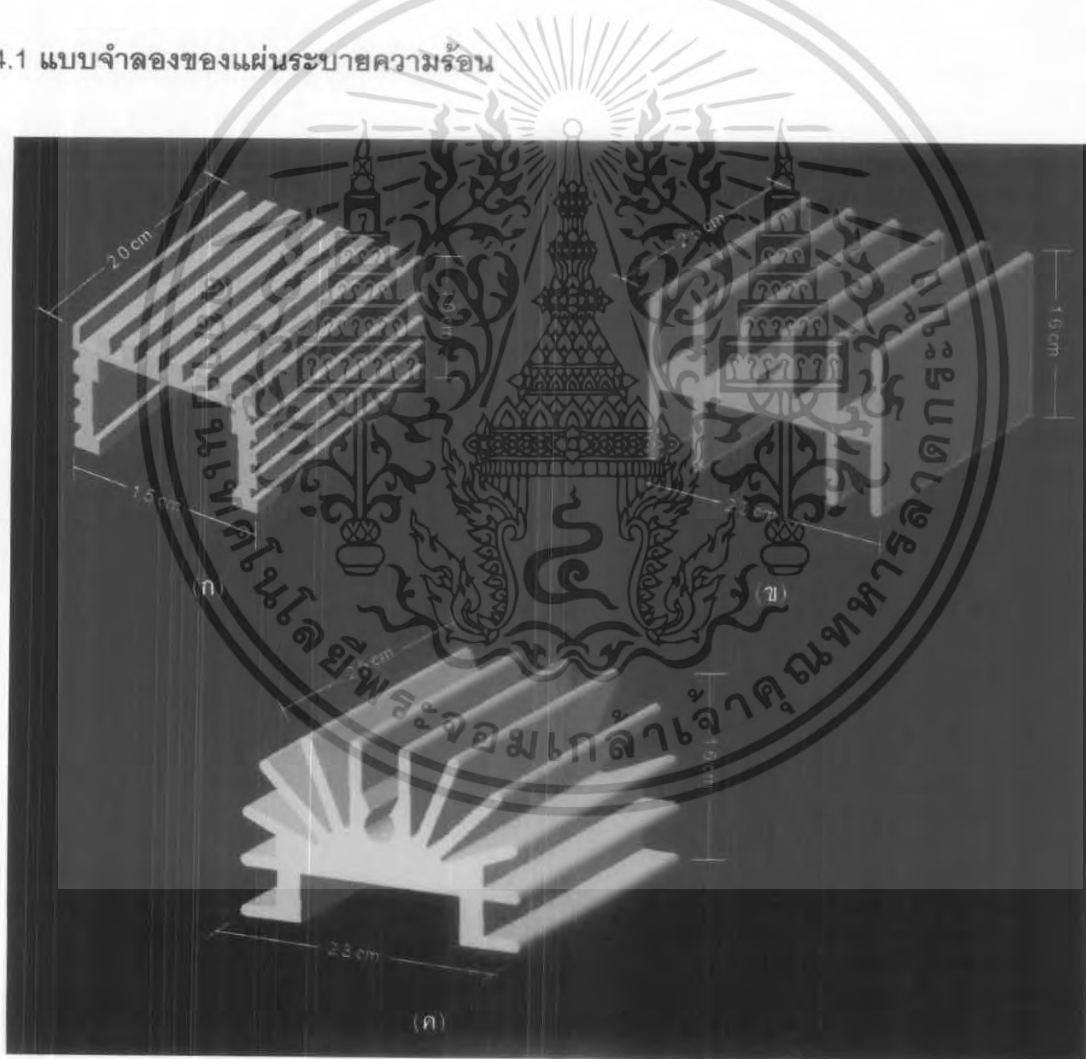
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองในโครงการพิเศษฉบับนี้ จะอธิบายถึงการกระจายความร้อนของแผ่นระบายความร้อน โดยใช้การเปรียบเทียบโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อน ซึ่งจะให้ผลออกมาในรูปแบบเชิงตัวเลข และรูปภาพกราฟฟิค โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 แบบจำลองของแผ่นระบายความร้อน



รูปที่ 4.1 แบบจำลองของแผ่นระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงแบบจำลองโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีขนาดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์

แบบจำลอง	ขนาด (cm.)					
	ความกว้าง	ความยาว	ความสูง	ความหนาของครีป	ระยะห่างระหว่างครีป	ความสูงเฉลี่ยของครีป
ก	1.50	2.00	1.00	1.00	0.10	0.15
ข	2.30	2.50	1.60	1.00	0.35	0.70
ค	2.30	2.50	1.60	1.00	0.25	0.70

4.2 ลักษณะของเงื่อนไข

ลักษณะของเงื่อนไขที่กระทำกับแผ่นระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ คือ ความร้อน โดยแบ่งเป็นการนำความร้อน (conduction) คือ จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปสู่แผ่นระบายความร้อน และการพาความร้อน (convection) จากแผ่นระบายความร้อนไปสู่อากาศ

โดยแผ่นระบายความร้อนนั้นเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้น เพื่อทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการส่งถ่ายความร้อนจากแหล่งกำเนิด ซึ่งมีพื้นผิวที่มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนน้อย ให้มีประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่สูงขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายความร้อนให้มากขึ้นนั้น อาจจะมาจากการเพิ่มพื้นที่การระบายความร้อน การปรับปรุงรูปร่างโครงสร้างหรือหลักการในการถ่ายเทความร้อน

สำหรับในโครงการพิเศษฉบับนี้จะทำการวิเคราะห์ในเรื่องของโครงสร้างที่แตกต่างกันของแผ่นระบายความร้อนที่ใช้งานรูปแบบเดียวกัน

4.3 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อน

การถ่ายเทความร้อนจากแผ่นระบายความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมนั้นจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว ซึ่งในที่นี้คือ ส่วนที่มีลักษณะเป็นครีบ

ครีบ คือ ส่วนที่ยื่นออกมาจากพื้นผิวปกติของวัตถุ โดยมีเจตนาเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการพาความร้อนออกจากวัตถุไปสู่ของไหลที่ล้อมรอบอยู่ ซึ่งในที่นี้ก็คืออากาศ ลักษณะของครีบอาจเป็นแนวยาวบนพื้นผิว (longitudinal) หรือเป็นเส้นรอบวงรอบทรงกระบอก (circumferential) เช่น ครีบรอบทรงกระบอก หรือเป็นแท่ง (pin หรือ spine) ยื่นออกมาจากพื้นผิวของวัตถุก็ได้ พื้นที่หน้าตัดของครีบซึ่งตัดด้วยระนาบที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุ เรียกว่า profile ของครีบ

ในการเลือกครีบ สิ่งสำคัญคือต้องการครีบที่จะให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ใช้วัสดุน้อยที่สุดตามข้อกำหนดของราคา น้ำหนัก และเนื้อที่ที่ใช้ ไม่กีดขวางการไหลของของไหล มีความแข็งแรงพอ และสามารถผลิตได้ง่าย แผ่นระบายความร้อนนั้นถ้ามีพื้นที่ครีบในการระบายความร้อนจำนวนมากก็จะระบายความร้อนได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นแผ่นระบายความร้อนที่ดีจะต้องมีความสามารถในการระบายความร้อนได้เร็ว

4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนมีดังนี้

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ประเภท
Preference	Structural Thermal
Problem Dimensionality	Thermal 3-D solid
Element Type	Solid 70
Temperature Unit	Celsius
Material Property	Young's Modulus (EX=70 N/m ²) Poisson's Ration (PRXY=0.33) Density (DENS=2700 kg/m ³) Specific Heat (C=0.9 J/g ^o C) Thermal Conductivity (KXX=210 W/m K)
Size Element edge length	0.08
Analysis Type	Steady-State
Load	Thermal - Convection - Film Coefficient (Film Coef = 12.5 W/m ² K) - Bulk Temperature (Bulk Temp = 27 ^o C, 70 ^o C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preference เป็นการกำหนดรูปแบบของวัสดุว่าเป็นการคำนวณแบบชนิดใด โดยในที่นี้ใช้แบบ

Structural คือ การวิเคราะห์โครงสร้าง

Thermal คือ การวิเคราะห์ความร้อน

Problem Dimensionality เป็นการกำหนดมิติของรูปในการจำลองปัญหา โดยในที่นี้ใช้แบบ

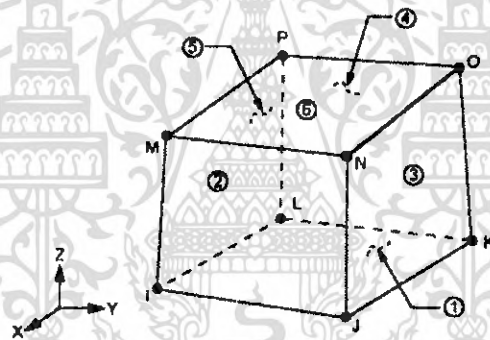
Thermal 3-D solid คือ วัสดุของแข็ง 3มิติ ในกรณีของความร้อน

Element Type เป็นการกำหนดชนิดของ element ที่ใช้ในการจำลอง โดยในที่นี้ใช้แบบ

Solid 70 คือ รูปแบบของโครงสร้าง 3 มิติ เอลิเมนต์มี 8 โหนด ซึ่งมีค่า degree of freedom

คือ จุดศูนย์กลางของแต่ละโหนด เอลิเมนต์จะเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ 3 มิติแบบ steady-state

หรือ transient thermal โดยสามารถใช้ solid45 หรือ solid 90 แทนได้



รูปที่ 4.2 โครงสร้าง Solid70

Temperature Unit เป็นการกำหนดหน่วยของอุณหภูมิ โดยในที่นี้ใช้แบบ

Celsius คือ องศาเซลเซียส

Material Property เป็นการกำหนดลักษณะสมบัติของวัสดุ โดยในที่นี้มีการกำหนดค่าของ

Young's Modulus คือ อัตราส่วนของความเค้นตามเส้นต่อความเครียดตามเส้น

Poisson's Ration คือ อัตราส่วนของความเครียดแนวตั้งฉากกับแกนต่อความเครียดในแนวแกน

Density คือ ค่าความหนาแน่นต่อสสารเป็นน้ำหนักต่อปริมาตร

Specific Heat คือ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ หรืออัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ได้รับกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Conductivity คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของสสาร โดยการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่ง ที่อยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ

Size Element edge length เป็นการกำหนดขนาดของตาข่าย

Analysis Type เป็นการกำหนดชนิดของเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยในที่นี้ใช้แบบ

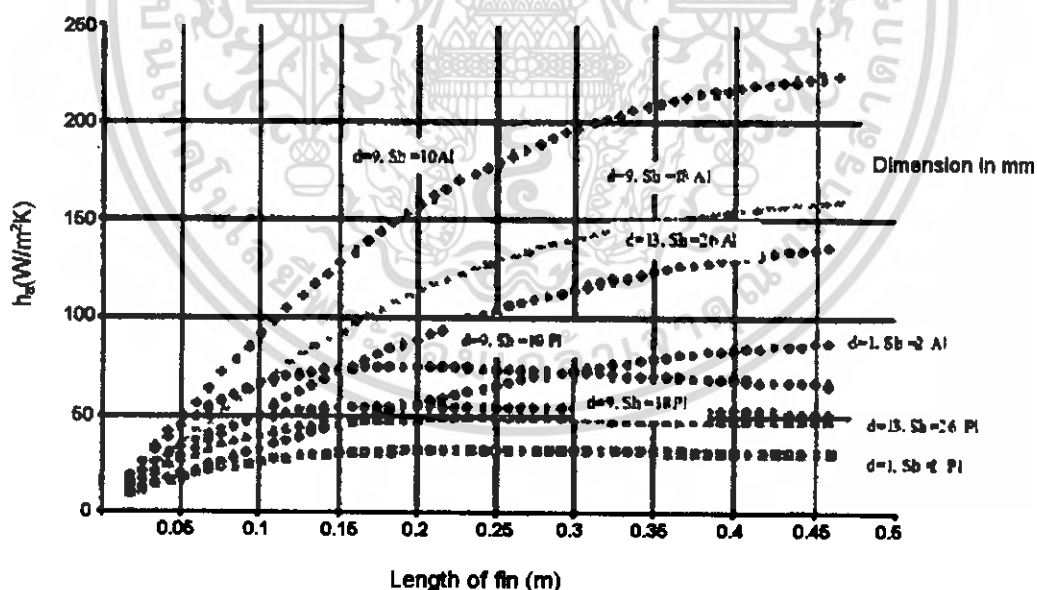
Steady – State คือ อัตราที่ทำให้อุณหภูมิภายในคงที่

Load เป็นการกำหนดเงื่อนไข โดยในที่นี้ใช้แบบ

Thermal คือ ความร้อน ซึ่งเป็นแบบ

Convection คือ การพาความร้อน โดยมีตัวแปร 2 ชนิด คือ

- Bulk Temperature คือ ค่าอุณหภูมิที่สัมผัส
- Film Coefficient คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) ซึ่งดูจากได้รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นระบายความร้อนแบบครีปที่ทำมาจากอลูมิเนียม (Raj and Avram , n.d.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) ซึ่งสัมพันธ์กับความสูงของครีป โดยวัสดุอะลูมิเนียมที่มีครีปสูง 45 เซนติเมตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงถึง $200 \text{ W/m}^2\text{K}$ และอัตราการเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงความยาวครีปสั้นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวครีปที่ยาวกว่า

สำหรับโครงการพิเศษนี้ความสูงครีปของแผ่นระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบอยู่ในช่วงเดียวกันคือ 0.15 - 0.70 เซนติเมตร โดยจากรูปที่ 4.3 ทำให้ได้ค่า $h_c = 12.5 \text{ W/m}^2\text{K}$

4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

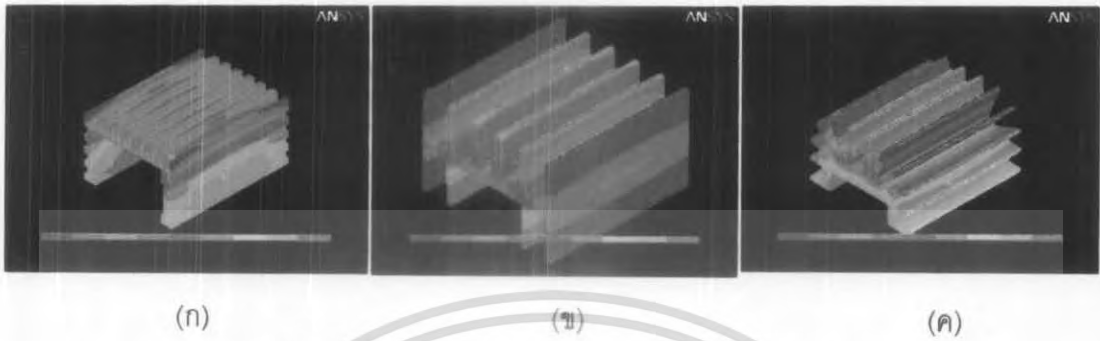
การใช้งานของแผ่นระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบนี้จะใช้งานในรูปแบบเดียวกันคือ ความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะถ่ายเทมายังพื้นผิวสัมผัสด้านในของแผ่นระบายความร้อน ซึ่งเมื่อทำการจำลองแบบ จะได้ลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ทำการใส่เงื่อนไข

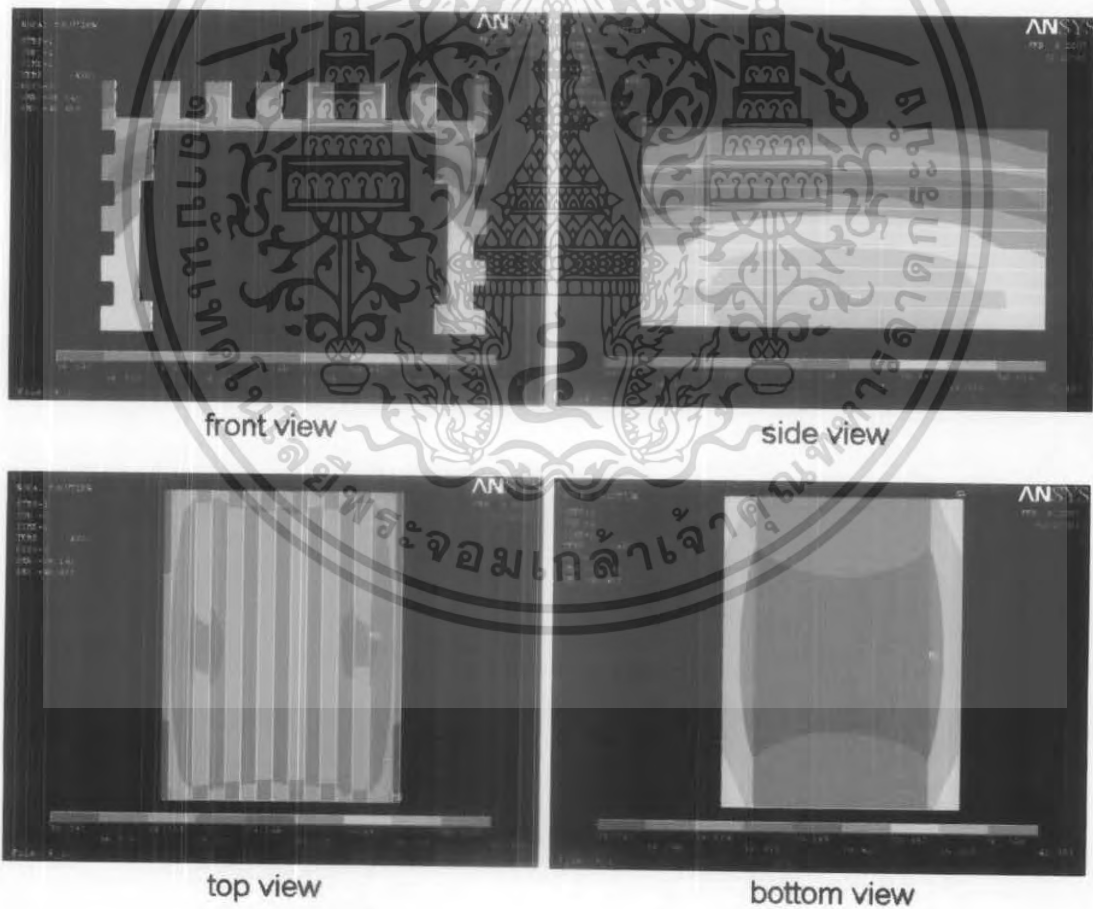
โดยมีการกำหนดให้อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 27°C ซึ่งคืออุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นระบายความร้อนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าเท่ากับ 70°C ซึ่งคืออุณหภูมิเฉลี่ยที่ออกมาจากวงจรไฟฟ้า จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการทดลองโมเดล isometric

เมื่อวิเคราะห์ทีละด้านของแผ่นระบายความร้อนจะได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.6 ผลการทดลองแบบจำลอง (ก)

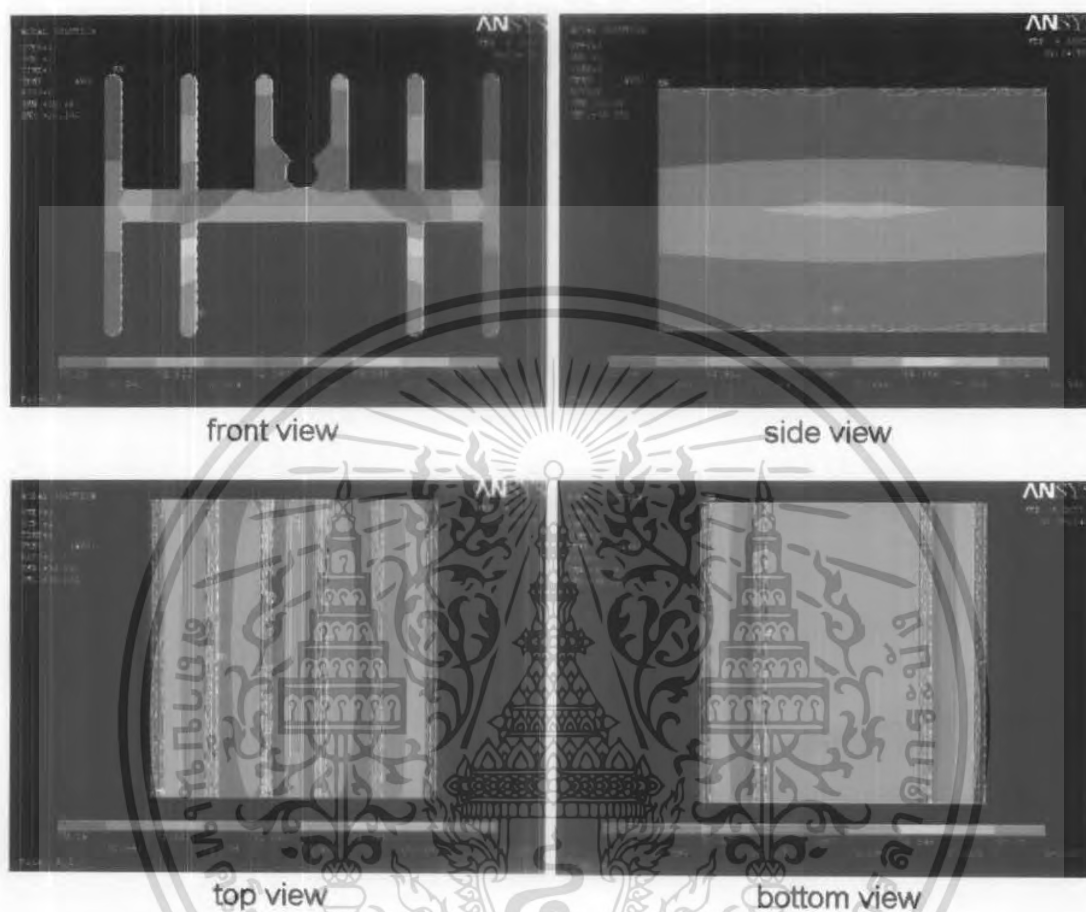
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 ช่วงอุณหภูมิที่แสดงในแผ่นระบายความร้อนแบบ (n) คือ 38.141°C ถึง 40.459°C โดยโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อนแบบนี้มีขนาดเล็ก มีพื้นที่แคบ จึงทำให้มีการกระจายความร้อนเป็นไปอย่างช้าๆ โดยจากหลักการการระบายความร้อนจะไม่สามารถระบายความร้อนเป็นรูปสี่เหลี่ยมเหมือนรูปทรงของแผ่นระบายความร้อน แต่จะกระจายความร้อนออกทุกทิศทาง เป็นลักษณะวงกลมแพร่ออกไปดังรูป front view โดยลักษณะของการกระจายนั้น จะเกิดเนื่องมาจากบริเวณตรงกลางของแผ่นระบายความร้อนนั้น มีการพาความร้อนได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับด้านริมซึ่งเป็นพื้นที่เปิดมีอัตราการพาได้ดี จึงทำให้เกิดเป็นลักษณะวง โดยที่ขนาดของวงนั้นจะขึ้นกับอัตราการพาความร้อน ซึ่งในการแสดงผลจะแสดงเป็นลักษณะของเจดสีไล่ตามระดับของอุณหภูมิ

ด้าน side view ของรูปที่ 4.6 จะแสดงการกระจายความร้อนออกเป็นลักษณะวงที่มีการไล่ระดับเจดสีตามการถ่ายเทของอุณหภูมิ และจากที่กล่าวมาข้างต้นในเรื่องของโครงสร้างซึ่งมีขนาดเล็ก จึงทำให้การกระจายความร้อนที่บริเวณครีบบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำแสดงในช่วงแคบ

ด้าน top view ของรูปที่ 4.6 จะเห็นเจดสีที่ชัดเจน 2 สีคือ สีฟ้าและสีเขียว โดยบริเวณที่เห็นเป็นสีเขียวนั้นคือบริเวณที่เป็นร่องที่เชื่อมต่อกับผิวสัมผัสของแผ่นระบายความร้อนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง ที่แสดงโดยใช้เจดสีฟ้า ซึ่งเป็นบริเวณครีบบที่สูงขึ้นมาจากผิวสัมผัสด้านบน ทำให้มีการถ่ายเทอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้น และเมื่อพิจารณาบริเวณส่วนปลายทั้ง 2 ด้านของบริเวณร่องและครีบบ จะสังเกตเห็นว่ามีการแสดงเจดสีที่ไล่ระดับอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากเป็นบริเวณที่สัมผัสกับอากาศโดยตรง

ด้าน bottom view ของรูปที่ 4.6 บริเวณรอบทั้ง 2 ด้านจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณผิวสัมผัสอื่น เนื่องจากอุณหภูมิต่ำส่วนใหญ่ของแผ่นระบายความร้อนจะตกอยู่บริเวณนี้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากเป็นบริเวณที่เชื่อมของผิวสัมผัสด้านใน 2 ด้าน ที่รับความร้อนโดยตรง ดังนั้นบริเวณขอบจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด และมีการกระจายความร้อนออกไปสู่บริเวณรอบข้างเป็นวงไล่ระดับเจดสีดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนตรงกลางของแผ่นระบายความร้อนด้านล่างมีลักษณะการกระจายความร้อนเป็นรูปโค้งนั้น มีสาเหตุมาจาก ความร้อนจากบริเวณตรงกลางแพร่ออกไปสู่ด้านริมทั้ง 2 ด้าน แต่ตรงขอบด้านริมนั้นเป็นบริเวณที่สัมผัสอากาศโดยตรง จึงมีการระบายความร้อนได้เร็ว ทำให้อุณหภูมิตกลงอย่างรวดเร็วซึ่งสังเกตได้จากความต่างของเจดสีเป็นรูปโค้ง



รูปที่ 4.7 ผลการขุดลองแบบจำลอง (ข)

จากรูปที่ 4.7 ช่วงอุณหภูมิที่แสดงในแผนระบายความร้อนแบบ (ข) คือ 30.26°C ถึง 36.392°C โดยโครงสร้างจากด้าน front view ทำให้เห็นได้ว่าการกระจายของช่วงอุณหภูมิสูงจะอยู่ในบริเวณครีبد้านในที่สัมผัสกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการไล่เฉดสี มีลักษณะเป็นวง และบริเวณครีبد้านข้างนั้นจะเห็นเป็นลักษณะเฉดสีฟ้าและน้ำเงิน ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิที่ต่ำลง เนื่องจากเป็นบริเวณที่ครีปมีลักษณะยาว และได้สัมผัสกับอากาศโดยตรง และเมื่อเปรียบเทียบครีبد้านบนกับครีبد้านล่างนั้น ครีبد้านบนจะมีการพาความร้อนได้มากเพราะมีจำนวนครีปที่มากกว่าและได้สัมผัสกับอากาศโดยตรง ส่วนครีبد้านล่างนั้นได้สัมผัสกับอากาศเป็นบริเวณแคบจึงมีความร้อนสะสม โดยเมื่อพิจารณาครีبد้านในของด้านล่างนั้น การสะสมความร้อนจะเกิดที่บริเวณฐาน ส่วนบริเวณที่สูงขึ้นมา

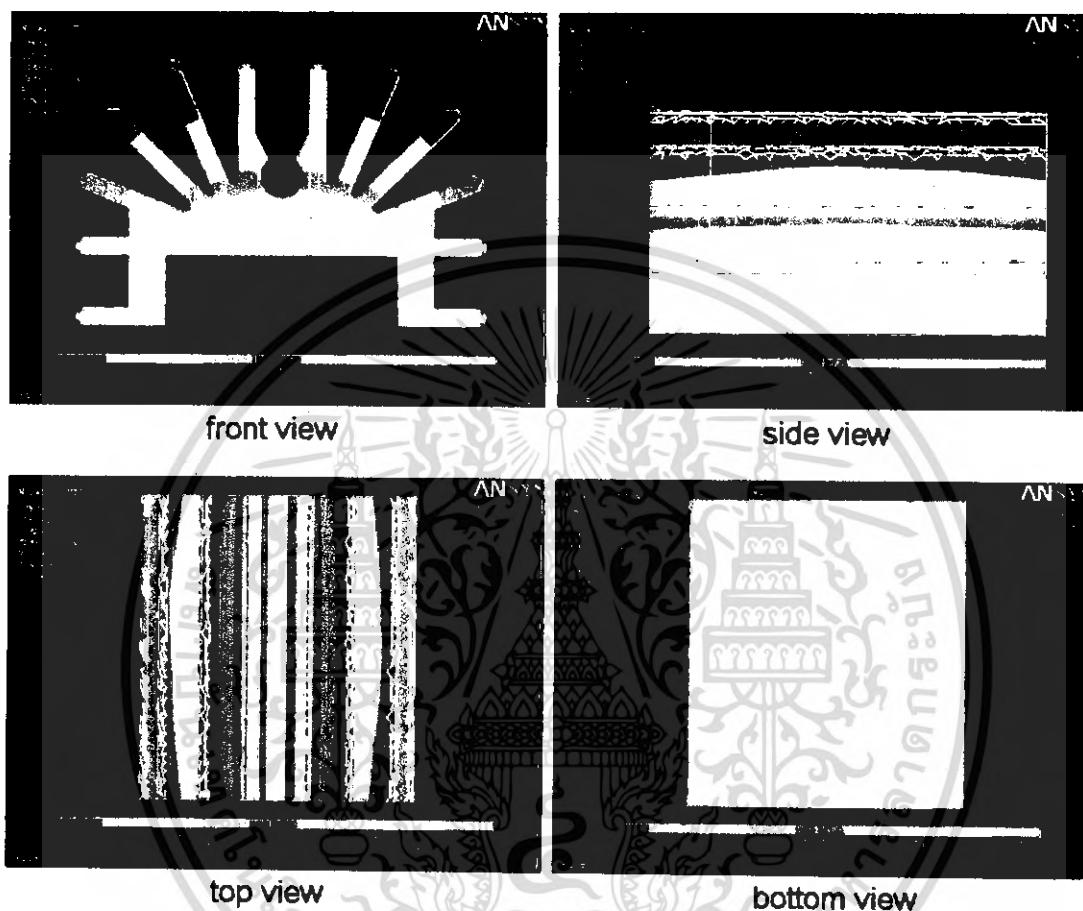
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีพื้นที่รองรับที่มากขึ้นจึงมีการแผ่ความร้อนออกไปเป็นบริเวณกว้างได้มากขึ้นด้วย

ด้าน side view ของรูปที่ 4.7 จะแสดงเจดสีฟ้าและสีน้ำเงินเป็นวง เนื่องจากบริเวณนี้มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณอื่น เพราะความร้อนจากบริเวณตรงกลางนั้นไม่สามารถถ่ายเทมายังบริเวณด้านข้างได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากมีครีบทันด้านข้าง และที่เห็นเป็นวงสีฟ้าอ่อนบริเวณตรงกลางก็เนื่องจากแถบตรงกลาง ที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนมาด้านข้าง จึงทำให้เห็นเป็นสีฟ้าอ่อนแทนที่จะเห็นเป็นสีน้ำเงินที่แสดงถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้

ด้าน top view ของรูปที่ 4.7 จะแสดงถึงการกระจายของสีแบบวงในลักษณะของเจดสีที่อุณหภูมิต่ำลง คือ สีเหลืองและสีเขียวในบริเวณร่องด้านในตรงกลาง ส่วนร่องถัดออกมาจะมีสีฟ้า ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่ต่ำลง และที่ปลายของครีบทันหมดจะแสดงเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศได้โดยตรงจึงทำให้มีอุณหภูมิต่ำที่สุด

ด้าน bottom view ของรูปที่ 4.7 มีการกระจายของแถบสีเป็นระนาบซึ่งอธิบายได้ว่าไม่มีการตกค้างของอุณหภูมิในบริเวณร่องกลางที่สัมผัสกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่จะแสดงแถบสีแดงซึ่งเป็นส่วนที่ร้อนที่สุดในบริเวณรอยต่อระหว่างครีบทันกับร่องกลาง และบริเวณที่ถัดออกมาจะแสดงถึงอุณหภูมิที่ต่ำลง เนื่องจากมีการสัมผัสกับครีบทันทั้งด้านบนและด้านล่าง จึงทำให้มีการถ่ายเทอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองแบบจำลอง (ค)

จากรูปที่ 4.8 ช่วงอุณหภูมิที่แสดงในแผนระบายความร้อนแบบ (ค) คือ 30.263°C ถึง 33.086°C โครงสร้างของแผนระบายความร้อนแบบนี้เป็นการผสมกันของลักษณะสี่เหลี่ยมและทรงกระบอกโดยมีคียบแบบไบพัต จากรูป front view จะเห็นการกระจายของอุณหภูมิเป็นวงกระจายออกไปด้านข้างอย่างช้าๆ ซึ่งทำให้เห็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงเป็นสีต่างๆ เฉดสี โดยบริเวณฐานจะมีความร้อนสูงที่สุด และค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ตามระยะที่ห่างจากฐานของแผนระบายความร้อน

ด้าน side view ของรูปที่ 4.8 จะแสดงเฉดสีที่อุณหภูมิสูงที่สุดและลดลงเรื่อยๆ เมื่อพิจารณาที่ร่อง - ครีบ - ร่อง จะเห็นเป็นสีส้ม - เขียว - เหลือง ซึ่งอธิบายได้ว่าอุณหภูมิของร่องที่อยู่ถัดไปจะลดลง

เรื่อย ๆ แต่บริเวณคิริบที่คั่นกลางนั้นจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอุณหภูมิภายนอกมากกว่า และการแสดงของอุณหภูมิในบริเวณนี้จะมีลักษณะการกระจายออกเป็นวง

ด้าน top view ของรูปที่ 4.8 บริเวณตรงกลางจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ซึ่งแสดงออกเป็นวงเจดสีเหลืองไล่ไปจนถึงสีเขียว ซึ่งหมายความว่า บริเวณริมนั้นสามารถถ่ายเทอุณหภูมิได้ดี เนื่องจากสัมผัสกับอากาศทั้งทางด้านบนและด้านข้าง ส่วนสีน้ำเงินและสีเขียวที่อยู่ถัดจากบริเวณตรงกลางนั้นหมายถึง แสดงอุณหภูมิของคิริบที่อยู่ถัดจากกึ่งกลางจนถึงฐาน

ด้าน bottom view ของรูปที่ 4.8 จะเห็นสีแดงเป็นวงบริเวณตรงกลาง มีสาเหตุมาจากการกักเก็บความร้อนได้มาก ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อนซึ่งมีลักษณะของสีเหลืองและทรงกระบอกผสมกันดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้มีการแผ่กระจายของความร้อนเป็นลักษณะวงคือด้านริมมีการระบายความร้อนได้ดี เพราะสัมผัสกับอากาศโดยตรงจึงเห็นการแสดงเจดสีเป็นรูปโค้ง และเนื่องจากพื้นผิวทั้งหมดมีการเชื่อมต่อกันทั้งหมด บริเวณด้านล่างจึงมีอุณหภูมิสูง ซึ่งถ้ามองในลักษณะทรงกลม จะอธิบายได้ว่าอุณหภูมิส่วนใหญ่จะตกลงที่ผิวสัมผัสทั้งหมดเลย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของตัวระบายความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ผ่านโปรแกรมแอนจิสในการจำลองแบบ เพื่อเปรียบเทียบการระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบการระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีการใส่อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 27°C และอุณหภูมิของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 70°C ทำให้ได้ช่วงอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ช่วงอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อน 3 รูปแบบ

แบบจำลอง	อุณหภูมิต่ำสุด ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	ผลต่าง ($^{\circ}\text{C}$)
ก	38.141	40.453	2.312
ข	30.260	36.392	6.132
ค	30.263	33.086	2.823

จากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าแผ่นระบายความร้อนชนิด (ค) สามารถพาความร้อนได้ดี โดยดูจากอุณหภูมิที่สะสมในตัวจะมีค่าน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง (ก) ซึ่งให้ผลต่างของอุณหภูมิน้อยกว่าคือ 2.312°C แต่แบบจำลอง (ก) นั้นระบายความร้อนได้แย่กว่าแบบจำลอง (ค) เนื่องจากมีการสะสมของอุณหภูมิภายในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สูง ซึ่งง่ายแก่การเกิดความเสียหาย

เมื่อพิจารณาในเรื่องโครงสร้างนั้น แผ่นระบายความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ มีโครงสร้างที่คล้ายกัน เพียงแต่แตกต่างกันในเรื่องตำแหน่งและรูปแบบการจัดวางของครีบบ โดยแบบจำลอง (ก) จะมีครีบบขนาดเล็กโดยรอบ แบบจำลอง (ข) มีครีบบที่มีขนาดใหญ่ และแบบจำลอง (ค) จะมีครีบบลักษณะใบพัด ซึ่งแบบจำลอง (ก) นั้นมีขนาดเล็ก และพื้นที่แคบ จึงทำให้มีการกระจายความร้อนช้า และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง (ข) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า แบบจำลอง (ข) จะมีประสิทธิภาพในการระบาย

ความร้อนได้ดีกว่า เพราะมีพื้นที่ที่สัมผัสกับอากาศเป็นบริเวณที่มากกว่า เนื่องจากมีครีบนขนาดใหญ่ และเมื่อนำแบบจำลอง (ข) เปรียบเทียบกับแบบจำลอง (ค) โดยทั้งสองนั้นจะมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่แบบจำลอง (ค) จะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าเนื่องจากการวางตัวของครีบนั้นมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศได้มากกว่า และมีจำนวนครีบนี้นั้นมากกว่าแบบจำลอง (ข)

จากเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น จึงควรเลือกใช้แผ่นระบายความร้อนชนิด (ค) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการกระจายความร้อนได้ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอนณะ

- ในการเลือกใช้แผ่นระบายความร้อน ควรเลือกแผ่นระบายความร้อนที่มีพื้นที่สัมผัสกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กว้าง เพื่อให้เกิดการกระจายความร้อนอย่างรวดเร็ว

- แผ่นระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากของแข็ง จึงอาจจะมีการระบายความร้อนได้ช้า เมื่อเทียบกับการใช้พัดลม หรือการหล่อเย็น แต่การให้ความเย็นในการใช้พัดลมหรือน้ำหล่อเย็นจะไม่สามารถดึงความร้อนออกมาได้โดยตรง ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรใช้แผ่นระบายความร้อนควบคู่กับอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อนอื่นๆ

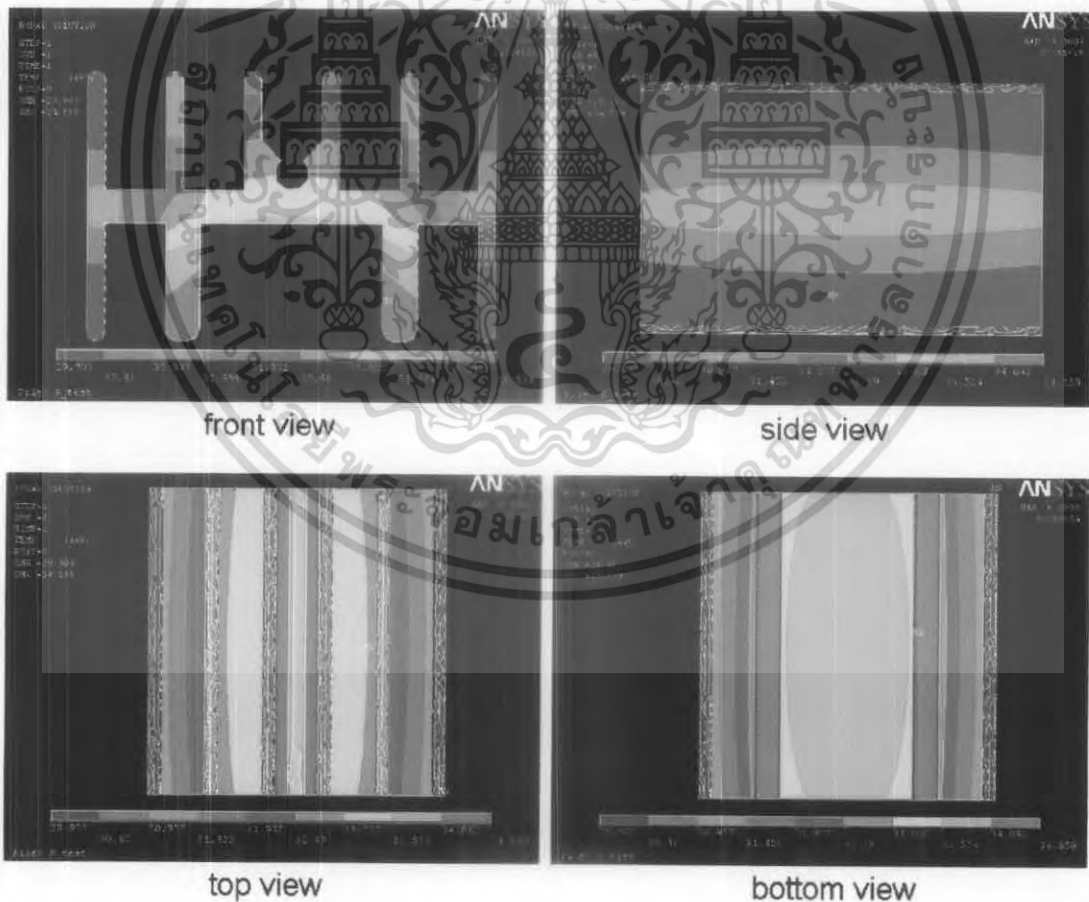
- ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของแผ่นระบายความร้อนไม่ได้ขึ้นกับจุดต่อระหว่างครีบนกับฐานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำ โครงสร้าง ความหนาบางของครีบน ระยะความสูงของครีบน ขนาดพื้นที่สัมผัสอากาศ ดังนั้นควรออกแบบครีบนให้มีขนาดบาง เพื่อให้สามารถเพิ่มจำนวนครีบนให้มีจำนวนมากกว่าในพื้นที่ขนาดเท่ากัน

- ถ้าทำการปรับปรุงโครงสร้างของแผ่นระบายความร้อนโดยปรับขนาดของแบบจำลอง (ข) คือ ทำให้ครีบนด้านในของด้านล่างที่สัมผัสกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดใหญ่กว่าเดิมเป็น 2 เท่า ซึ่งเท่ากับความหนาฐานของแบบจำลอง (ค) ทำให้ได้ช่วงอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อนดังตารางที่ 5.2 และผลที่ได้คือ จะมีการกระจายตัวของความร้อนออกไปสู่บริเวณอื่นมากยิ่งขึ้น โดยดูจากด้าน front view บริเวณครีบนด้านล่างที่เพิ่มความหนานั้นจะมีการแผ่ความร้อนออกเป็นบริเวณที่กว้างมากขึ้น โดยมีการกระจายไปสู่ครีบนบนบริเวณตรงกลางและครีบนด้านข้าง ด้าน side view จะเห็นแถบสีฟ้าอ่อนเป็นบริเวณกว้างมากขึ้น เนื่องจากเป็นส่วนที่เชื่อมต่อบริเวณตรงกลางจึงมีการถ่ายเทความร้อนออกมาเป็นปริมาณที่มากขึ้น ด้าน top view จะมีการกระจายความร้อนไปสู่ด้านข้างมากยิ่งขึ้นโดยดูจากแถบสีเหลืองมีการกระจายไปสู่ด้านข้างมากยิ่งขึ้น และด้าน bottom view ของแบบจำลอง (ข)

เดิมนั้น จะมีความร้อนสะสมบริเวณปลายของฐานเท่านั้น โดยแบบจำลองใหม่จะมีการกระจายความร้อนไปสู่บริเวณฐานด้านบนด้วยดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 5.2 ช่วงอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อน 4 รูปแบบ

แบบจำลอง	อุณหภูมิต่ำสุด ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	ผลต่าง ($^{\circ}\text{C}$)
ก	38.141	40.453	2.312
ข	30.260	36.392	6.132
ค	30.263	33.086	2.823
ข (หนา)	29.903	34.559	4.654



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองแบบจำลอง (ข) หนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. (2539). **ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ปิยะวัติ บุญ-หลง. (2537). **การถ่ายเทความร้อน 2**. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. (2537). **ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงษ์เจต พรหมวงศ์. (2534). **การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมศรี จรุงเรือง. (2542). **ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Saeed Moaveni. (1999). **Finite element analysis : theory and application with ANSYS** (2nd ed.). NJ : Prentice Hall.

http://electronics.se-ed.com/contents/092s239/092s239_p03.asp

<http://en.wikipedia.org/wiki>

<http://www.ieeexplore.ieee.org>

<http://www.matweb.com>

<http://www.mecu.ualberta.ca/tutorials/ansys>



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Design and Optimization of Staggered Polymer Pin Fin

Natural Convection Heat Sinks

Raj Bahadur

Avram Bar-Cohen

Department of Mechanical Engineering

University of Maryland, College Park, MD 20742

ABSTRACT

The design and optimization of a thermally conductive PPS polymer pin fin-heat sink, for an advanced natural convection cooled microprocessor application, are described. The geometric dependence of heat dissipation and the relationships between the pin fin length, pin diameter, horizontal spacing, and pin fin density for a fixed base area and excess temperature are discussed. The coefficient of thermal performance, COP_T , that relates cooling capability to the energy invested in the formation of the heat sink, has been determined for such heat sinks and compared with conventional aluminum heat sinks. The thermal performance results obtained confirm that PPS (polyphenylene sulphide) polymer heat sinks provide a promising alternative to heat sinks fabricated of conventional materials.

KEYWORDS: least material fins, energy efficiency, thermally conductive PPS polymer, array base heat transfer coefficient, space claim heat transfer coefficient, mass heat transfer coefficient, coefficient of thermal performance.

NOMENCLATURE

L	Length of the array
k_f	Fluid Thermal conductivity
W	Width of the array
q_{pm}	Heat dissipation single pin-fin
H	Height of the pin-fin
S_h	Center to center horizontal spacing
El	$g\beta\Gamma_0\theta_b s^3/(s/L)v^2$, Elenbaas no. based on s
S_v	Center to center vertical spacing
Re_{sb}	$g\beta\Gamma_0\theta_b S_h^4/Lv^2$, Modified Raleigh's no. based on S_h
s	Horizontal plate-fin spacing
Re_L	$g\beta\Gamma_0\theta_b L^3/v^2$, Raleigh's no. based on L
d	Diameter of pin-fin

Greek Symbols

n	Total number of pin-fins
β	Thermal coefficient of expansion
n_v	Number of pin-fins in the array along the vertical
ν	Mean kinematic viscosity of fluid
n_h	Number of pin-fins in the array along the horizontal
μ	Mean dynamic viscosity of fluid

h_a	Array heat transfer coefficient based on base area
ρ	Mean fluid density
h_m	Mass based heat transfer coefficient
θ_b	Array base excess temperature
COP_T	Coefficient of thermal performance
η_{pin}	Fin efficiency
h_{ac}	Heat transfer coefficient based on total volume occupied

Subscripts

k	Thermal conductivity of heat sink material
b	fin array base
Pr	Prandtl number
opt	optimal
pin	pin-fin

INTRODUCTION

Pin fin arrays relying on natural convection, as well as radiation, heat transfer, can be effectively used as heat sinks for various electronic cooling applications. While, aluminum is the current material of choice for heat sinks, the availability of thermally conductive PPS polymers [1] raises the possibility of lighter, more energy efficient, moldable plastic heat sinks with thermal performance in the range needed for commercial applications. The present study involves the application of the Aihara et al (1990) [2] correlation, together with the Sonn and Bar-Cohen least-material pin fin relation [3], to the design and optimization of a PPS polymer, staggered pin fin array on a 10 cm by 10 cm vertical base, operating at 25K above the ambient temperature and cooled by natural convection. This configuration is typical of advanced electronic cooling applications and facilitates a direct comparison between the present results and the previously reported thermal performance of natural convection heat sinks fabricated of aluminum [4]. The results of smaller scale heat sink experiments are presented and successfully compared to numerical natural convection simulations of PPS polymer heat sink performance.

While an extensive literature exists on convective heat sinks and fin arrays [5, 6], the available literature devoted specifically to natural convection from pin fin arrays is

relatively limited. Sparrow and Vemuri (1986) [7] provided experimental results for a set of five staggered, widely spaced cylindrical pin fins (fin density of 0.31-1.17 fins/cm²) on a vertical base with horizontal fins, horizontal upward facing base/vertical fins, and horizontal downward facing base/vertical fins that exchange heat by both natural convection and radiation. Aihara et al. (1990) [2] provided a well-known correlation for the average heat transfer coefficient along a vertical surface of staggered pin fins, at a fin density of 2.42-9.90 fins/cm², one order of magnitude higher than in [7]. This correlation [2], along with the work reported in [3], served as the basis for the least-material optimization of vertical pin fin heat sinks in natural convection reported in [4]. To date no study has addressed the use of low thermal conductivity materials, particularly thermally conductive polyphenylene sulfide (PPS) polymers, for high performance heat sinks. Due to the low heat transfer coefficients encountered in natural convection cooled heat sinks for electronic applications, and the relatively weak dependence of fin heat transfer on the thermal conductivity of the fin [6], it may be expected that thermally conductive PPS polymers, having a relatively modest thermal conductivity, could be effectively used for commercial heat sinks. For example, the commercially available, thermally-enhanced polyphenylene sulphide (PPS) resin that possesses a thermal conductivity of 20 W/m·K, density of 1.7g/cm³, and a Coefficient of Thermal Expansion (CTE) of 4.7ppm/K [1], could constitute a lightweight, low interfacial stress alternative heat sink material. Moreover, the moldability and ease of fabrication of a PPS polymer heat sink may yield significant cost savings in the development of future commercial heat sinks. Interestingly, the energy required to produce a unit mass of this PPS polymer, at some 100MJ/kg [8], is about one third of the energy required to form the comparable mass of aluminum [9], making this a most attractive choice in terms of "design for sustainability."

Thermal Performance of Staggered Pin Fin Arrays

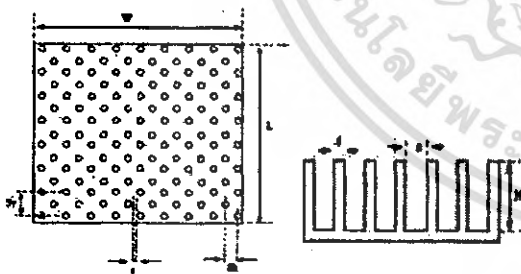


Fig1: Schematic of staggered pin fin array

Governing Equations :

Heat transfer from an array of cylindrical fins is the sum of heat dissipation from the fins and the array base, and can be calculated as,

$$Q = n\theta_b (h_{pin}A_p + h_{base}A_b) \tag{1}$$

Where A_b , A_p are the base area and fin area available for heat transfer, respectively, from each fin and are given by

$$A_b = (S_v S_h - \pi d^2/4) \tag{2}$$

$$A_p = \pi d(H + d/4) \tag{3}$$

The array dimensions L, W, and H, and the pin configuration d , S_v , and S_h , affect the number of pins in the vertical and horizontal direction, as described in the equations below,

$$n_v = (L - d)/S_v + 1 \tag{4}$$

$$n_h = (W/2 - d)/S_h + 1 \tag{5}$$

$$n = n_v n_h + (n_v - 1)(n_h - 1) \tag{6}$$

Following the form of the Elenbaas correlation (1942) [10], the Aihara et al correlation (1990) [2] predicts pin heat transfer coefficients to within ±10%, and is given by,

$$Nu_{pin} = h_{pin} S_v / k_b = [2S_v / \pi d] \left[\frac{(1/20)(\eta_{pin} Ra_{pin})^{1/4} (1 - 1/e^{1/20(\eta_{pin} Ra_{pin})^{1/4}})}{1 + (1/200)\eta_{pin} Ra_{pin}^{1/4}} \right] \tag{7}$$

The parametric range of the Aihara data falls within the following values: [2]

$d = 0.123$ cm, $W=10$ cm, $L=5-20$ cm., $H=3.2-6$ cm , $S_v=0.209-0.429$ cm, $S_h=0.212-1.37$ cm, $N=2.25-10.58$ fins/cm². In the test data reported by Aihara et al [2], the vertical separation distance was set to 1.7 or 3.5 times the fin diameter.

Heat transfer from the base of the array, using the classical correlation for laminar flow over a vertical flat plate [11], given by,

$$Nu_b = b_{lamin} L/k_b = 0.515 Ra_b^{1/4} \tag{8}$$

Using Eq. 7, Iyengar and Bar-Cohen [12] determined that the optimum center-to-center spacing between staggered pin fins, i.e. the value that maximizes the volumetric heat dissipation rate, could be expressed in the form used for parallel plate heat sinks [6,13], as in Eq. 9 below

$$S_{h,opt} = 3.18 P \tag{9}$$

Where the parameter P, characterizing the thermal environment, is set equal

$$P = [Lv^2/g\beta\eta_b\theta_b Pr_b]^{1/4} \tag{10}$$

It is to be noted that the optimum spacing for a staggered array of pin fins is, thus, somewhat larger (by approx 19%) than obtained for parallel plate arrays [4].

Following Sonn and Bar-Cohen [3], the relation between pin diameter and height, for a "least-material" fin, which maximizes heat transfer for a specified fin volume (or mass), is given by

$$d = 4.73 h_{pin} H^2 / k \quad (11)$$

The fin efficiency for a cylindrical pin fin is given by Eq. 12, below. Using equation 11 and 12,

$$\eta_{pin} = \frac{\tanh(2Hd^2(h_{pin}/kd^2)^{0.5})}{0.5} / (2Hd^2(h_{pin}/kd^2)) \quad (12)$$

the efficiency of the optimal pin fin is obtained as 0.789 using equations 11 and 12. The heat dissipation from this least material fin was then found to equal

$$q_{pin} = 11.7366 h_{pin}^2 H^3 / k \quad (13)$$

Heat Sink Thermal Metrics

In designing and optimizing air-cooled heat sinks, it is useful to consider several distinct thermal performance metrics, including the "array" heat transfer coefficient, the "space claim" heat transfer coefficient, and the "mass based" heat transfer coefficient. These are defined in succeeding paragraphs.

Array Heat Transfer Coefficient, h_a : The overall thermal capability of a convective heat sink can be represented by the array heat transfer coefficient, calculated using,

$$h_a = Q/LW\theta_b \quad (14)$$

For dense arrays ($n \gg 1$), eqs. (4) and (5) can be simplified (with $n_s = L/S_s$, and $n_b = W/2S_b$) and substituted in eq. (6) to yield,

$$n = LW/S_b S_s \quad (15)$$

Substituting for n in eq. (1), and including heat transfer from the tips of the pins and the exposed base of the array, we get,

$$Q = (LW/S_b S_s) \theta_b h_{pin} n d H_c \eta_{tm} \quad (16)$$

Where $H_c = H + 0.25d$ is the "Harper-Brown fin length correction" [6]. In natural convection arrays requiring relatively tall, thin fins to provide meaningful heat transfer rates, H_c is often approximately equal to H .

The array base heat transfer coefficient may then be expressed as,

$$h_a = h_{pin} n d H_c \eta_{tm} / S_b S_s \quad (17)$$

Space Claim Heat Transfer Coefficient, h_{sc} : Following Iyengar and Bar-Cohen [4], the "space claim" heat transfer coefficient, h_{sc} , which represents the thermal utilization of the volume occupied by the heat sink ($L \times W \times H$), can be determined as

$$h_{sc} = Q/LWH\theta_b \quad (18)$$

Mass-based Heat Transfer Coefficient, h_m : Due to the importance of minimizing the weight, as well as the cost, of a commercial heat sink, it is useful to evaluate the thermal utilization of the mass of the heat sink. This can be represented by the "mass based" heat transfer coefficient, as:

$$h_m = Q/(\theta_b V_{fin} \rho_{fin}) \quad (19)$$

where, ρ_{fin} = Density of fin material.

Optimization of PPS polymer Pin Fin Heat Sinks

Array Heat Transfer Coefficients: Using the approach outlined above, it is possible to determine the array heat transfer coefficient for a range of pin fin geometries. Figure 2, shows the variation of the array heat transfer coefficient, h_a , with fin height for a subset of polyphenylene sulphide and aluminum heat sinks configurations. Focusing first on the PPS fins, it may be seen that an "optimum" fin height exists for each fin diameter-fin spacing configuration. The array heat transfer coefficient appears to increase steeply, as this fin height is approached, and to decrease in a gradual fashion, as this value of H is exceeded. While the enlargement in fin area with height is responsible for the initial increase in h_a , the consequent deterioration in fin efficiency leads to a reduction in the array heat transfer coefficient for fins of progressively greater height. Figure 2 suggests that for PPS polymer pin fins this transition occurs around fin heights of 15 cm. and - that for the conditions stated - h_a values approaching $73 \text{ W/m}^2\text{K}$, or some 15 times greater than natural convection from a bare surface, can be achieved.

Alternatively, the h_a values for the aluminum array can be seen to reach and exceed $200 \text{ W/m}^2\text{K}$, or some 40 times the natural convection rates on a bare surface, at fin heights of some 45cm. At this height the array heat transfer coefficient for the aluminum heat sink is still increasing, although at a slower rate than for shorter fins. This difference in thermal performance is associated with the much higher thermal conductivity of the aluminum fins. It may also be noted that in the most common range of fin heights, up to 5cm, there is essentially no difference in the array heat transfer coefficients for these two materials and only relatively modest differences up to 10cm fin heights.

The fin configuration that results in the highest possible heat transfer rate can be found by a comprehensive search of the solution space. In figure 2, showing just a few of the numerous configurations simulated, it may be seen that, for this PPS polymer material, an array of 0.9cm fins, spaced 1cm apart (center-to-center) in the horizontal direction and

1.6cm apart in the vertical direction, consistently provides the highest heat transfer rates at all fin heights. The loci of the aluminum fins in figure 2 reveal that the 0.9cm diameter fins with 1.0 cm spacing configuration also provides the peak thermal transport rates when aluminum is used. It is noteworthy that, for both materials, the thermal performance of the heat sink is maximized when the pin fin diameter is roughly equal to the horizontal fin spacing, as first encountered in optimum arrays of plate fins [13].

Use of Eq. 11 to determine the "least-material" fin height for a specified pin fin diameter can eliminate one degree of freedom and facilitate representation of the heat sink solution space in the form of figures 3 and 4. Thus, the array heat transfer coefficient is shown in fig 3, as a function of fin diameter and the "clear" horizontal spacing between the fins, and in fig 4, as a function of the fin diameter and the fin center-to-center spacing. Review of these figures reveals that the peak thermal performance for the stated conditions,

increase in fin height and fin weight by some 67%, thus substantially lowering the mass-based heat transfer

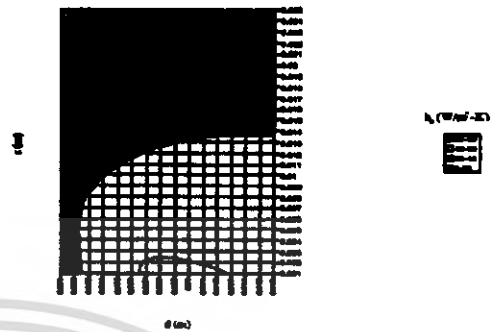


Fig 3. PPS polymer least material pin fin efficiency array heat transfer coefficient 2D plot

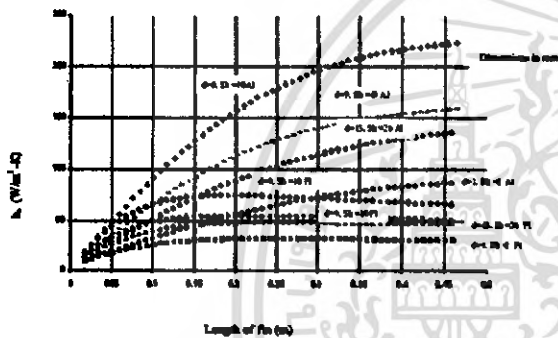


Fig 2. Array heat transfer coefficients for polyphenylene sulphide and aluminum pin fin heat sinks

i.e. the "optimum array," is attained with fin diameters of approximately 0.9cm and fin center-to-center spacings very close to 1cm. The lateral spacing for the optimum pin fin array can be determined analytically by using equation 9. For a optimum pin fin array with a base length and width of 10 cm and fins of 0.789 efficiency, operating at a base temperature rise of $\theta_b=25$ C in an ambient temperature of 45 C, the calculated S_h value is 0.97cm, very close to the spacing of 1 cm found by a laborious search of the solution space for this optimal design.

Using the horizontal spacing obtained from equation 9 to determine the optimum fin heat transfer coefficient from equation 7 and inserting the result in equation 11, with an assumed fin diameter of 0.9cm, the "least material" fin height s found to equal 9.27 cm and to yield an array heat transfer coefficient of 63.64 W/m^2-K . From figure 2 it may be seen that increasing the height of these pin fins to 15 cm increases the array heat transfer coefficient to 73.2 W/m^2-K . However, this 15% increase in heat transfer coefficient requires an

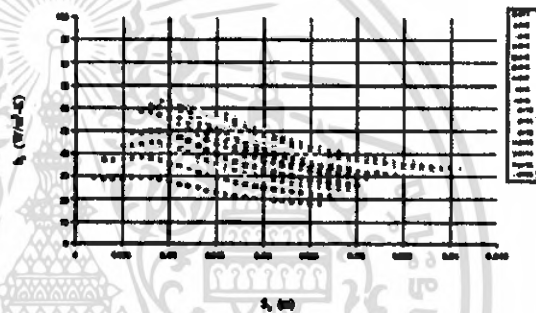


Fig 4. PPS polymer least material pin fin efficiency array heat transfer coefficient.

coefficient for this fin array. It may, thus, be argued that – as noted in [4] – an array consisting of such individually optimum, pin fins, placed at the optimum distance from each other, can closely approximate the optimum heat sink configuration.

Mass-Based Heat Transfer Coefficients: The heat transfer rate per unit mass of the aluminum and polyphenylene sulphide heat sinks is depicted in figure 5. The figure indicates that for both materials and for each configuration, the h_m decreases monotonically with fin height, due to the incremental deterioration in the thermal transport capability of fin sections far removed from the base. However, the PPS polymer's reduced density ($1700kg/m^3$) relative to aluminum ($2700 kg/m^3$) does provide the polyphenylene sulphide fins with superior mass-based performance, up to fin heights of approximately 10 cm. As the fin height is increased beyond 10 cm, the rapid decrease in fin efficiency of the low thermal conductivity PPS results in nearly constant heat transfer rates,

despite the increase in physical surface area, and to a decrease in the mass-based heat transfer coefficient.

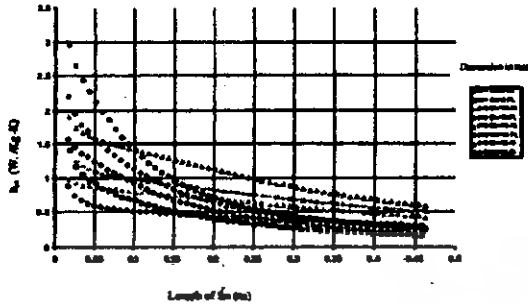


Fig 5: Comparison of PPS polymer and aluminum pin array mass heat transfer coefficient

However, the high thermal conductivity aluminum heat sink experiences a more modest decrease in fin efficiency, resulting in slowly falling values of the mass-based heat transfer coefficient and h_{bc} 's that are higher than the PPS fins for heights greater than 15 cm.

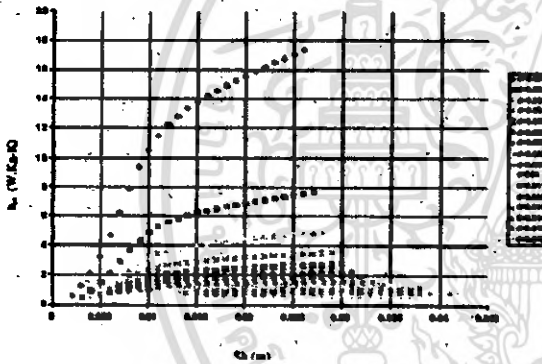


Fig 6: PPS polymer optimized pin array mass heat transfer coefficient

The mass based heat transfer coefficient of least-material fins increases with decreasing diameter and increasing horizontal spacing, as depicted in figure 6. The highest observed mass heat transfer coefficient of the PPS polymer heat sink is obtained for an array that has the smallest considered pin fin diameter of 0.1cm and center-to-center horizontal spacing of 2.6cm. The highest observed mass based heat transfer coefficient for an array of least-material PPS pin fin array is 17.35 W/kg-K, nearly 18 times that for the optimum array. However, the array heat transfer coefficient is just 18 W/m²-K, or 28% of the optimum PPS polymer pin fin array value of 64 W/m²-K.

Space-Claim Heat Transfer Coefficient: The "space claim" heat transfer coefficients, h_{sc} , are displayed in figure 7 below for the polyphenylene sulfide and aluminum heat sinks. As

previously noted for the mass-based heat transfer coefficients and due, again, to the deleterious effect of height on the fin efficiency, the h_{sc} values are seen to fall monotonically for both materials and all heat sink configurations. However, as a direct consequence of the higher thermal efficiency of the aluminum fins, these heat sinks experience a less steep descent than the PPS heat sinks and provide significantly higher "space claim" heat transfer coefficient for fin heights greater than 10-15cm. As may be observed in figure 7, for low aspect ratios the PPS pin fins have comparable "space claim" thermal performance to the aluminum fins.

Overall Comparison: The maximum thermal performance for the specified heat sink parameters, as represented by the array heat transfer coefficient, is obtained in a PPS pin fin array having fin diameter of 0.9cm and center-to-center fin spacing of 1cm and a fin height of 15cm, yielding an h_{sc} value of 73.2 W/m²-K. The highest mass based heat transfer coefficient of the PPS polymer material is obtained for least-material fins of the smallest considered diameter (0.1cm) at a center-to-center horizontal spacing of 2.6cm and pin fin

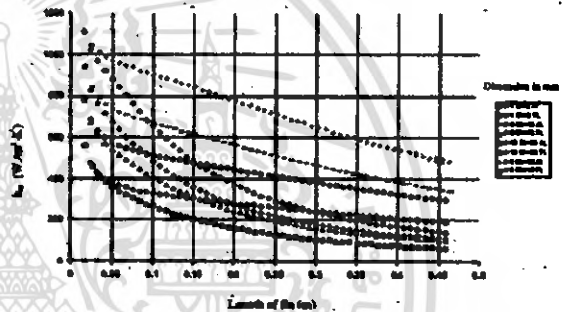


Fig 7: Comparison of PPS polymer and aluminum pin array space claim heat transfer coefficient

height of 0.03089 m. The mass heat transfer coefficient is 17 W/kg-K, and the array heat transfer coefficient - for that geometry - is 18 W/m²-K, some 28% of the maximum value that can be achieved with the optimum PPS polymer pin fin array. Depending on the requirements associated with specific applications, the "best" pin fin array arrangement can be expected to fall between the maxima of the array heat transfer coefficient (W/m²-K) and the mass based heat transfer coefficient (W/kg-K). However it is to be noted that an array consisting of individually optimum, pin fins, placed at the optimum distance from each other, can closely approximate the optimum heat sink configuration, providing a balance between achieving the maximum thermal performance and minimizing the mass of a pin fin array.

Parametric Range: In basing the design and optimization of pin fin arrays on the Aibara correlation, Eq. 7, some attention must be devoted to the parametric range of the data gathered and correlated in that pioneering study [2], particularly the fin density which reflects the combined impact of both pin fin diameter and fin spacing and varied from approximately 2.25

to 10.5 fin/cm². This fin density for the optimized pin fin array, with a pin diameter of 0.9cm and spacing of 1cm, achieves a value of 0.65 fins/cm², which is unfortunately below the range of the Aihara correlation. Thus, it must be considered that, in certain of the situations described above, the heat transfer coefficients calculated using the Aihara correlation may not be within the stated ±10% accuracy range. To aid the reader, the array heat transfer coefficients have been re-plotted as a function of fin density in Fig 8 with the domain of the Aihara correlation clearly delineated in each figure.

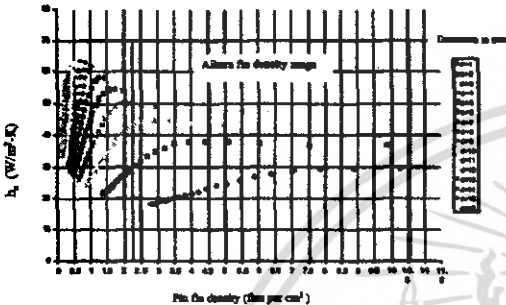


Fig.8. PPS Polymer pin fin array heat transfer coefficients

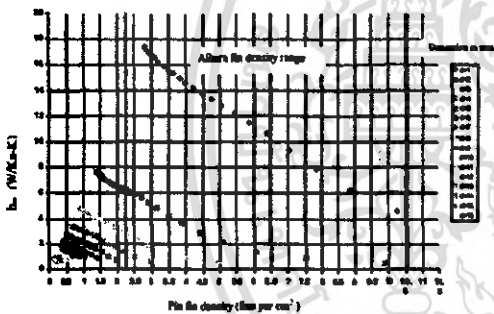


Fig. 9. PPS Polymer pin fin mass heat transfer coefficients

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS

Total Coefficient-of-Performance: Due to the large volume of electronic heat sink production in the world and the high-energy content of aluminum (estimated at 85kW-hr/Kg or 306MJ/Kg), sustainability considerations may favor the use of the lower density and less energy intensive PPS polymers for this application. The energy efficiency analysis of PPS plastic heat sinks and comparison with conventional aluminum heat sinks can be carried out with the aid of a "total coefficient of performance" that relates the thermal energy that can be removed to the energy invested in the fabrication and operation of the specified heat sink, and defined as [12]:

$$COP_T = \frac{q_T}{W_T} \quad (20)$$

Where q_T = Total amount of energy removed (W)
 t = Total time heat sink is in operation (sec)
 W_T = Amount of energy used in fabricating and operating the heat sink (Joule)
 M = Total mass of the heat sink (Kg)

When applied to natural convection cooled heat sinks, W_T includes only the energy invested in the fabrication and delivery of the heat sink. This value is approximately 100 MJ/Kg (28kWh/Kg) [8], or less than 1/3 the energy invested in the formation, extrusion, assembly and transport of aluminum heat sinks [9]. This includes roughly about 20 MJ/Kg for the energy invested in the filler used to create a high thermal conductivity PPS polymer resin. Subsequent studies will pursue a more precise determination of the energy of formation of the filler and the impact of this energy requirement on the COP_T of PPS polymer heat sinks. For an assumed 6000hrs of operation (3 work years: 50 wk, 5 days/wk, 8h/day), the COP_T for a PPS polymer heat sink can be related to the mass of the heat sink as

$$COP_T = 0.216 \times \frac{q_T}{M} \quad (21)$$

Similarly, the COP_T for an aluminum heat sink is given by

$$COP_T = 0.0706 \times \frac{q_T}{M} \quad (22)$$

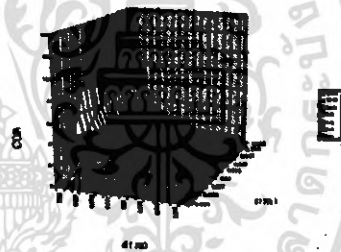


Fig 10. COP_T for the Aluminum pin fin array

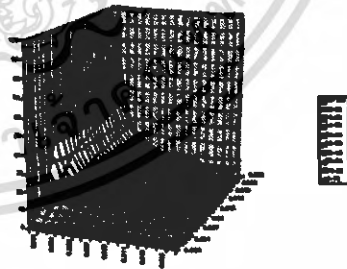


Fig 11. COP_T for the Polymer pin fin array

From Figure 10 and 11, it is clear that the PPS polymer pin fin arrays have significantly higher COP_T values than the aluminum arrays, with a maximum value of 94, some 7 times

higher than the peak aluminum value of 14. The highest observed COP_T pin fin array has the smallest considered pin diameter of 0.1 cm and center-to-center horizontal spacing of 2.6 cm. The increase in the diameter and decrease in the spacing lead to lower COP_T for both the materials. However, for the maximum COP_T array, the array heat transfer coefficient is only 22 W/m²-K (35% of optimum) for the PPS polymer and 41 W/m²-K (21% of optimum) for the aluminum. For the optimum array design having pin fin diameter 0.9 cm and spacing 1 cm, the COP_T value for PPS polymer is approximately 5.2, or 5 times greater than the aluminum array COP_T value of 5.2. As may be seen in Figure 12, the highest values of the mass based heat transfer coefficients appear to lie within the fin density domain of the Aihara et al [2] correlation. The mass based heat transfer coefficient vs. pin fin density plot for the optimum height pin fins indicates that for smaller diameter and pin fin density the value is maximum and it decreases almost linearly with the increase in the pin fin density for a fixed diameter pin fin array (Fig. 9). As the pin fin spacing increases the pin fin density decreases for fixed diameter that results in increase of the mass based heat transfer coefficient (W/kg-K) and hence the COP_T linearly with pin fin density. Since the invested energy in natural convection arrays depends exclusively on the required mass, the highest mass based heat transfer coefficient array will also be the highest COP_T design.

Experimental Study

Apparatus: Experimental verification of the thermal performance capability of the commercially available, thermally enhanced PPS polymer heat sinks [1] was performed. A 2m x 2m x 2m wooden enclosure was used to isolate the experimental setup from rest of the lab. The inside walls of the wooden enclosure were painted black to establish a known surface emissivity of 0.8 for the determination of the radiative heat transfer from the test heat sinks. The room temperature (~25 °C) was used as a reference temperature. Commercial E type thermocouples, having an accuracy of ± 0.5 °C, were used with a copper thermocouple junction box kept at room temperature serving as a reference block. For data acquisition, a switching unit (Agilent 3499 A) and digital multimeter (Agilent 34401 A) with Windows 2000-installed desktop computer were used. A Minco HRS590R11L12B thin film heater, having Nickel wire element of electrical resistance (11 ohms) with a silicone rubber covering, was used as the heat source in the experiments. An identical guard heater to minimize heat loss from the back of the heat sink was also used. The resistance heaters covered about 51% of the heat sink base cross sectional area.

The experimental plan was to test and verify the performance of the thermally conductive ($k=20$ W/m-K) PPS heat sinks available from CoolPoly [1]. For this purpose, use was made of a heat sink configuration, as shown in Fig 12, which was close to the optimum pin fin array configuration for base plate dimensions of 5.6 cm by 5.6 cm. The pin fin length is 18 mm and the diameter of this tapered fin is 0.398 cm at the base and 0.29 cm at the tip. It is to be noted that,

unfortunately, at 1.39 fins/cm², this heat sink falls significantly below the parametric range of the Aihara et al (Eq. 7) correlation. Three distinct heat sinks, labeled A, B, C for identification and convenience, were individually tested inside the test chamber at different power levels.

PPS polymer heat sink experimental results: The individual heat sink results, expressed in terms of the array heat transfer coefficient, are shown and compared in figure 13. The overall average uncertainty for all experiments was calculated to be about 3%.

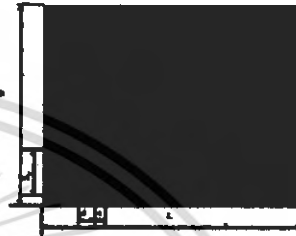


Fig 12. PPS Pin Fin Heat Sink [1].

CFD Simulation: To help validate the experimental results discussed above, CFD simulation of the thermo- fluid behavior of the PPS polymer heat sink was performed for the plastic pin fin array, using the CFD software Icepack (Fluent Inc.). Identical geometry and boundary conditions were used in the numerical models as in the experimental setup. In these computations, the emissivity of the PPS polymer heat sink material was set equal to 0.8 as had been determined experimentally with an infrared camera in the laboratory. It is significant to note that the numerical simulation of the heat sink performance revealed that in the specified test chamber thermal radiation contributed about 30-35% of the total heat transfer from the heat sink.

Figure 13 below shows the experimental-analytical comparison for convection-only heat transfer coefficient values (obtained after subtracting the numerically-determined radiation contribution).

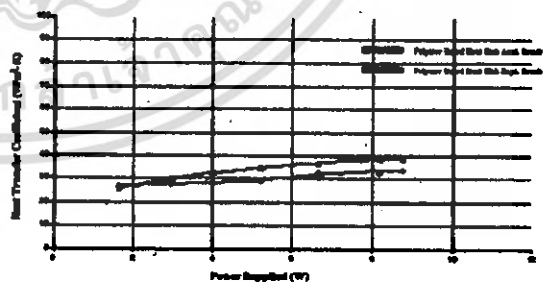


Fig 13. Array heat transfer coefficient vs. power supplied Analytical Experimental comparison for polymer pin fin array (20 W/m-K)

ACKNOWLEDGEMENT

The Authors wish to thank Sony Corporations and Coolpolymer Inc. for their partial support of this study.

REFERENCES

- [1] Coolpolymers Inc. – www.coolpolymer.com
- [2] Aihara, T., Maruyama et al., & Kobayakawa et al., 1990, Free Convective/Radiative Heat Transfer from Pin-fin Arrays with a Vertical Base Plate (General Representation of Heat Transfer Performance), *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, vol. 33, No. 6, pp. 1223-1232.
- [3] Sonin, A., and Bar-Cohen, A., 1981, Optimum Cylindrical Pin Fin, *ASME - Journal of Heat Transfer*, vol. 103, pp. 814-815.
- [4] Iyengar, M. and Bar-Cohen, A., 1998, Optimization of Vertical Pin-Fin Heat Sinks in Natural Convective Heat Transfer, *Proceedings of the 11th International Heat Transfer Conference (IHTC) in Kyongju, Korea, August 1998*, vol. 3, pp 501-506.
- [5] Kraus, A.D., Aziz, M., Weky, J., 2002, "Extended Surface Heat Transfer," Wiley Interscience, John Wiley and Sons, New York, NY
- [6] Kraus, A.D., Bar-Cohen, A., 1995, "Design and Analysis of Heat Sinks," Wiley Interscience, John Wiley and Sons, New York, NY
- [7] Sparrow, E., and Vemuri, S., 1986, Orientation Effects on Natural Convection/Radiation Heat Transfer from Pin-fin arrays, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.29, No.3, pp. 359-368
- [8] Andray, A., L., 2003, *Plastics and Environment*, John Wiley and Sons, New York
- [9] LCA (Life Cycle Assessment) Committee Report, 1999, *Summary of Inventory Data*, Japan Aluminum Association, July.
- [10] Elenbaas, W., Heat Dissipation of Parallel Plates by Free Convection, 1942, *Physica*, vol.9, No.1.
- [11] Incropera, F. P. and DeWitt, W. P., 1990, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Wiley, New York.
- [12] Bar-Cohen, A., Iyengar, M., and Benjamin, S., 2002, "Design for Manufacturability of Natural Convection Cooled Heat Sinks," *International Journal of Transport Phenomena*, Vol 4, pp 43-57
- [13] Bar-Cohen, A. and Rohsenow, W. (1983) *Thermally Optimum Arrays of Cards and Fins in Natural Convection*, *Trans. IEEE CHMT*, CHMT-6, pp. 154-158.
- [14] Bar-Cohen, A. (1979) *Fin Thickness for an Optimized Natural Convection Array of Rectangular Fins*, *ASME Trans. - J. Heat Transfer*, Vol. 101, pp. 564-566.

Authors:

Raj Bahadur received his B.E. degree in mechanical engineering from Indian Institute of Technology, Roorkee, India in 2000 and the M.S. degree in mechanical engineering from the Binghamton University, NY, in 2002. He is currently a mechanical engineering Ph.D. candidate at University of Maryland College Park. His research interests include thermal design, least energy optimization, and thermal phenomenon in microelectronic systems

Avram Bar-Cohen is the chair and professor of mechanical engineering department at university of Maryland, college park. He is co-author (with A.D. Kraus) of *Design and Analysis of Heat Sinks* (1995) and *Thermal Analysis and Control of Electronic Equipment* (1983) and has co-edited nine books in this field, including the *ASME Press Series Advances in Thermal Modeling of Electronic Components and Systems* and the *John Wiley & Sons Series in Thermal Management of Microelectronic and Electronic Systems*. He has authored and co-authored some 75 Journal papers, 115 Refereed Proceedings papers, and 32 chapters in books, and has delivered 40 keynote, plenary, and invited lectures at major technical Conferences and Institutions. Avram is a Fellow of ASME and of IEEE and serves as the Editor of the *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*.

The experimental were found to follow the trend of the Aihara correlation but to reach only 65-80% of the analytically predicted values. It is believed that this discrepancy is associated with the tested heat sink configuration falling well outside the fin density range of the Aihara et al correlation. However good analytical and numerical agreement was obtained for pin fin array that has pin fin density of 8.62 fins/cm² strictly in Aihara range [2] shown in fig. 14 below.

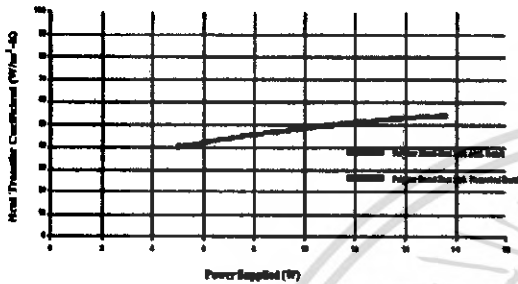


Fig 14. Array heat transfer coefficient vs. power supplied Analytical-Numerical comparison pin fin array (20 W/m-K) in Aihara fin density range of 8.62 fins/cm²

CONCLUDING REMARKS

The present study appears to provide the first reported systematic study of the thermal performance of an air-cooled heat sink fabricated of a relatively high thermal conductivity PPS polymer. The Aihara correlation for a staggered pin fin array has been used for the design and optimization of these air-cooled, natural convection heat sinks. A PPS heat sink configuration in which the fin diameter was approximately equal to the optimum, center-to-center fin spacing was found to provide the highest thermal performance at every fin diameter, as first encountered in optimum arrays of aluminum plate fins. An optimum array, consisting of individual fins of the "least-material" height, placed at the optimum center-to-center distance was found to closely approximate the best achievable pin fin array performance.

For the conditions examined, the PPS polymer heat sink (20 W/m-K) is predicted to provide peak heat transfer rates at 0.9cm diameter and horizontal center-to-center spacing of 1cm for fin heights of 15 cm, attaining h_s values of 73 W/m²-K or some 15 times better than natural convection on a bare surface. The PPS polymer heat sinks were found to provide comparable thermal performance to those achieved with aluminum heat sinks up to fin lengths of approximately 5 cm, but yield approximately 50% higher mass-based heat transfer coefficients 5-6 times higher COP_T values in that height range. Results of the experimental testing and numerical hermo fluid simulation of polyphenylene sulfide (PPS) heat inks are presented.

Aluminum, Al

Subcategory: Aluminum Alloy; Metal; Nonferrous Metal; Pure Element

Close Analogs: Over 1175 Al alloys are listed in MatWeb. Aluminum 1199 is the highest purity (99.99% Al min.) commercially available in structural form.

Component Wt.%

Al 100

Material Notes : This listing for pure aluminum.

	Metric	English	Comments
Physical Properties			
Density	2.6989 g/cc	0.0975 lb/in ²	
Mechanical Properties			
Hardness ,Vickers	15	15	Annealed
Modulus of Elasticity	68 GPa	9860 ksi	
Shear Modulus	25 GPa	3630 ksi	
Electrical Properties			
Electrical Resistivity	2.7×10^{-6} ohm-cm	2.7×10^{-6} ohm-cm	
Magnetic Susceptibility	6×10^{-7}	6×10^{-7}	cgs/g
Critical Magnetic Field Strength,Oersted	101.9-107.9	101.9-107.9	
Critical Superconduction Temperature	1.73-1.77 K	1.73-1.77 K	
Thermal Properties			
Heat of Fusion	386.9 J/g	166 BTU/lb	
CTE,linear 20 ^o c	24 m/m – °C	13.3 in/in - °F	Over the range 20-100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CTE,linear 250°C	25.5 m/m – °C	14.2 in/in - °F	Over the range 20-300 °C
CTE,linear 500°C	27.4 m/m – °C	15.2 in/in - °F	Over the range 20-500 °C
Specific Heat Capacity	0.9 J/g – °C	0.215 BTU/lb - °F	
Thermal Conductivity	210W/m-K	1460 BTU-in/hr-ft-°C	
Melting Point	660.37 °C	1220 °F	
Optical properties			
Emissivity(0-1)	0.2-0.3	0.2-0.3	Strongly oxidation
Emissivity(0-1)	0.05	0.05	Polished 50-500 °C
Reflection Coefficient	0.9	0.9	Tungsten light

References are available for this material.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้