การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมสายแพกับหัวอ่าน ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ปริญญานิพนธ์

ของ

ศิริรัตน์ มหาชน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มีนาคม 2553

การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมสายแพกับหัวอ่าน ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ปริญญานิพนธ์

ของ

ศิริรัตน์ มหาชน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มีนาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมสายแพกับหัวอ่าน ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

บทคัดย่อ

ของ

ศิริรัตน์ มหาชน

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มีนาคม 2553

ศิริรัตน์ มหาชน. (2553). *การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมสายแพกับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: รองศาสตราจารย์.ดร.ไพศาล นาผล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.พิชัย อัษฎมงคล.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อทำการบัดกรีสายแพเข้ากับชิ้นส่วน 2 ชิ้นคือ แขนแอคทิวเอเตอร์และคอนเน็คเตอร์ ประกอบเป็นชิ้นส่วนหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ซึ่งการบัดกรีบางครั้งทำให้ชิ้นงานเสียหายเนื่องจากการใช้ความร้อนสูงเกินไป โดยศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี จากปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิสรุปได้ว่าควรจะควบคุมอุณหภูมิที่ 217 ºC ใช้ในการบัดกรีซึ่งเป็นอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่ว เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนที่เกินความจำเป็น ใช้เวลาในการบัดกรีให้น้อยที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดการนำความร้อนในชิ้นงานมากเกินไปจนบางครั้งอาจทำให้ชิ้นส่วนของชิ้นงานเสียหายได้จากผลการวิจัยไม่ควรเกิน 0.5 วินาที เนื่องจากหลังจาก 0.5 วินาทีผ่านไปเริ่มมีการกระจายตัวของความร้อนไปที่สายแพมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และควรปรับปรุงระบบระบายความร้อนของห้องเพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนจากชิ้นงานอีกทางหนึ่งจากการวิจัยนี้

คำสำคัญ (Keyword): ฮาร์ดดิสก์ / หัวอ่าน / บัดกรี

STUDY ON THE TEMPERATURE DISTRIBUTION OF PAIR RIBBON-READ/WRITE HEAD SOLDER IN HARD DISK DRIVE

AN ABSTRACT

BY

SIRIRAT MAHACHON

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering

at Srinakharinwirot University

March 2010

Sirirat Mahachon. (2010). *Study on the temperature distribution of Pair Ribbon-Read/Write Head solder in hard disk drive* . Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc. Prof. Dr.Paisarn Naphon, Asst. Prof. Dr. Pichai Asadamongkon.

This research is the study of temperature distribution when soldering the ribbon cable to connect it to the 2 components: Actuator arm and Connector to assembly the reading head of hard disk drive using finite element analysis. Effects of soldering temperature, heat transfer, coefficient and soldering time on the temperature distribution are considered. In the manufacturing process, the localized heat in the soldering process can damage ribbon cable if the soldering temperature is too high. We found that the soldering temperature in soldering process should be carefully controlled and it's not much higher than 217^{o}C which is the melting point of the soldering ball lead free in order to prevent the high localized heat as the least time period in soldering process to prevent deterioration in the component part. The time for recommended is not more than 0.5 second due to after that time heat distribution may be effect to ribbon cable. In addition, the ventilation system of the working room is significant effect to transfer of generated heat from the object.

Keyword : hard disk / read/write head / solder

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิขณะทำการเชื่อมสายแพกับหัวอ่าน
ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
ของ
ศิริรัตน์ มหาชน

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ …….. เดือน มีนาคม พ.ศ. 2553

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัษฎมงคล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัษฎมงคล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเลกทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และบริษัท อิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้มอบทุนเพื่อทำการวิจัยตลอดจนให้คำแนะนำและแนวทางในการทำวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล ประธานกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัยเรื่องนี้ พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำ ให้แนวคิดและช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย อัษฎมงคล ที่คอยช่วยแก้ไขปัญหาและให้คำแนะนำจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล รร.จปร. และคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้กำลังใจตลอดจนสนับสนุนในการศึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำวิจัยนี้

ศิริรัตน์ มหาชน

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ……	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัย……	2
ขอบเขตของการทำงานวิจัย……...	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2 ทฤษฎี……	4
โครงสร้างภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์……	4
การบัดกรี……..	6
คุณลักษณะของสารเชื่อมประสานที่ใช้ในการบัดกรี……...	7
กระบวนการเชื่อมประสานในอุตสาหกรรม……	12
หลักการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน……..	13
การพาความร้อน ……..	13
การนำความร้อน ……..	15
การแผ่รังสีความร้อน ……...	17
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์……	17
ขั้นตอนทั่วไปของวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์……..	18
สมการพื้นฐานทั่วไปในสามมิติ……	21
ปัญหาไม่เชิงเส้นในสถาวะคงตัว……	23
ปัญหาไม่เชิงเส้นในสถาวะไม่คงตัว……	27
3 วิธีดำเนินการวิจัย……..	28
ขั้นตอนดำเนินการวิจัย……	28
การสร้างแบบจำลอง……...	29
การหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม……	31
การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ทำการวิจัย……	38
การประมวลผลด้วยโปรแกรม……	41
4 ผลและการวิเคราะห์……..	42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4 (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัว ในแต่ละกรณี..... 44

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัว เปรียบเทียบกันทุกกรณี..... 58

ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาที่มีการบัดกรี..... 61

5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 72

สรุป..... 72

ข้อเสนอแนะ..... 73

บัญชีตาราง

ตาราง **หน้า**

1 ชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของโละบัดกรีไร้สารตะกั่ว..... 10
2 ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวสำหรับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว..... 11
3 ผลลัพธ์ของอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ..... 33
4 จำนวนโนดและเอลิเมนต์ของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ..... 34
5 ผลลัพธ์ของอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ..... 36
6 จำนวนโนดและเอลิเมนต์ของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ..... 37
7 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ 6 กรณี..... 38

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	4
2	Head ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	5
3	แผงวงจรของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	6
4	ช่วงพลาสติกของ Sn-Pb 60/40	7
5	คุณลักษณะการเชื่อมประสานชนิด Sn-Pb	8
6	กระบวนการ Wave Soldering	12
7	อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์แบบ Surface Mount และแบบ Through Hole	13
8	การกระจายความเร็วและอุณหภูมิของของไหล ขณะเกิดการพาความร้อนบริเวณใกล้ผิวให้ความร้อน	14
9	การนำความร้อนบนปริมาตรควบคุมเชิงอนุพันธ์ขนาด dx dy dz	16
10	การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่าง ๆ	18
11	เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ โดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ที่จุดต่อ	19
12	การถ่ายเทความร้อนโดยทั่วไปในสามมิติ	21
13	การแปรผันของสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของทองแดงกับอุณหภูมิ	23
14	การหารากของสมการ f(x) = 0 โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	24
15	แผนผังขั้นตอนดำเนินการวิจัย	28
16	ชิ้นส่วนที่นำมาสร้างแบบจำลอง	29
17	แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ	29
18	ชั้นของสายแพที่ประกอบกับแขนแอคทิวเอเตอร์	30
19	แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ	30
20	ชั้นของสายแพที่ประกอบกับคอนเน็คเตอร์	31
21	จุดที่ทำการบัดกรีที่แขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ	32
22	ตำแหน่งอุณหภูมิ 1-6 ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ	32
23	ตำแหน่งอุณหภูมิที่ 7-12 ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ	33
24	การแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.7 มิลลิเมตรของแบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ.	34
25	ตำแหน่งที่ทำการบัดกรีที่คอนเน็คเตอร์กับสายแพ	35
26	บริเวณตำแหน่งจุดของอุณหภูมิที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์เตอร์กับสายแพ	35
27	ตำแหน่งอุณหภูมิที่ 1-15 ที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ	36

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

28 การแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.6 มิลลิเมตรของแบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ..... 37

29 พื้นที่ผิวที่จับยึดชิ้นงานขณะบัดกรีมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2°C)$ ของแบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ..... 40

30 พื้นที่ผิวที่จับยึดชิ้นงานขณะบัดกรีมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2°C)$ ของแบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ..... 40

31 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 183 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2°C)$ 44

32 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2°C)$..... 46

33 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2°C)$ 49

34 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2°C)$..... 51

35 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2°C)$..... 54

36 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10,100 $W/(m^2°C)$..... 56

37 การกระจายตัวของอุณหภูมิมุมมองด้านข้างชั้นเส้นทองแดงและพลาสติกโพลิไมด์ของแบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ..... 58

38 การกระจายตัวของอุณหภูมิมุมมองด้านบนชั้นเส้นทองแดงและพลาสติกโพลิไมด์ของแบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ..... 59

39 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2°C)$ ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ.... 61

40 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2°C)$ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ..... 63

41 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2°C)$ ของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ..... 66

42 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2°C)$ ของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ..... 69

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย

ในสภาพปัจจุบันอุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยกำลังเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันกับต่างชาติเพื่อดึงให้บริษัทชั้นนำหันมาลงทุนในประเทศไทย จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิต เพื่อรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรม ซึ่งการผลิตฮาร์ดดิสก์ก็เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีอัตราการขยายตัวสูง โดยในแต่ละขั้นตอนของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อให้เกิดความแม่นยำ อีกทั้งยังต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อต้องการลดจำนวนของเสีย ซึ่งนั่นก็หมายถึงการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง และในทำนองเดียวกันผลผลิตที่ออกมาก็ต้องมีประสิทธิภาพสูงสุด

โดยปัญหาที่ยกขึ้นมาทำงานวิจัยนี้ เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขั้นตอนของการเชื่อมต่อสายแพภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยจะทำการบัดกรีด้วยตะกั่ว ซึ่งในกระบวนการดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดความร้อนในสายแพและอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ใกล้บริเวณจุดบัดกรี ซึ่งอาจส่งผลให้บริเวณดังกล่าวได้รับความร้อนสูงมากเกินไปและก่อให้เกิดความเสียหายที่สายแพ หรืออุปกรณ์ข้างเคียงได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมในการบัดกรี การแก้ปัญหานี้อาจทำได้หลายวิธีที่จะทำให้ทราบถึงการกระจายตัวของความร้อน โดยวิธีการที่แม่นยำที่สุดก็คือการทดลอง แต่วิธีนี้ก็มีข้อเสียคือ ต้องสิ้นเปลืองวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง อีกทั้งยังสิ้นเปลืองเวลา ทั้งยังต้องใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพดีราคาแพงอีกด้วย แต่ในปัจจุบันก็ได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ใช้งานง่ายเพียงเลือกเงื่อนไขในการทดลองให้ถูกต้อง และยังสามารถแสดงผลได้หลายรูปแบบสามารถเห็นผลการทดลองได้ชัดเจน เป็นการใช้ต้นทุนน้อยและได้ผลค่อนข้างน่าเชื่อถือได้ ซึ่งงานวิจัยได้นำวิธีการนี้มาแก้ปัญหา เพื่อศึกษาการกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นในสายแพในขณะที่ทำการบัดกรี และสามารถกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการบัดกรีได้

2. วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในสายแพ ขณะทำการบัดกรีสายแพกับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3. ขอบเขตของการทำงานวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะบัดกรีสายแพในฮาร์ดดิสก์
2. ศึกษาและวิเคราะห์ด้วยวิธี ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขทางไฟไนต์อิเลเมนต์

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อช่วยลดความเสียหายของสายแพในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ขณะทำการบัดกรี
2. เพื่อช่วยประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการทดลอง

5. การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นีแมร์ และไซริงเจอร์ (Niemeier; & Seliger. 1998) การจำลองกระบวนการบัดกรี เนื่องจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในกระบวนการบัดกรีแบบอัตโนมัติสำหรับการบัดกรีจุดเดียวที่ต้องการความแม่นยำสูงเป็นกระบวนการที่ต้องใช้คนงานที่มีความชำนาญ จึงทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการบัดกรีแบบจุดเดียวนี้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนผ่านจุดต่อจุด และปัจจัยที่มีผลต่อการบัดกรีเพื่อนำมาพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการบัดกรีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

แกง และคณะ (Kang; et al. 2001) ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปจากการใช้เครื่องบัดกรีด้วยเลเซอร์ บัดกรีชิ้นส่วนของอุปกรณ์ EDFA LD pump โดยใช้วิธีไฟไนต์อิเลเมนต์ทดสอบขบวนการบัดกรี LD pump กับสายสัญญาณแสง โดยชิ้นงานทดสอบจะผ่านผลกระทบทั้งความร้อนและทางกลในระหว่างวัฏจักรของความร้อนและการเย็นตัวที่เกิดขึ้นจากการบัดกรี การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณแสงกับเลนส์ไฟเบอร์ใน LD pump ค่าการกระจัดรวมสุดท้ายของการบัดกรีวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงตลอดจนค่าการกระจัดต่ำสุดใช้วิธีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

ลัก และคณะ (Luk; et al. 2002) เทคโนโลยีการทำสายสัญญาณในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คือ ACF ทำให้มีความยืดหยุ่นและต่อสัญญาณได้ดี งานวิจัยนี้นำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลเสียต่อการผลิต ACF เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกทั้งยังลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตด้อีกด้วย

ชูว์ และคณะ (Chiu; et al. 2003) ศึกษาการนำความร้อน การกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์แปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง ในขณะที่ทำการบัดกรีด้วยโลหะบัดกรีตะกั่ว-ดีบุกโดยบัดกรีโดยใช้วิธีรีโฟล์ โดยงานวิจัยนี้จะสร้างโมเดลและแบ่งเอลิเมนต์โดยวิธีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเร้นท์นำผลมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่วัดได้จริงจากการทดลอง

อีฟรอย และคณะ (Eveloy; et al. 2004) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนด้วยระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขในการทดสอบประสิทธิภาพและทำนายอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิคส์

ประเภท Plastic Quad Flat (PQFP) 160 ขา บนแผงวงจรอิเล็กทรอนิคส์โดยกำหนดสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน พบว่าโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถประเมินจุดสำคัญ เพื่อกำหนดคุณลักษณะในการทดสอบอายุการใช้งาน และการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิคส์ได้อย่างเหมาะสม

คลอบการ์ และคณะ (Klobcar; et al. 2004) แบบจำลองไฟไนต์อิเลเมนต์ GTA กระบวนการเชื่อมที่พื้นผิวทำการวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเชื่อมด้วยวิธีกระบวนการเชื่อมที่พื้นผิวเพื่อนำมาปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ในการบัดกรี ให้ช่วยลดความเครียดที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน พบว่าควรเลือกคุณสมบัติของโลหะบัดกรีให้เหมาะสมกับวิธีการบัดกรีและชิ้นงานที่ต้องการบัดกรี ต่อมาก็ปรับปรุงอุปกรณ์ให้ได้ตรงตามที่ต้องการเพื่อช่วยลดจำนวนชิ้นงานที่เสียหาย

วัลเลย์ (Whalley. 2004) ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิและพฤติกรรมของความร้อนที่เกิดขึ้นขณะบัดกรีด้วยกระบวนการรีโฟล์ในชิ้นส่วน PCB โดยจะวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอร์เรนท์และ CFD หลังจากการใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วโดยกระบวนการรีโฟล์ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น จึงทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับ PCB ในการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ การนำความร้อนโดยใช้กฎทรงมวลในการคำนวณ และใช้ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติวัสดุของ PCB และวัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้เซ็นเซอร์วัดจากสถานที่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง

ยู และคณะ (Yu; et al. 2006) ศึกษากระบวนการเชื่อมด้วยวิธีรีโฟล์โดยใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วในชิ้นงานที่ต่างระดับกันเป็นชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณโดยวิธีจำลองทางความร้อนคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลให้เมื่อทำการบัดกรีแล้วชิ้นงานเย็นตัวได้เร็วขึ้น ดูการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะโลหะบัดกรีหลอมละลาย

สรีนเบริกซ์ และคณะ (Steenberge; et al. 2007) งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนที่เกิดขึ้นขณะบัดกรีด้วยโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วในการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ โดยชิ้นงานที่ทำการวิจัยคือ PCA โดยบัดกรีด้วยวิธีรีโฟล์ วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบผลกับการทดสอบจริง ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ ส่วนประกอบต่างๆมีความร้อนสูงจนกระทั่งความร้อนเข้าสู่ภาวะสมดุล โดยใช้แบบจำลอง 3 แบบคือ CCGA,PBGA และ μBGA ทำให้ได้ผลที่เป็นยอมรับและน่าเชื่อถือ

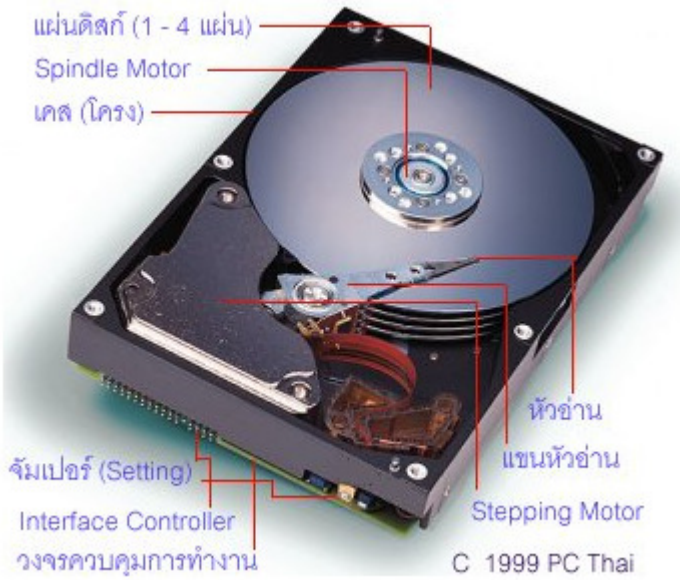
เทียน และคณะ (Tian; et al. 2008) ผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการบัดกรีแบบเจ็ทโดยมีการจำลองเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับการทดลองจริง มุ่งเน้นการเกิดฟลักซ์ โดยการทดลองนั้นจะใช้กล้องที่มีความเร็วสูงในการจับภาพ มาเปรียบเทียบกับผลการทำนายทางคอมพิวเตอร์

ซาเกิลและคณะ(Zakel; et al. 2009) ในการบัดกรีโดยทั่วไปจะส่งผลทำให้เกิดฟลักซ์ ใช้ความร้อนเป็นเวลานานทำให้โลหะบัดกรีหลอมละลาย ทำให้เกิดความเครียดในชิ้นงานและมีกระบวนการบัดกรีที่ประกอบไปด้วยหลายขั้นตอน ในการพัฒนาเทคโนโลยีการบัดกรีจึงจำเป็นต้องลดผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้ งานวิจัยนี้จึงแสดงถึงผลการบัดกรีที่เกิดจากการบัดกรีด้วยเทคโนโลยี SB^2 Jet ซึ่งใช้วิธีแบบรีโฟล์ ควบคุพื้นที่การกระจายตัวความร้อนในชิ้นงานได้ดี ลดการเกิดฟลักซ์และความเครียดในชิ้นงานได้ ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้

บทที่ 2
ทฤษฎี

โครงสร้างภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญทั้งหมดดังนี้



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Platter

มีลักษณะเป็นจานโลหะแข็งแบนวางซ้อนกันอยู่ โดยแต่ละแผ่นจะถูกเคลือบด้วยสารแม่เหล็กบนผิวจานทุกๆ ด้าน และสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้ง 2 ด้าน จำนวนแผ่นของดิสก์บันทึกข้อมูลนี้ขึ้นอยู่กับความจุของฮาร์ดดิสก์

ขนาดของ Platter โดยส่วนใหญ่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.8 – 5.25 นิ้วซึ่งขนาดที่นิยมใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์พีซีทั่วไปคือ 3.5 นิ้ว

Spindle motor

จะเป็นส่วนที่ใช้ยึดแผ่นPlatterแต่ละอันและจะมี Spindle Motorเป็นตัวหมุนแผ่น Platter แต่ละอันด้วยความเร็วตามที่กำหนดไว้โดยมีหลายความเร็วที่ใช้อยู่โดยขึ้นอยู่ กับคุณสมบัติแต่ละรุ่นของฮาร์ดดิสก์โดยความเร็วที่ใช้อยู่ ตัวอย่างเช่น 7,200 รอบต่อวินาที 5,400 รอบต่อวินาที เป็นต้น

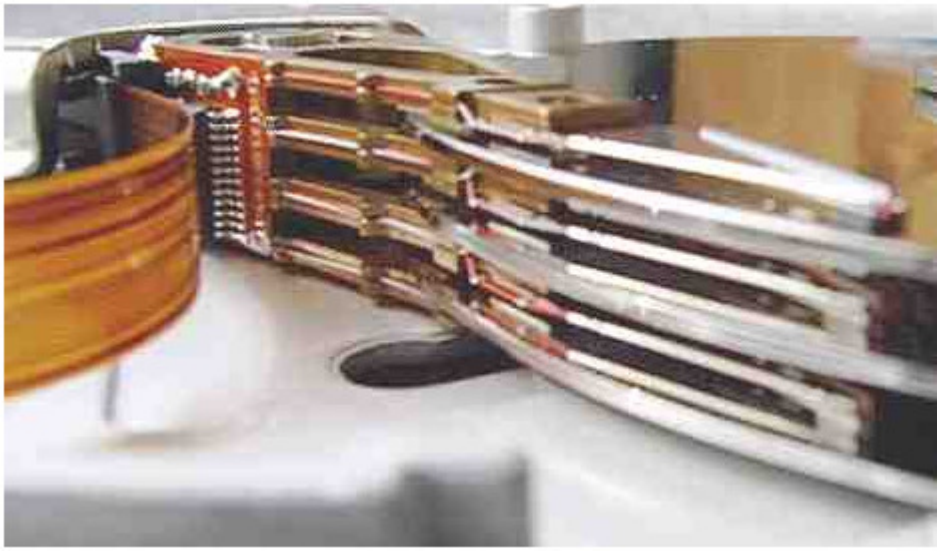
Actuator

เป็นตัวควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลบน Platter ซึ่งจะมีแกนและแขนต่อไปยัง Platter โดยที่ปลายแขน Actuator นี้จะมีหัวอ่านเขียนติดอยู่ทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูล ลงบนแผ่น Platter โดยจะประกบทั้งด้านบนและด้านล่างของแต่ละแผ่น ดังนั้น Platter 1 แผ่นจึงประกอบด้วยหัวอ่านเขียนทั้งหมด 2 หัว

การเขียนข้อมูลนั้นทำได้โดยเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่หัวอ่านเขียน เพื่อให้ไปเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กบนแผ่น Platter อีกทีหนึ่ง ส่วนการอ่านข้อมูลก็ใช้การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่หัวอ่านนี้เช่นกัน

Head

คือส่วนที่ใช้ในการอ่าน/เขียนข้อมูล ทำหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลในPlatter



ภาพประกอบ 2 Head ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Hard disk Controller Circuit

แผงวงจรควบคุมการอ่านและการบันทึกข้อมูลมีลักษณะเป็นแผงวงจร ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นชิปที่มีหน้าที่ควบคุม Actuator ในการอ่านหรือเขียนข้อมูลผ่านหัวอ่านเขียนบนแผ่น Platter โดยการแปลความหมายของคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงควบคุมหัวอ่านเขียนข้อมูลตามคำสั่งนั้น

ภาพประกอบ 3 แผงวงจรของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การบัดกรี

การบัดกรี คือ กระบวนการของการเชื่อมต่อโลหะทั้งสองชิ้น เข้าด้วยกัน ด้วยโลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ

การเชื่อมต่อโลหะทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างจุดเชื่อมต่อทางกระแสไฟฟ้าภายในแผงวงจรอาจกระทำได้หลายวิธี เช่น การใช้โบลท์ และนัท หรือด้วยเทคนิคการขันยึดทางกลอื่นๆ แต่เหตุผลที่ทำให้การบัดกรี เป็นที่นิยมมากที่สุดเพราะการขันยึดทางกลมักได้รับผลกระทบจากการเกิดออกซิเดชั่น และการกัดกร่อนบนผิวโลหะที่เกิดขึ้นตลอดเวลา ทำให้การนำไฟฟ้าระหว่างผิวโลหะทั้งสองมีค่าลดลง นอกจากนั้นหากเกิดการสั่นสะเทือนก็จะทำให้ไม่สามารถรักษาเสถียรภาพของรอยเชื่อมได้ แต่จุดเชื่อมต่อที่ได้จากการบัดกรี จะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวได้เพราะไม่มีการเคลื่อนที่ตรงจุดเชื่อมต่อ และไม่มีผิวสัมผัสที่จะทำให้เกิดออกซิเดชั่น ซึ่งจะได้จุดต่อทางไฟฟ้าที่มีสมบัติการนำกระแสตามชนิดของโลหะผสมที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน

ปรากฏการณ์ภายนอกที่เกิดขึ้นในการบัดกรี จะดูเหมือนกับสารเชื่อมประสารเป็นกาวร้อนหนืดเกาะยึดอยู่กับโลหะ แต่จริงๆ แล้วสิ่งที่เกิดขึ้นคือ สารเชื่อมประสานร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับผิวของโลหะทำให้โมเลกุลของการเชื่อมประสานต และโลหะรวมเข้าด้วยกันเกิดเป็นโละผสมชนิดใหม่ที่มีส่วนประกอบของโลหะและสารเชื่อมประสานที่มีคุณลักษณะเฉพาะของตัวเอง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า Wetting โดยเป็นการสร้างพันธะเชื่อมต่อทางโลหะระหว่างสารเชื่อมประสานกับโลหะ

ปฏิกิริยา Wetting จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อผิวของโลหะปราศจากสิ่งเจือปนและออกไซด์ นอกจากนั้นอุณหภูมิของสารเชื่อมประสาน และโลหะยังต้องอยู่ในค่าที่เหมาะสมด้วย บางครั้งแม้ผิวของโลหะจะดูสะอาด แต่จริงๆ และอาจยังมีชั้นฟิล์มบางๆ ของออกไซด์ปกคลุมอยู่ เพราะออกไซด์เป็นตัวป้องกันไม่ให้สารเชื่อมประสานเข้าสัมผัสกับผิวโลหะ ปฏิกิริยาจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ และรอยเชื่อมก็สามารถหลุดออกได้โดยง่าย

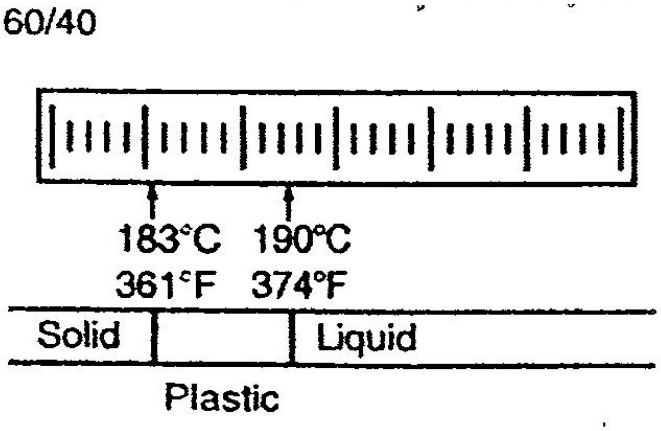
รอยเชื่อมที่มีเสถียรภาพจะเกิดขึ้นบนผิวที่สะอาดเท่านั้น การทำความสะอากผิวจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ แต่ถึงกระนั้นก็ยังไม่เพียงพอ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของออกไซด์บนผิวโลหะที่ได้รับความร้อนเป็นสิ่งที่ขัดขวางการเชื่อมประสาน การที่จะกำจัดฟิล์มของออกไซด์เหล่านี้จำเป็นที่จะต้องใช้สารที่เรียกว่า ฟลักซ์ ซึ่งเป็นส่วนผสมของยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์กับสารปรุงแต่งบางชนิดที่เรียกว่า Activators

หน้าที่ของฟลักซ์ คือการกำจัดออกไซด์บนผิวโลหะ และป้องกันการเกิดออกไซด์ใหม่ในระหว่างการเชื่อมประสาน เนื่องจากฟลักซ์มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนเมื่อตัวเองมีอุณหภูมิเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิหลอมละลายของสารเชื่อมประสาน ทำให้สามารถกำจัดออกไซด์ออกจาผิวโลหะได้อย่างรวดเร็ว

คุณลักษณะของสารเชื่อมประสานที่ใช้ในการบัดกรี

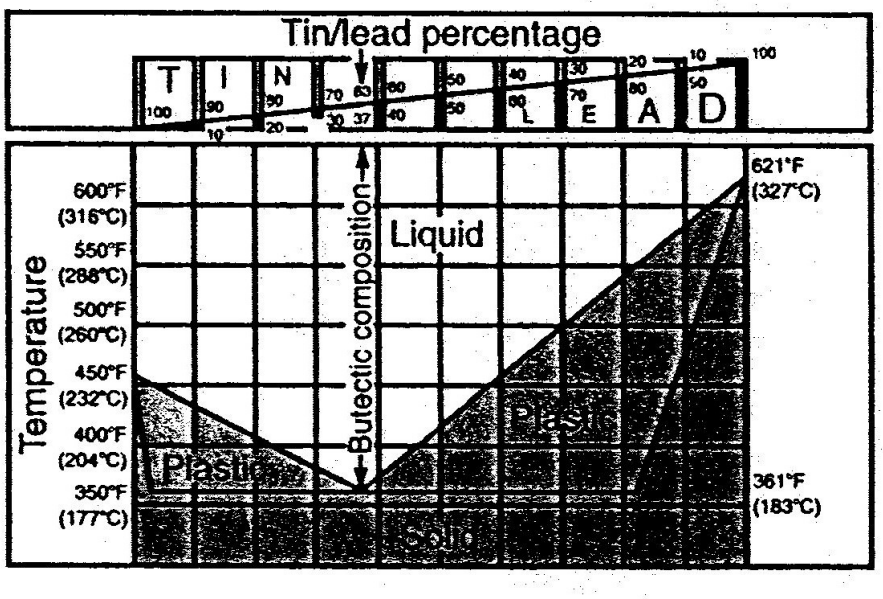
สารเชื่อมประสานที่ใช้ในการบัดกรี เป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำจากส่วนผสมของโลหะต่างชนิดด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน สารเชื่อมประสานที่มักพบได้บ่อย เป็นส่วนผสมระหว่างดีบุก และตะกั่ว เมื่อส่วนผสมเท่าๆ กันจะเรียกว่า Sn-Pb 50/50 หมายถึงมีดีบุก 50 เปอร์เซ็นต์ และตะกั่ว 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ในบางกรณีเลขเปอร์เซ็นต์ที่ระบุให้กับสารเชื่อมประสานต่ละชนิดจะหมายถึงเปอร์เซ็นต์ของดีบุกเพียงอย่างเดียว

ตะกั่วบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวที่ 327° C ส่วนดีบุกมีจุดหลอมเหลวที่ 232°C แต่เมื่อนำมาผสมในสัดส่วน 60/40 จะมีจุดหลอมเหลวลดลงเป็น 190° C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าจุดหลอมเหลวจากสารเพียงชนิดเดียว



ภาพประกอบ 4 ช่วงพลาสติกของ Sn-Pb 60/40

โดยทั่วไปแล้วการหลอมเหลวจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันในคราวเดียว ภาพประกอบ 4 สารเชื่อมประสารที่มีส่วนผสม 60/40 จะเริ่มหลอมเหลวที่ 183° C แต่จะไม่เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์จนกระทั่งมีอุณหภูมิถึง 190° C โดยช่วงระหว่างอุณหภูมิสองค่านี้ สารเชื่อมประสานจะอยู่ในช่วงสภาวะพลาสติก (กึ่งของเหลว) ซึ่งมีบางส่วนที่หลอมเหลวไปแล้ว แต่บางส่วนยังไม่หลอมเหลว



ภาพประกอบ 5 คุณลักษณะการเชื่อมประสานชนิด Sn-Pb

ภาพประกอบ 5 แสดงถึงช่วงพลาสติกของสารเชื่อมประสานที่แปรเปลี่ยนตามอัตราส่วนระหว่างดีบุกกับตะกั่ว โดยดูได้จากแถบค่าอัตราส่วนที่อยู่ด้านบน ซึ่งเมื่อพิจารณาจะเห็นว่าทุกอัตราส่วนจะมีจุดหลอมเหลวเดียวกันคือเริ่มต้นที่ 183° C แต่อุณหภูมิที่จะทำให้เกิดการหลอมเหลวสมบูรณ์จะแตกต่างกันอย่างมาก ยกเว้นที่อัตราส่วน 63/37 ซึ่งไม่มีช่วงพลาสติก และเป็นอัตราส่วนที่ สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะไปมาระหว่างของเหลวกับของแข็งได้ เรียกว่า ยูเตกติก โดยเกิดที่อุณหภูมิ 183° C

สารเชื่อมประสานที่นิยมใช้ในการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ด้วยมือคือชนิด 60/40 แต่เนื่องจากมีช่วงพลาสติกที่ค่อนข้างกว้าง จึงต้องระวังไม่ให้รอยเชื่อมเกิดการเคลื่อนที่ในระหว่างการปล่อยให้เย็นตัว ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นแล้ว จะทำให้ได้รอยเชื่อมที่ดูหยาบ และขรุขระ นอกจากนั้นรอยเชื่อมประเภทนี้ยังจัดอยู่ในรอยเชื่อมที่ไม่มีคุณภาพ และไม่สามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการเสถียรภาพของรอยเชื่อมได้

แต่ปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้สารเชื่อมประสานที่ใช้ในการบัดกรีให้เป็นไปตามกฎของ RoHS หรือ Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment เป็นระเบียบของสหภาพยุโรป (Directive 2002/95/EC) ที่ประกาศอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 27 มกราคม 2546 และจะมีผลบังคับใช้ ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2549 เป็นต้นไป ระเบียบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ จำกัดการใช้สารที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ในสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำให้สามารถจัดการซากเครื่องใช้ไฟฟ้า (WEEE หรือที่รู้จักกันในนาม “ขยะไฮเทค”) ได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น ต้นทุนการกำจัดซากต่ำลง และรีไซเคิลซากได้ง่ายขึ้น ชิ้นส่วน/วัสดุรีไซเคิลที่มีสารพิษน้อยลง จะมีประโยชน์ใช้สอยหลากหลายยิ่งขึ้น ตลาดกว้างขึ้น และก่อให้เกิดธุรกิจรีไซเคิลขยะไฮเทคในที่สุด นอกจากนี้ การบังคับระเบียบที่เข้มงวดเท่าเทียมกันทั่วสหภาพ จะช่วยลดอุปสรรคทางการค้า ทำให้สามารถกระจายสินค้าได้อย่างเสรีทั่วสหภาพ

ระเบียบ RoHS ยอมให้มีการปนเปื้อน Pb, Hg, Cr-VI, PBB และ PBDE ได้ไม่เกิน 0.1% (หรือ 1000 ppm) โดยน้ำหนักใน วัสดุเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Material) และสำหรับแคดเมียม อนุญาตให้มีการปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.01% (100ppm) โดยน้ำหนักในวัสดุเนื้อเดียวกัน

ส่งผลให้จำเป็นต้องใช้โลหะบัดกรีที่ไร้สารตะกั่ว โดยทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้มีประกาศ มอก. 2258-2549 ว่าด้วยเรื่อง โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว โดยมีการระบุชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว และช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวสำหรับโลหะบัดกรี ดังตาราง 1 และ 2 และยังมีการระบุลักษณะการใช้งานแยกตามประเภทของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

ตาราง 1 ชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของโละบัดกรีไร้สารตะกั่ว

ชนิด	ส่วนประกอบทางเคมีร้อยละ 1)											
	ตะกั่ว	พลวง	เงิน	ทองแดง	แคด-เมียม	อลูมิ-เนียม	บิสมัท	สารหนู	เหล็ก	สังกะสี	ดีบุก	สารเจือปนอื่นๆ 2)
Sn94	0.10	0.12	5.4-5.8	0.05	0.002	0.002	0.15	0.01	0.02	0.002	ที่เหลือ	-
Sn95	0.10	0.12	4.4-4.8	0.05	0.002	0.002	0.15	0.01	0.02	0.002	ที่เหลือ	-
Sn96	0.10	0.12	3.4-3.8	0.05	0.002	0.002	0.15	0.01	0.02	0.002	ที่เหลือ	-
Sn96Ag4	0.10	0.10	3.5-4.0	0.05	0.002	0.002	0.10	0.03	0.02	0.002	ที่เหลือ	0.2
Sn96.5Ag3.5	0.10	0.12	3.2-3.8	0.05	0.002	0.002	0.10	0.03	0.02	0.002	ที่เหลือ	0.08
Sn97Ag3	0.10	0.10	3.0-3.5	0.05	0.002	0.002	0.10	0.03	0.02	0.002	ที่เหลือ	0.2
AM	0.10	0.8-1.2	0.4-0.6	2.8-3.2	0.002	0.002	0.15	0.01	0.02	0.002	ที่เหลือ	-
WS	0.10	1.0-1.5	0.2-0.6	3.5-4.5	0.002	0.002	0.02	0.05	0.02	0.002	ที่เหลือ	-
Sn95Sb5	0.10	4.5-5.5	-	0.05	0.002	0.002	0.10	0.03	0.02	0.002	ที่เหลือ	0.08
Bi58Sn42	0.10	0.12	-	0.05	0.002	0.002	ที่เหลือ	0.03	0.02	0.002	41-43	0.08
Bi57Sn43	0.05	0.10	0.5	0.05	0.002	0.002	ที่เหลือ	0.03	0.02	0.002	42.5-43.5	0.2
Sn99Cu1	0.10	0.05	0.5	0.45-0.90	0.002	0.002	0.10	0.03	0.02	0.002	ที่เหลือ	0.2
Sn97Cu3	0.10	0.05	0.5	2.5-3.5	0.002	0.002	0.10	0.03	0.02	0.002	ที่เหลือ	0.2
Sn50In50	0.05	0.05	0.01	0.05	0.002	0.002	0.10	0.03	0.02	0.002	49.5-50.5	0.2

หมายเหตุ 1) ส่วนประกอบทางเคมีต้องไม่เกินค่าที่ระบุในตารางหากไม่กำหนดเป็นช่วงหรืออย่างอื่น

2)สารเจือปนอื่นๆ ยกเว้น พลวง ทองแดง และ บิสมัท

ตาราง 2 ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวสำหรับโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

ชนิด	ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว	
	อุณหภูมิแข็งตัวหมด ºC	อุณหภูมิหลอมเหลวหมด ºC
Sn94	221	280
Sn95	221	245
Sn96	221	221
Sn96Ag4	221	221
Sn96.5Ag3.5	221	221
Sn97Ag3	221	230
AM	220	230
WS	225	350
Sn95Sb5	235	240
Bi58Sn42	139	139
Bi57Sn43	138	138
Sn99Cu1	230	240
Sn97Cu3	230	250
Sn50In50	117	125

ลักษณะการใช้งานโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว

1. Sn96 เป็นโลหะสำหรับบัดกรีพิเศษเฉพาะด้านมีความต้านแรงดึงของรอยบัดกรีสูง เจาะจงใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องมาจากไม่เป็นพิษ และมีสีเข้ากับเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม

2. Sn96Ag4,Sn96.5Ag3.5,Sn97Ag3 เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่นการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และชิ้นส่วนยานยนต์

3. Sn95,Sn94,AM และ WS ใช้สำหรับอุปกรณ์การแพทย์และเครื่องประดับ ใช้ต่อท่อทองแดงสำหรับระบบน้ำบริโภคและอุตสาหกรรมมอาหาร เป็นโลหะบัดกรีที่มีความสามารถในการเปียก (Wetting) สูงและทนต่อความร้อนสูง

4. Sn95Sb5 ใช้สำหรับบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 240 องศาเซลเซียส มีความต้านแรงดึงสูงสามารถใช้บัดกรีท่อทองแดงในการทำความร้อนด้วยแสงอาทิตย์ ท่อประปาและอุปกรณ์ทำความเย็น

5. Bi58Sn42, Bi57Sn43, Sn50In50 เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ

6. Sn99Cu1 ใช้สำหรับการบัดกรีอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์โดยวิธีเวฟโซลเดอร์ริง (Wave soldering)

7. Sn97Cu3 ใช้สำหรับเคลือบขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

กระบวนการเชื่อมประสานในอุตสาหกรรม

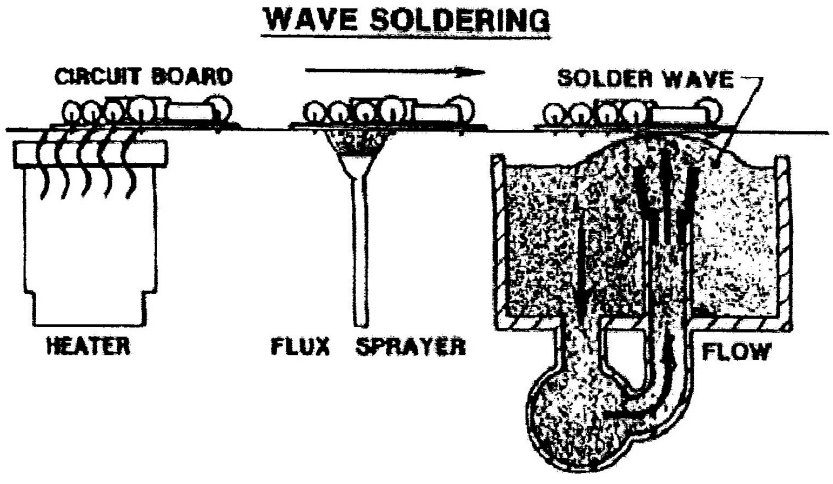
การเชื่อมประสานอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ เข้ากับแผงวงจรพิมพ์ในระดับอุตสาหกรรม เป็นการเชื่อมประสานด้วยเครื่องจักร สามารถจำแนกได้สองแบบคือ

กระบวนการ Reflow Soldering หมายถึงกระบวนการเชื่อมประสานที่แยกขั้นตอนของการให้ความร้อน และการใส่สารเชื่อมประสานออกจากกัน โดยขั้นตอนของกระบวนการ Reflow Soldering จะเริ่มจากการเตรียมสารเชื่อมประสาน ให้อยู่บนตำแหน่งที่ต้องการของแผงวงจรพิมพ์เปล่า ด้วยเทคนิคการลอกลาย จากนั้นอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์จะถูกไปวางไว้ตรงตำแหน่งดังกล่าว แล้วจึงทำการให้ความร้อนด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อให้สารเชื่อมประสานเกิดการหลอมละลาย

กระบวนการ Reflow Soldering ที่มีใช้กันในอุตสาหกรรมสามารถจำแนกตามลักษณะของการให้ความร้อนได้ดังนี้

1. การใช้ลำแสงอินฟาเรด
2. การใช้ความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะไอของของไหล
3. การพาจากแก๊สร้อน
4. การใช้ตัวนำความร้อน
5. การใช้แสงเลเซอร์
6. การใช้การสั่นสะเทอนของคลื่นเสียง

กระบวนการ Wave Soldering ขั้นตอนการให้ความร้อนกับการใส่สารเชื่อมประสานเข้ากับแผงวงจรจะเกิดขึ้นพร้อมกันโดยสารเชื่อมประสานจะถูกทำให้พร้อมใช้งานในสถานะของเหลวร้อน ในอ่างเก็บ รอให้แผงวงจรที่มีการจัดวางอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์เลื่อนผ่าน และใช้ปั้มทางกลสร้างลูกเลื่อนที่มีความสูงเหมาะสม เพื่อให้สัมผัสกับขาของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ และเข้าแทรกตัวเป็นพันธะเชื่อมต่อกับแผงวงจรพิมพ์ ตามภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 กระบวนการ Wave Soldering

Surface Mount Device Through Hole Device

ภาพประกอบ 7 อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์แบบ Surface Mount และแบบ Through Hole

ข้อแตกต่างของกระบวนการทั้งสอง อยู่ที่การนำไปใช้กับชนิดของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ โดย Wave Soldering จะใช้กับอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์แบบ Through Hole Device ซึ่งจำเป็นต้องสอดขาร้อยเข้ากับแผงวงจรเพื่อการบัดกรี ส่วน Reflow Soldering นั้นจะใช้กับอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์แบบ Surface Mount Device ที่สามารถเชื่อมต่อขาบนพื้นผิวของแผงวงจรได้ ความแตกต่างของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ทั้งสองแบบดังแสดงภาพประกอบ 7

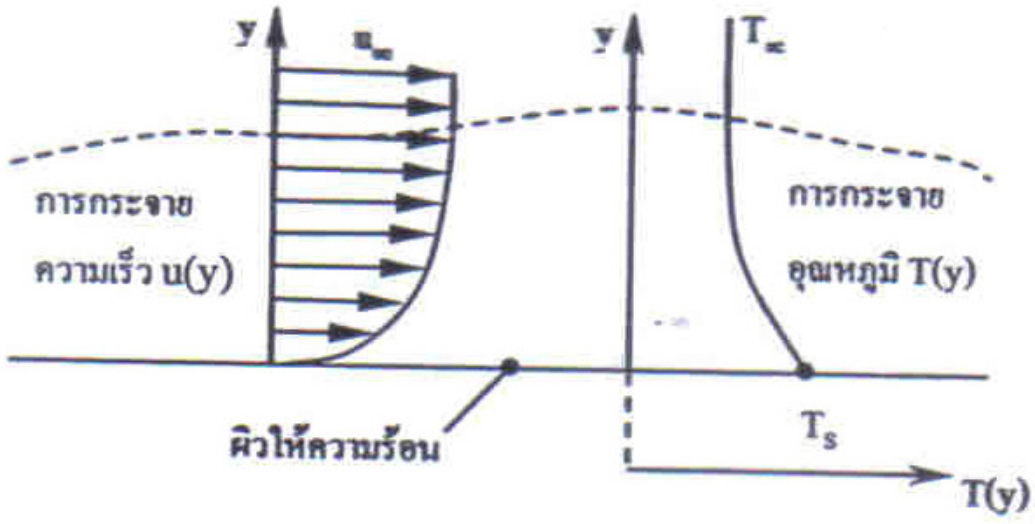
หลักการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) คือการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อน (Thermal Energy) จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ กลไกการถ่ายเทความร้อนมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ การพา (Convection) การนำ (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation)

การพาความร้อน (Convection)

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับผิวความร้อนของของแข็ง แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี กรณีแรกเป็นการกระจายหรือนำพลังงานความร้อนผ่านของไหล เพราะมีความแตกต่างของคุณสมบัติภายในของไหลนั้น กรณีที่สองคือการถ่ายเทพลังงานภายในของไหล เนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหล จากการวิเคราะห์พบว่าการกระจายความร้อนหรือการนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์ทางการส่งถ่ายโมเลกุลของสสาร (Molecular transport) ซึ่งอัตราการกระจายความร้อนหรือนำความร้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของสสารและสภาพแวดล้อมทางความร้อน กรณีหลังสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าคือการเคลื่อนที่หรือการไหลของของไหล รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพความร้อนของของไหล และลักษณะทางความร้อนของผิวความร้อนของของแข็ง

สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนนั้น จะอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นกลไกหลักให้พลังงานเกิดการถ่ายเท ซึ่งก็คือความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวความร้อนของของแข็งและของไหล



ภาพประกอบ 8 การกระจายความเร็วและอุณหภูมิของของไหล ขณะเกิดการพาความร้อนบริเวณใกล้ผิวให้ความร้อน

กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของพลังงานจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปด้วย ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของลมที่ผ่านหน้าขดลวดความร้อน ลมดังกล่าวก็จะมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย นอกจากนี้การถ่ายโอนความร้อนแบบพายังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหารหลายชนิด ไม่ว่าจะโดยตรง หรือ ในด้านการใช้ลมหรือน้ำเป็นสารตัวกลางในกระบวนการ การพาความร้อนสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 แบบดังนี้

1. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่พร้อมๆ กับทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน มักจะอาศัยอุปกรณ์ช่วย ตัวอย่างเช่น ปั๊ม พัดลม การพาความร้อนแบบบังคับนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ

2. การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection)

กลไกการเกิดการถ่ายโอนความร้อนมักเกิดเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นในระบบ ตัวอย่างเช่น การถ่ายโอนความร้อนของอาหารภายในกระป๋องที่ผ่านการทำเย็นหลังจากการฆ่าเชื้อ ภายในกระป๋องจะมีการเคลื่อนที่ความร้อนเนื่องจากความหนาแน่น การถ่ายโอนในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้า

ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบพาในลักษณะใดก็ตามแต่มีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อนเหมือนกันคือ

$$q = hA\Delta T \tag{2.1}$$

ในสมการที่ (2.1) เรียกว่า กฎการเย็นตัวของนิวตัน "Newton's cooling law"

เมื่อ q คือปริมาณความร้อนที่เกิดการถ่ายโอนเนื่องจากการพา (W/m^2)

h สัมประสิทธิ์การพาความร้อน $W/m^2\ ^0C$

A พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน m^2

ΔT ผลต่างของอุณหภูมิ ^0C

ในการหาความต้านทานของการไหลของความร้อนแสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

$$R = \frac{1}{hA} \tag{2.2}$$

การพาความร้อนจะสร้างความต้านทานให้กับการถ่ายโอนความร้อนเมื่อเกิดการไหลของความร้อนในลักษณะการไหลแบบราบเรียบ โดยที่เกิดชั้นของของไหลร้อนเสมือนว่าเป็นชั้นที่ผิวหน้า ทำหน้าที่เป็นฉนวนในการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งการจะขจัดทำได้ยาก จนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลเป็นแบบปั่นป่วน โดยทั่วไปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ในสมการที่ (2.1) ของการพาความร้อนแบบบังคับ จะมีค่าสูงกว่าการพาแบบธรรมชาติ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน(h)ขึ้นอยู่กับ

-ลักษณะการไหล (การไหลแบบราบเรียบ หรือ ปั่นป่วน)

-ลักษณะของสภาวะการไหล (ไหลผ่านวัสดุใด หรือว่า ไหลในท่อ เป็นต้น)

มีการศึกษาทดลองเพื่อหาค่า h ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันไปโดยอาศัย การวิเคราะห์มิติ (Dimension analysis) หาความสัมพันธ์ทางตัวเลขต่างๆ ที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในการทดลอง และตรวจสอบอัตราการถ่ายโอนความร้อนย้อนกลับเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของค่า h ที่ได้

การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง โดยส่งถ่ายจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่โมเลกุลหนึ่งอย่างต่อเนื่อง สามารถเกิดขึ้นได้ในของแข็ง และของไหลที่อยู่นิ่ง อัตราการนำความร้อนผ่านตัวกลางคำนวณได้จากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's Law)

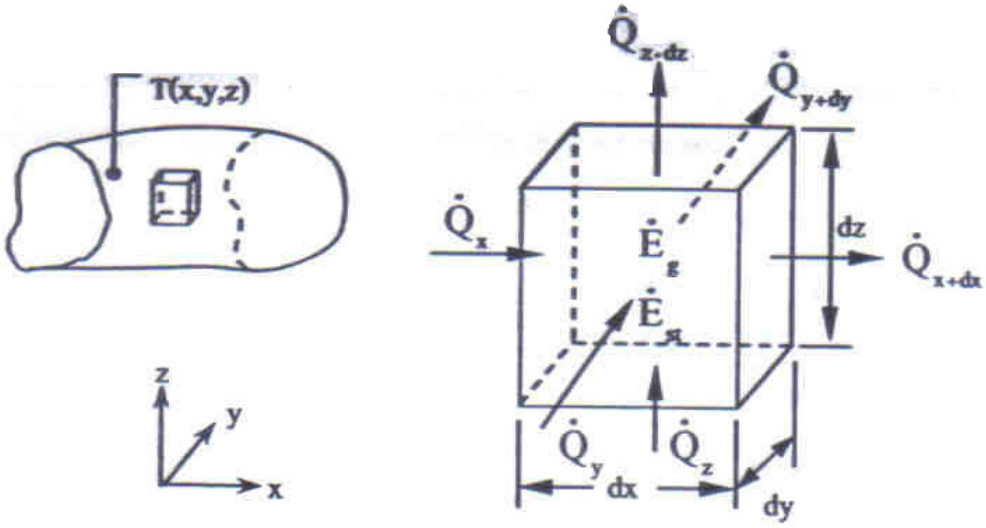
$$q = -k_a \frac{\partial T}{\partial n} \tag{2.3}$$

q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หรือฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)

k_a คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนในทิศทาง n ($W/m^2\ ^\circ C$)

$\frac{\partial T}{\partial n}$ คือ เกรเดียนท์ของอุณหภูมิในทิศทาง n

จากสมการ (2.3) จะเห็นว่า ฟลักซ์ความร้อนเป็นฟังก์ชั่นของการกระจายอุณหภูมิภายในตัวกลาง โดยการกระจายอุณหภูมิจะหาได้จากสมการสมดุลพลังงาน ส่วนเครื่องหมายลบในสมการนี้ แสดงว่าการไหลของความร้อนมีค่าเป็นบวก ในทิศทางที่อุณหภูมิลดลง



ภาพประกอบ 9 การนำความร้อนบนปริมาตรควบคุมเชิงอนุพันธ์ขนาด dx dy dz

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) เป็น คุณสมบัติทางกายภาพด้านความร้อนของสสารและสสารที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี เช่น โลหะเกือบทุกชนิดจะมีสัมประสิทธ์การนำความร้อนสูง ส่วนวัสดุที่เป็นฉนวนจะมีสัมประสิทธ์การนำความร้อนต่ำ สัมประสิทธ์การนำความร้อน ของวัสดุต่างๆ

การถ่ายเทความร้อนให้แก่ของแข็งจะเป็นเหตุให้ส่วนหนึ่งของของแข็งอยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสถานะของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง หรืออาจหลอมเหลวเป็นสถานะของเหลว สถานการณ์ที่กลับกันก็เกิดขึ้นได้เมื่อของเหลวหรือ Vapor ถูกทำให้แข็งตัวโดยการดึงเอาความร้อนออก ทั้งสองกระบวนการนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนอยู่ภายใต้หลักการนำความร้อนทั้งสิ้น จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานเข้าระบบ + พลังงานออกระบบ + พลังงานที่ถูกสร้างขึ้น = พลังงานสะสม

จากสมการสมดุลพลังงานความร้อนที่ไหลผ่านปริมาตรควบคุม จะได้สมการการนำความร้อนเชิงอนุพันธ์เป็น

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q_{gen}=\rho c_p\frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.4)$$

q_{gen} คือ อัตราการผลิตความร้อน

ρ คือ ความหนาแน่น

c_p คือ ความร้อนจำเพาะ

t คือ เวลา

T คือ ฟังก์ชั่นการกระจายอุณหภูมิตามตำแหน่ง x, y, z ในตัวกลาง

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือ พลังงานความร้อนซึ่งแผ่ออกโดยสาร ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ แม้ว่าเราจะเน้นการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวที่เป็นของแข็ง แต่การแผ่รังสีนั้นสามารถเกิดขึ้นโดยของเหลว หรือก๊าซ และไม่ว่าสารจะมีสถานะใดก็ตาม การแผ่รังสีจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ อิเล็กตรอนในอะตอมของสาร พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งออกมาในรูปของ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) และในขณะที่การนำและการพาความร้อนจำเป็นต้องมีตัวกลาง แต่การแผ่รังสีความร้อนนั้นไม่ต้องการตัวกลาง ซึ่งที่จริงแล้วการแผ่รังสีจะมีประสิทธิภาพที่สุดในสูญญากาศ

รังสีความร้อนที่ผิวใด ๆ สามารถแผ่ออกไปได้มากที่สุด (maximum flux ; W/m^2) นั้นเป็นไปตามสมการซึ่งเรียกว่า “Stefan – Boltzmann Law”

$$q''=\varepsilon o T_5^4 \quad (2.5)$$

สมการการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวทางอุดมคติซึ่งเรียกว่า “วัตถุดำ (black body)” ค่า “heat flux” ที่ส่งออกมาจากพื้นผิวที่แท้จริงจะมีค่าน้อยกว่านี้และเป็นไปตามสมการ

เมื่อ ε คือคุณสมบัติของการแผ่รังสีความร้อนตัวหนึ่งซึ่งเรียกว่า “emissivity” เป็นตัวบอกประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวโดยเปรียบเทียบกับวัตถุดำ

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

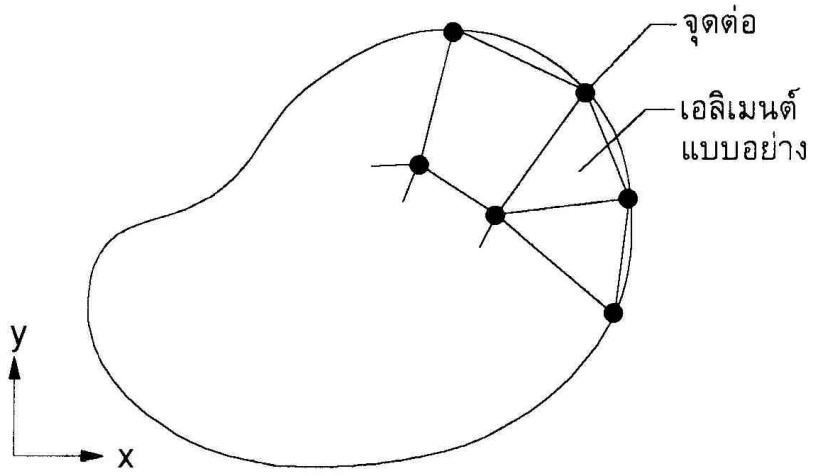
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) ชนิดหนึ่งที่ใช้ขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximated solution) สำหรับปัญหาต่าง ๆในงานทางวิศวกรรมหรือวิทยาศาสตร์ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหานั้นภายใต้เงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกัน โดยรูปทรงของปัญหาอาจมีความซับซ้อน (Complex geometry) เช่นใดก็ได้

ขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้นจากการแบ่ง (Discretization) รูปทรงของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) ย่อยๆ จากนั้นจึงสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Equations) สำหรับแต่ละเอลิเมนต์จากสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่สอดคล้องกับปัญหานั้น แล้วจึงรวม (Assemble) สมการจากแต่ละเอลิเมนต์เข้าด้วยกันก่อให้เกิดระบบสมการขนาดใหญ่ซึ่งอธิบายสถานะภาพโดยรวมของปัญหานั้น จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ ก่อนแก้ระบบสมการขนาดใหญ่นี้เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณตามจุดต่อ (Nodes) ต่างๆทั่วทั้งโดเมน (Domain) ของปัญหา

ขั้นตอนทั่วไปของวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

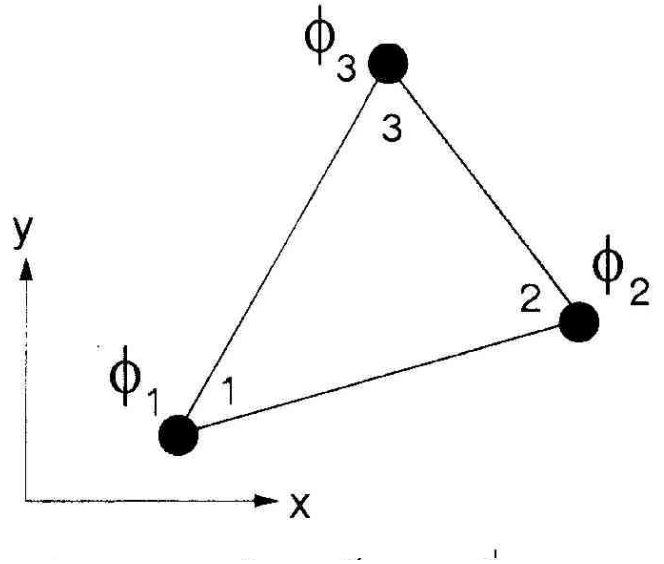
วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆทั้งหมด 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งขอบเขตรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ต้องการที่จะหาผลลัพธ์นั้นออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ภาพประกอบ 10 ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่างๆกัน เช่น ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง (Elasticity problem) ปัญหาที่เกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อน (Thermal problem) รวมทั้งปัญหาของการไหล (Fluid problem)



ภาพประกอบ 10 การแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์แบบต่างๆ

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element interpolation functions) เช่น เอลิเมนต์สามเหลี่ยม ตามภาพประกอบ 11 เอลิเมนต์ดังกล่าวประกอบด้วย 3จุดต่อที่มีหมายเลข 1 2 และ 3 ตามภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ โดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ที่จุดต่อ

โดยที่จุดต่อนี้นั้นเป็นตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่า (Nodal unknown) ซึ่งคือ ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อเหล่านี้ อาจเป็นค่าการยืดหรือหดตัว หากเราทำปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง หรืออาจเป็นค่าอุณหภูมิ หากเราทำปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน หรือไม่ก็อาจเป็นความเร็วของของเหลว หากเราทำปัญหาเกี่ยวกับการไหล เป็นต้นลักษณะการกระจายตัวไม่รู้ค่าบนอิลิเมนต์นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 N_3(x, y)\phi_3 \tag{2.6}$$

โดย $N_1(x, y)$, i = 1, 2, 3 คือฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์

สมการ(2.6) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\phi(x, y) &= \lfloor N_1 \quad N_2 \quad N_3 \rfloor \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \\ &= \underset{(1\times 3)}{\lfloor N \rfloor} \underset{(3\times 1)}{\{\phi\}}\end{aligned} \tag{2.7}$$

โดย $\lfloor N \rfloor$คือเมทริกซ์ของฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ และ $\{\phi\}$คือเวคเตอร์เมทริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

ขั้นตอนที่3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ ตัวอย่างเช่นสมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างดังแสดง ในภาพประกอบ 11 จะอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}_e \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}_e \tag{2.8}$$

ซึ่งเขียนย่อได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \tag{2.9}$$

ขั้นตอนที่3 นี้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ การสร้างสมการของเอลิเมนต์ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการ (2.8) สามารถทำได้โดย

วิธีการตรง

วิธีการแปรผัน

วิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง

ขั้นตอนที่ 4 การนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์มาประกอบกัน ก่อให้เกิดระบบ สมการพร้อมกันขึ้นในรูปแบบดังนี้

$$\sum (element_equation) \Rightarrow [K]_{sys} \{\phi\}_{sys} = \{F\}_{sys} \tag{2.10}$$

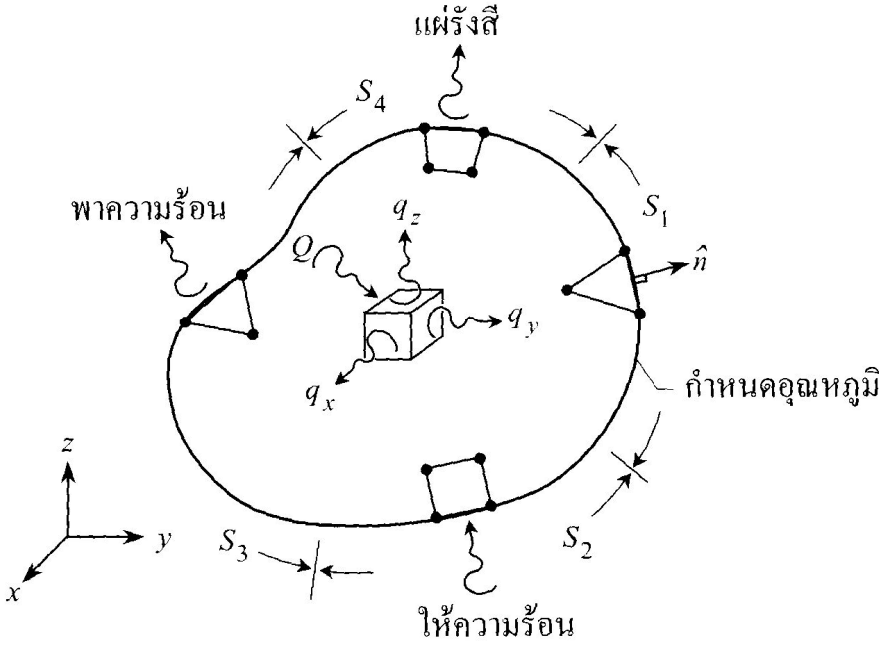
ขั้นตอนที่ 5 ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต ลงในสมการ (2.10) แล้วจึงแก้สมการนั้นเพื่อหา $\{\phi\}_{sys}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ ซึ่งอาจจะเป็นค่าของการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งต่างๆของโครงสร้าง หรือค่าของอุณหภูมิ ที่จุดต่างๆ หากเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับ การถ่ายเทความร้อน หรืออาจเป็นค่า ของความเร็วของของเหลว หากเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการไหลเป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่างๆที่จุดต่อออกมาได้แล้ว ก็สามารถทำการหาค่าอื่นๆที่ต้องการทราบต่อไปได้ เช่น เมื่อเรารู้ค่าการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างเราสามารถนำไปใช้ในการหาความเครียด และความเค้นได้ต่อไป หรือเมื่อรู้อุณหภูมิที่จุดต่างๆ ก็สามารถคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้ หรือเมื่อรู้ความเร็วของของไหลการสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณอัตราการไหลได้

สมการพื้นฐานทั่วไปในสามมิติ

สมการเชิงอนุพันธ์

ภาพประกอบ 12 แสดงการถ่ายเทความร้อนในของแข็งสามมิติที่ประกอบด้วยการนำความร้อนในโดเมน Ω โดยที่พื้นที่ผิวรอบนอก Γ อาจมีการกำหนดอุณหภูมิ การให้ปริมาณความร้อนที่ผิว การพาความร้อน รวมไปถึงการแผ่รังสี



ภาพประกอบ 12 การถ่ายเทความร้อนโดยทั่วไปในสามมิติ

สมการเชิงอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนภายใต้สภาวะไม่คงตัวทั่วไป คือ

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}+\frac{\partial q_z}{\partial z}\right)+Q=\rho c\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2.11)$$

โดย q_x, q_y และ q_z แทนอัตราการถ่ายเทความร้อน (heat flow rate) ในแกน x,y และz ตามลำดับ

Q คืออัตราปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้นได้เอง (internal heat generation)

ρ คือความหนาแน่นมวล (mass density)

c คือความร้อนจำเพาะ (specific heat) ของวัตถุนั้น

T คืออุณหภูมิ (temperature) ที่อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time) t ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นตัวไม่รู้ค่าที่ต้องการหาจากการคำนวณ

จากกฎของฟูริเยร์ (Fourier's Law) อัตราการถ่ายความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความชันของการกระจายของอุณหภูมิ ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบของเมทริกซ์โดยทั่วไปได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{Bmatrix} = -\underbrace{\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}}_{[k]} \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial T}{\partial x} \\ \dfrac{\partial T}{\partial y} \\ \dfrac{\partial T}{\partial z} \end{Bmatrix} \tag{2.12}$$

โดย $[k]$ เรียกว่าเมทริกซ์สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
ซึ่งหากวัตถุนั้นมีคุณสมบัติที่เหมือนกันในทุกทิศทาง (Isotropic material) เมทริกซ์สัมประสิทธิ์การนำความร้อนนี้ลดรูปลงสู่แบบที่ง่าย คือ

$$[k] = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 \\ 0 & 0 & k \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

จาก เงื่อนไขขอบเขตของปัญหาการถ่ายเทความร้อนโดยทั่วไปอาจประกอบด้วย

(1) กำหนดอุณหภูมิที่ผิวตลอดผิว S_1:

$$T_s = T_1(x, y, z, t) \tag{2.14}$$

(2) กำหนดปริมาณความร้อนเข้าตลอดผิว S_2:

$$q_x n_x + q_y n_y + q_z n_z = -q_s \tag{2.15}$$

(3) มีการพาความร้อนตลอดผิว S_3:

$$q_x n_x + q_y n_y + q_z n_z = h(T_s - T_\infty) \tag{2.16}$$

(4) มีการแผ่รังสีออกตลอดผิว S_4:

$$q_x n_x + q_y n_y + q_z n_z = \varepsilon\sigma\left(T_s^4 - \overline{T_\infty^4}\right) - \alpha q_r \tag{2.17}$$

โดย q_s คือปริมาณความร้อนที่พุ่งเข้าสู่วัตถุ (กำหนดให้ปริมาณความร้อนที่พุ่งเข้าสู่ผิวเป็นบวก) ซึ่งอยู่ในทิศที่สวนทางกับปริมาณการนำความร้อนภายในวัตถุที่อยู่ในทิศ $\hat{n}$ ซึ่งพุ่งตรงออกมาจากวัตถุในทิศตั้งฉากกับผิวของวัตถุนั้นอันประกอบด้วยทิศทางโคไซน์ n_x, n_y และ n_z ตามลำดับ, h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, T_s คืออุณหภูมิที่ผิว, T_∞ คืออุณหภูมิของตัวกลางสำหรับการพาความร้อน, ε คือค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสี(Emissivity), σ คือค่าคงตัวของซเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann constant), $\overline{T}_\infty$ คืออุณหภูมิของตัวกลางสำหรับการแผ่รังสี, α คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน (Absorptivity) และ q_r คือปริมาณความร้อนที่ตกกระทบเนื่องจากการแผ่รังสี

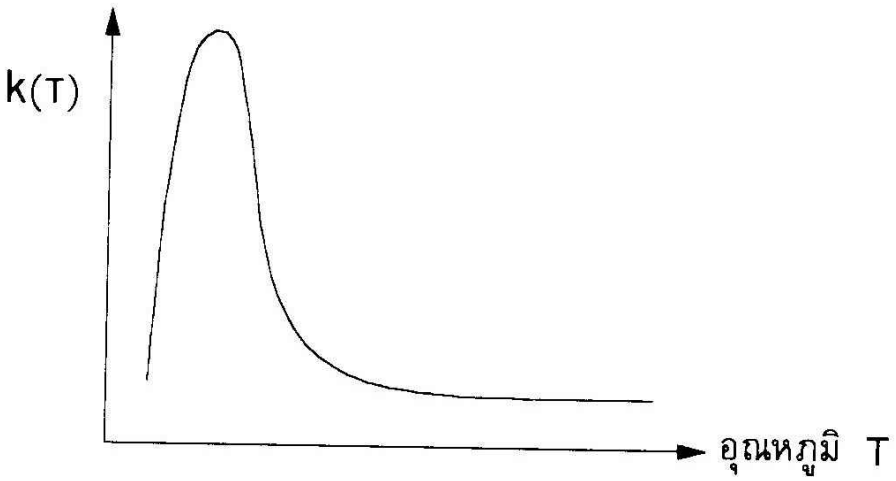
สมการเชิงอนุพันธ์ ต้องการเงื่อนไขตอนเริ่มต้น (Initial condition) ซึ่งโดยทั่วไปสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบได้ดังนี้

$$T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z) \tag{2.18}$$

โดย T_0 แทนอุณหภูมิเริ่มต้นที่ตำแหน่งต่างๆบนวัตถุนั้น

ปัญหาไม่เชิงเส้นในสภาวะคงตัว

คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิอาทิเช่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k, การพาความร้อน h และความร้อนจำเพาะ C_p ดังภาพประกอบ 13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k ของทองแดง ซึ่งมีค่าสูงมากที่อุณหภูมิต่ำ การควบคุมอุณหภูมิของทองแดงให้อยู่ในระดับที่ต่ำจะก่อให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง ซึ่งจะเป็นผลให้ลดอุณหภูมิของเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นในการคำนวณจึงจำเป็นต้องรวมผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเพื่อผลลัพธ์ที่ถูกต้อง



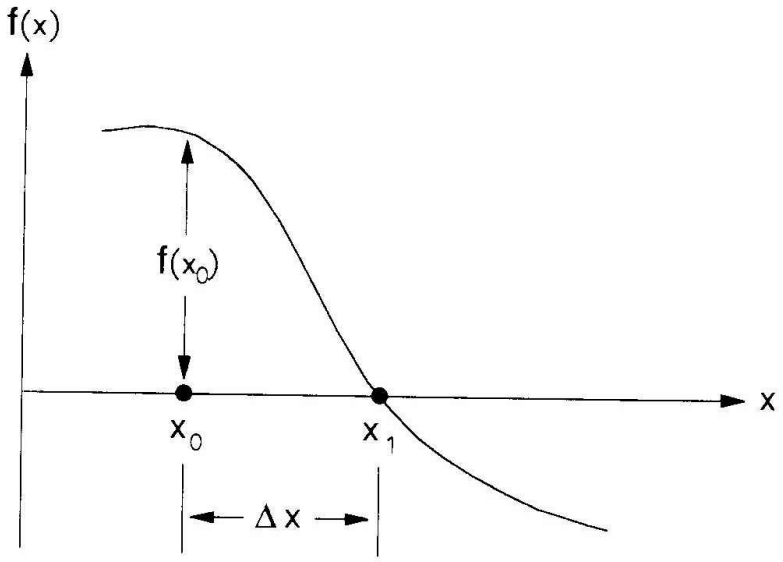
ภาพประกอบ 13 การแปรผันของสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของทองแดงกับอุณหภูมิ

สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้นเช่นนี้ภายในสภาวะคงตัว สมการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทั่วไปสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสั้นๆได้ดังนี้

$$[K(T)]\{T\} = \{Q(T)\} \tag{2.19}$$

เนื่องจากเมทริกซ์จัตุรัส $[K(T)]$นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิไม่รู้ค่า ระบบสมการดังกล่าวจึงเป็นระบบสมการไม่เชิงเส้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทำซ้ำ เพื่อหาผลลัพธ์ของอุณหภูมิที่ถูกต้อง

วิธีการทำซ้ำที่นิยมใช้กันมากก็คือ วิธีการของนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งมีรากฐานมาจากอนุกรมเทย์เลอร์ วิธีการดังกล่าวสามารถทำความเข้าใจได้โดยง่ายหากเราพิจารณาภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 การหารากของสมการ f(x) = 0 โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

ถ้า x_1 เป็นรากของ f(x) = 0 ดังนั้น

$$f(x_1) = f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + \left.\frac{df}{dx}\right|_{x_0} \Delta x + \ldots\ldots = 0 \tag{2.20}$$

ในการคำนวณเราต้องการหาค่า x_1 โดยเริ่มจากการเดาค่า x เราสามารถคำนวณค่า x_1โดยประมาณได้โดยเริ่มจากการคำนวณค่า Δx โดยประมาณจากสมการ(2.20)นี้โดยตัดพจน์ที่มีอันดับสูงทิ้งไป

$$\underbrace{\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_0}}_{J(x^0)} \Delta x = -f(x_0) \tag{2.21}$$

ดังนั้นค่า x_1 โดยประมาณที่มีค่าถูกต้องมากขึ้นคือ

$$x_1 = x_0 + \Delta x \tag{2.22}$$

จากนั้นจึงทำการคำนวณเช่นนี้ซ้ำจนกระทั่ง Δx นั้นเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นวิธีการนิวตัน-ราฟสัน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังแสดงในสมการ (2.22) ซึ่งสรุปได้ดังนี้คือ

1.ทำการแก้สมการ

$$J(x^m)\Delta x^{m+1} = -f(x^m) \tag{2.23}$$

โดย (x^m)เรียกว่า จาโคเบียน และดัชนีบน m แทนการทำซ้ำครั้งที่ m

2.ทำการปรับผลลัพธ์ให้มีค่าถูกต้องมากขึ้นโดยใช้

$$x^{m+1} = x^m + \Delta x^{m+1} \tag{2.24}$$

แล้วจึงตรวจสอบค่าผิดพลาดของผลลัพธ์ หากข้อผิดพลาดนั้นมีค่าน้อยจนเป็นที่พอใจก็หยุดการทำซ้ำ แต่หากค่าผิดพลาดนั้นมีค่ามากเกินกว่าที่จะรับได้ก็ให้วนไปทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 1 ในสมการ (2.23) ใหม่

การแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้นของสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ ก็สามารถทำได้โดยการใช้วิธีของนิวตัน-ราฟสันได้เช่นกัน หากเราเริ่มเดาค่าอุณหภูมิที่จุดต่อต่างๆ แล้วแทนลงในสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (2.19) จะพบว่า

$$[K(T)]\{T\} - \{Q(T)\} \text{ นั้น } \neq 0 \quad \text{แต่จะ} = \{R\} \tag{2.25}$$

โดย $\{R\}$แทนเวคเตอร์ของเศษตกค้าง และหากพิจารณาสมการที่ i ซึ่งเป็นสมการย่อยสมการหนึ่งในสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งประกอบด้วย n สมการนี้ สามารถเขียนสมการดังกล่าวให้อยู่รูปแบบได้ดังนี้

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} K_{ij}(T_1, T_2, ..., T_n)T_j - Q(T_1, T_2, ..., T_n) \tag{2.26}$$

จากนั้นจึงใช้สมการอนุกรมเทย์เลอร์ในรูปแบบทำนองเดียวกันกับสมการ(2.20) จะได้

$$R_i(T_1+\Delta T_1, T_2+\Delta T_2, ..., T_n+\Delta T_n) = R_i(T_1, T_2, ..., T_n) + \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial R_i}{\partial T_j}(T_1, T_2, ..., T_n)\Delta T_j + ... = 0 \quad (2.27)$$

ซึ่งในทำนองเดียวกันเราตัดพจน์ที่มีอันดับสูงทิ้งไปเราจะได้

$$\sum_{j=1}^{n} \frac{\partial R_i}{\partial T_j}(T_1, T_2, ..., T_n)\Delta T_j = -R_i(T_1, T_2, ..., T_n) \quad (2.28)$$

ดังนั้นสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีทั้งหมด n สมการ สมการ(2.28)โดยทั่วไปจึงเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial R_1}{\partial T_1} & \frac{\partial R_1}{\partial T_2} & \cdots & \frac{\partial R_1}{\partial T_n} \\ \frac{\partial R_2}{\partial T_1} & \frac{\partial R_2}{\partial T_2} & \cdots & \frac{\partial R_2}{\partial T_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial R_n}{\partial T_1} & \frac{\partial R_n}{\partial T_2} & \cdots & \frac{\partial R_n}{\partial T_n} \end{bmatrix}}_{\underset{(n\times n)}{[J]}} \underbrace{\begin{Bmatrix} \Delta T_1 \\ \Delta T_2 \\ \vdots \\ \Delta T_n \end{Bmatrix}}_{\underset{(n\times 1)}{\{\Delta T\}}} = -\underbrace{\begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix}}_{\underset{(n\times 1)}{\{R\}}} \quad (2.29)$$

โดย $[J]$ เรียกว่า จาโคเบียนเมทริกซ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา และสามารถทำการคำนวณได้สำหรับเอลิเมนต์ชนิดต่าง ๆ

ดังนั้นขั้นตอนในการแก้ไฟไนต์เอลิเมนต์ที่อยู่ในระบบไม่เชิงเส้นจะเริ่มจากการเดาค่าเวคเตอร์ของอุณหภูมิที่จุดต่อต่าง ๆ จากนั้นจึง

1.ทำการแก้สมการ

$$[J(T)]^m \{\Delta T\}^{m+1} = -\{R\}^m \quad (2.30)$$

โดยดัชนีบน m แทนการทำซ้ำครั้งที่ m

2.ปรับผลลัพธ์ของอุณหภูมิ

$$\{T\}^{m+1} = \{T\}^{m} + \{\Delta T\}^{m+1} \tag{2.31}$$

แล้วจึงตรวจสอบค่าผิดพลาดของผลลัพธ์ ในทางปฏิบัติจะทำการทำซ้ำจนกระทั่งผลเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของทุกจุดต่อนั้นมีค่าต่ำกว่า 0.1% อนึ่งการเดาค่าอุณหภูมิที่จุดต่อต่างๆ ในตอนเริ่มต้นการคำนวณนั้นมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงควรเริ่มจากอุณหภูมิที่คิดว่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของอุณหภูมิท้ายสุดให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ปัญหาไม่เชิงเส้นในสภาวะไม่คงตัว

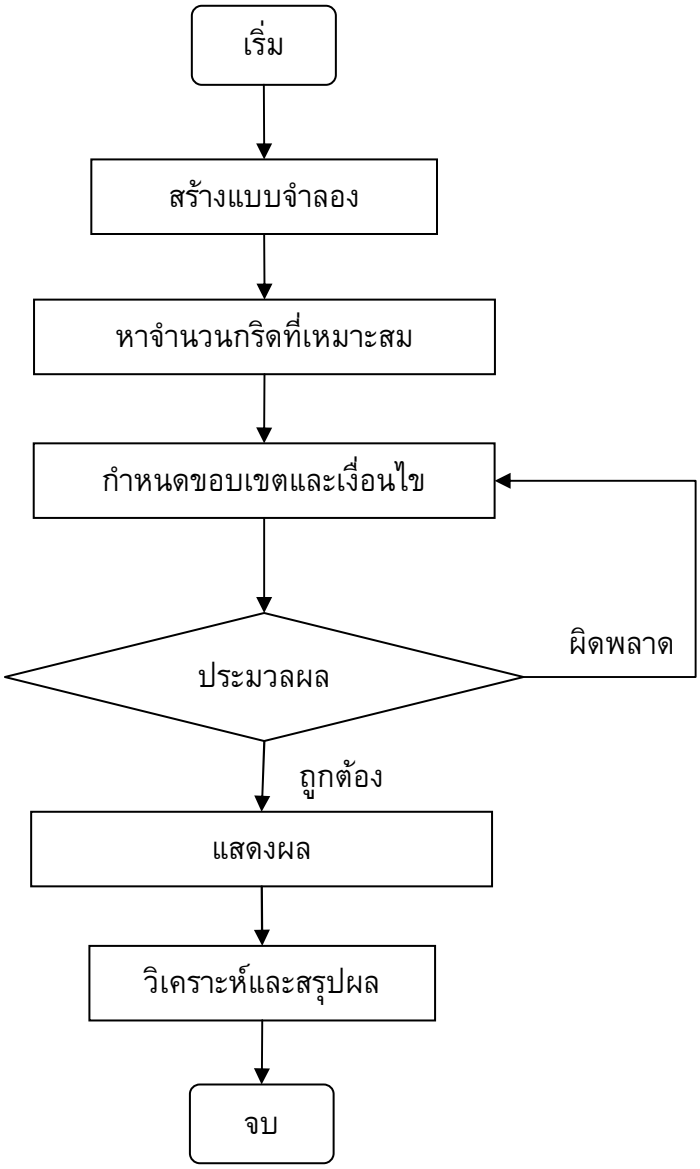
ปัญหาไม่เชิงเส้นในสภาวะไม่คงตัว เป็นปัญหาการถ่ายเทความร้อนในวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งคุณสมบัติต่างๆในเนื้อวัสดุนั้นไม่คงตัวโดยแปรผันไปกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงหรืออาจมีกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีรวมอยู่ด้วย สำหรับปัญหาเช่นนี้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถเขียนอยู่ในรูปสั้นๆ ได้ดังนี้

$$[C(T)]\left\{\dot{T}(t)\right\} + [K(T)]\{T(t)\} = \{Q(T,t)\} \tag{2.32}$$

โดยเมทริกซ์ความจุความร้อน $[C]$ อาจขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอันเนื่องมาจากความร้อนจำเพาะของวัสดุนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามระดับของอุณหภูมิ ส่วนโหลดเวคเตอร์ซึ่งอยู่ทางด้านขวาของสมการ (2.32) อาจเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและเวลาพร้อมกัน การแก้สมการดังกล่าวโดยภาพรวม เป็นการผสมผสานวิธีการแก้ปัญหาภายใต้สถานะชั่วครู่ และวิธีการแก้ปัญหาไม่เชิงเส้น เข้าด้วยกัน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย



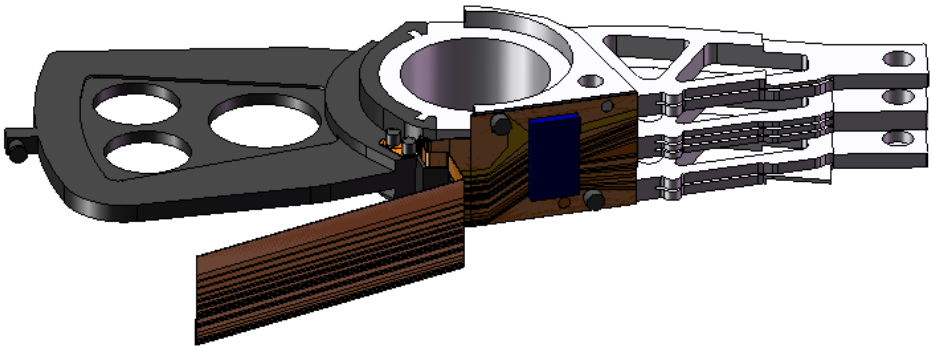
ภาพประกอบ 15 แผนผังขั้นตอนดำเนินการวิจัย

การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว โดยจะทำการวัดขนาดจากชิ้นส่วนจริง และวาดแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ชิ้นส่วนที่นำมาสร้างแบบจำลองจะเป็นส่วนของ แขนแอคทิวเอเตอร์โดยมีสายแพเชื่อมต่อกับคอนเน็คเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายข้อมูล ดังแสดงในภาพประกอบ 16

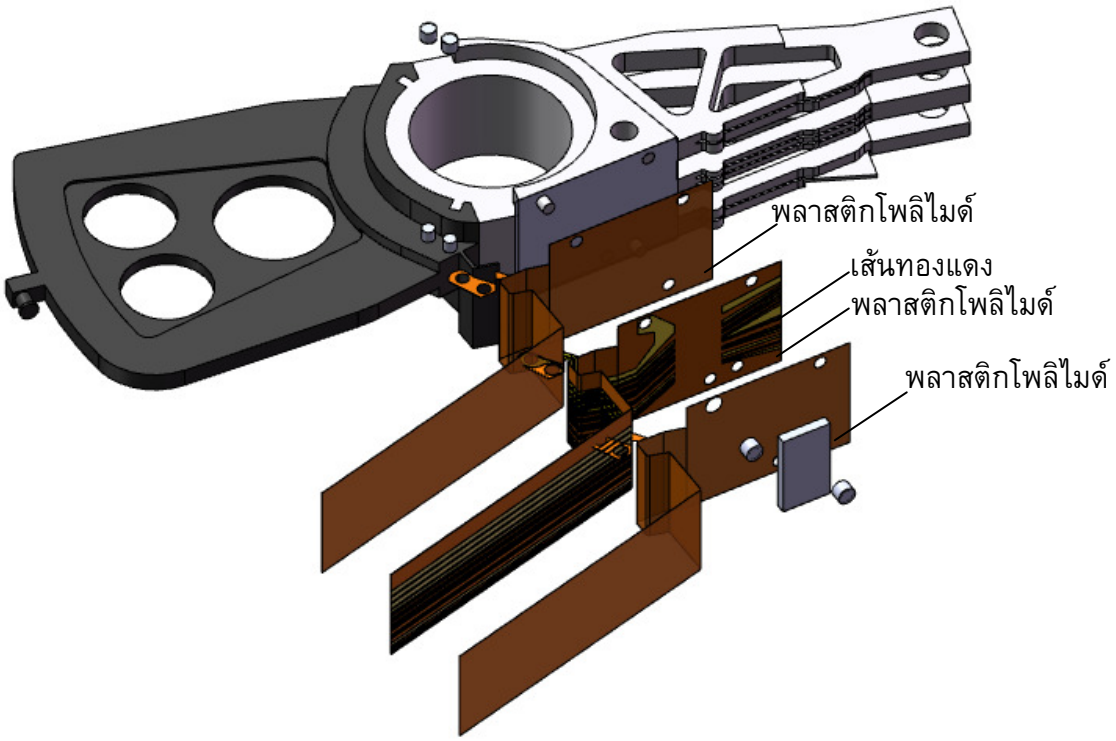
ภาพประกอบ 16 ชิ้นส่วนที่นำมาสร้างแบบจำลอง

แต่เนื่องจากในขณะที่ทำการเชื่อมสายแพด้วยการบัดกรีนั้น จะทำการบัดกรีทีละด้านในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองออกเป็น 2 ชิ้นด้วยกันคือด้านที่ทำการเชื่อมต่อแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพดังภาพประกอบ 17 และด้านที่ทำการเชื่อมต่อคอนเน็คเตอร์กับสายแพดังภาพประกอบ 19 เพื่อเป็นการจำลองที่เสมือนจริงและลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรม

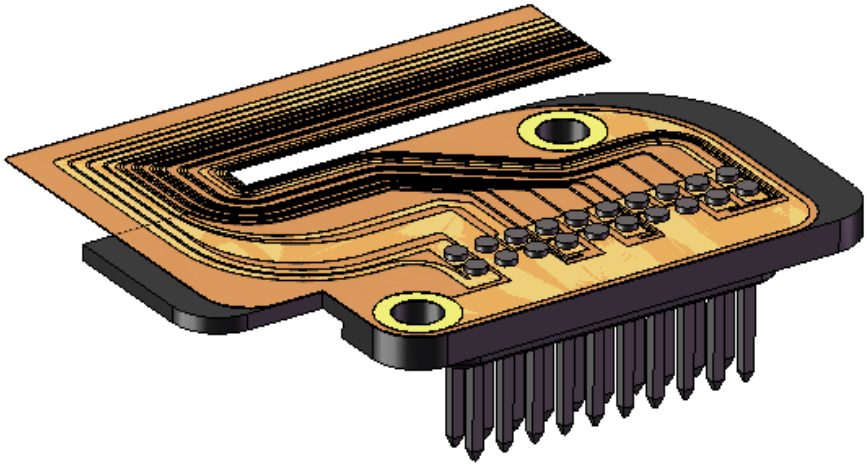


ภาพประกอบ 17 แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

ในส่วนประกอบของสายแพนั้น จะมีการสร้างแบบจำลองเป็นชั้นๆ ประกอบไปด้วย 3 ชั้น ด้วยกันคือ ชั้นของภายนอกทั้งด้านนอกและด้านในคือ พลาสติกโพลิไมด์ ส่วนของชั้นตรงกลางคือเส้นทองแดงประกอบกับพลาสติกโพลิไมด์ ดังที่แสดงในภาพประกอบ 18

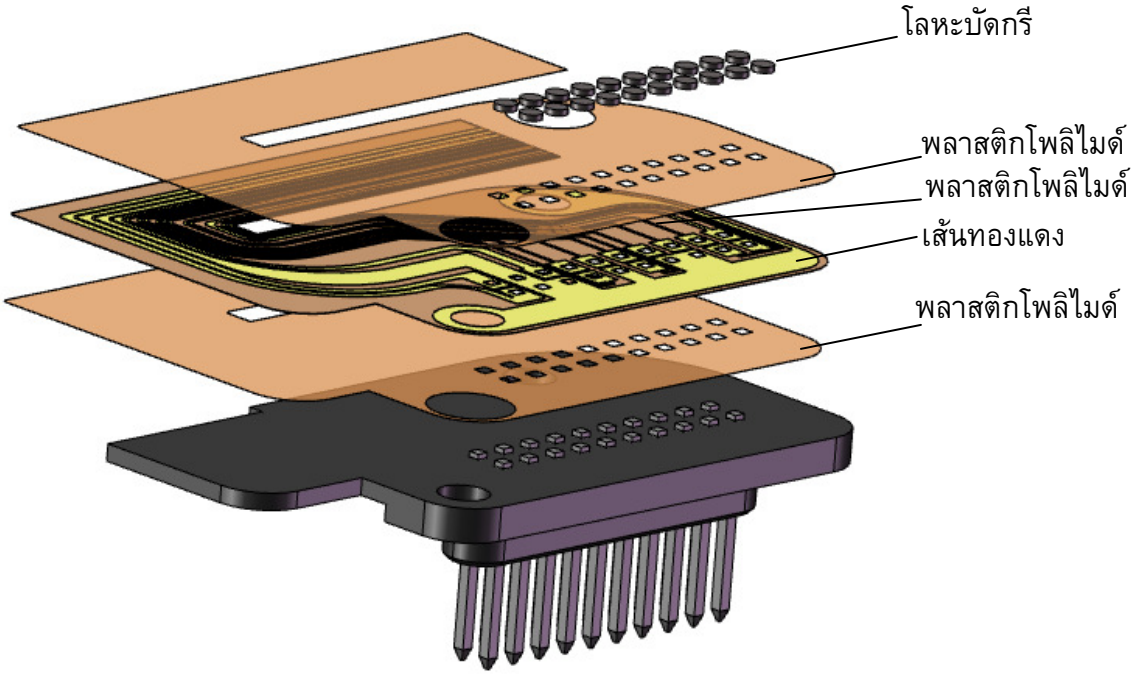


ภาพประกอบ 18 ชั้นของสายแพที่ประกอบกับแขนแอคทิวเอเตอร์



ภาพประกอบ 19 แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

สายแพด้านที่เชื่อมต่อกับคอนเน็คเตอร์ก็จะมีส่วนประกอบเหมือนกับด้านที่เชื่อมต่อกับแขนแอคทิวเอเตอร์ เนื่องจากเป็นสายแพเดียวกัน แสดงลักษณะชั้นของสายแพดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 ชั้นของสายแพที่ประกอบกับคอนเน็คเตอร์

การหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีการแบ่งรูปทรงของปัญหาเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ การแบ่งเอลิเมนต์จำนวนมากๆ จะก่อให้เกิดจำนวนจุดต่อซึ่งประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่ามากขึ้นตามไปด้วย อันเป็นผลต่อเนื่องทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณนานขึ้น อีกทั้งปริมาณหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จำเป็นต้องจัดหาให้นั้นมากขึ้นตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงมากขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์เพิ่มขึ้นเรื่อยก็จะทำให้ผลลัพธ์มีแนวโน้มเข้าใกล้กันมากขึ้น ฉนั้นการเลือกจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมจึงกำหนดจากค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของผลลัพธ์ไม่เกิน 1%

ในการวิจัยได้แบ่งแบบจำลองออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันในการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม จึงต้องมีการหาจากทั้ง 2 แบบจำลอง โดยจะใช้เงื่อนไขและขอบเขตในกรณีเดียวกัน

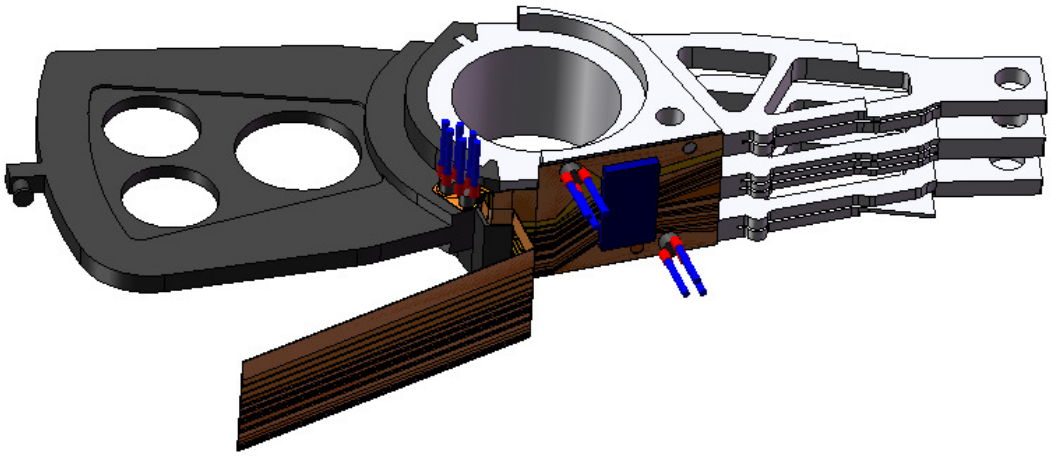
เงื่อนไขและขอบเขตสำหรับการหาจำนวนกริดที่เหมาะสม

- ประเภทของการวิเคราะห์ การถ่ายเทความร้อนสภาวะคงตัว
- อุณหภูมิที่ใช้บัดกรี 183 ºC ที่สามารถหลอมละลายโลหะบัดกรีชนิดผสมตะกั่วได้
- อุณหภูมิห้อง 25 ºC

- สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) 10 $W/(m^2 °C)$ สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องปกติ

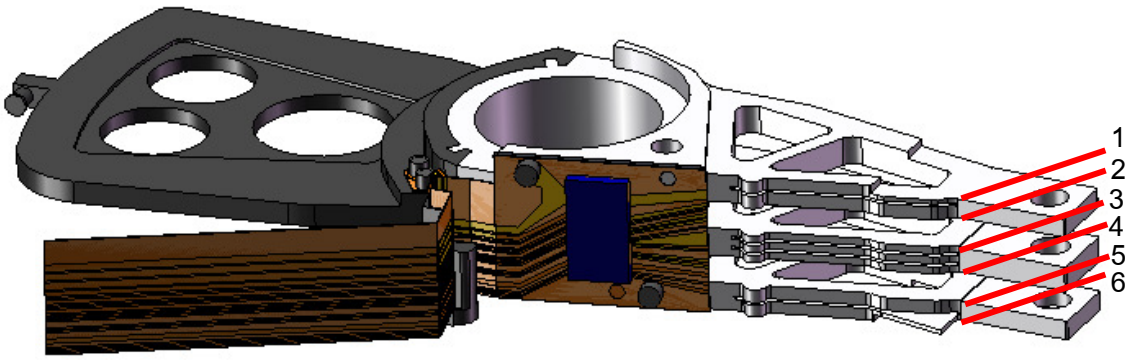
การหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

การกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี 183 ºC ตามจุดที่มีการบัดกรี 4 จุดด้วยกันตามภาพประกอบ 21

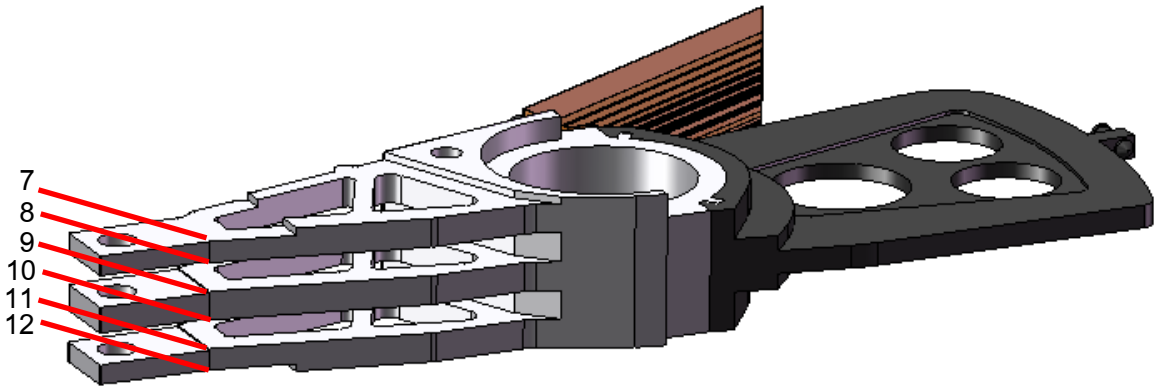


ภาพประกอบ 21 จุดที่ทำการบัดกรีที่แขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

ในการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมจะต้องนำผลลัพธ์ในการคำนวณแต่ละครั้งที่มีการเพิ่มเอลิเมนต์มาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1% จึงกำหนดจุดอุณหภูมิขึ้นมา 12 จุดไว้เพื่อเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ดังภาพประกอบ 22 และ 23



ภาพประกอบ 22 ตำแหน่งอุณหภูมิ 1-6 ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



ภาพประกอบ 23 ตำแหน่งอุณหภูมิที่ 7-12 ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

เริ่มการประมวลผลด้วยโปรแกรม COSMOSWorks โดยใช้ขนาดเอลิเมนต์ 0.8 มิลิเมตรและลดขนาดลงไปทีละ 0.1 มิลลิเมตร ได้ผลลัพธ์ของอุณหภูมิตามตาราง 3

ตาราง 3 ผลลัพธ์ของอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

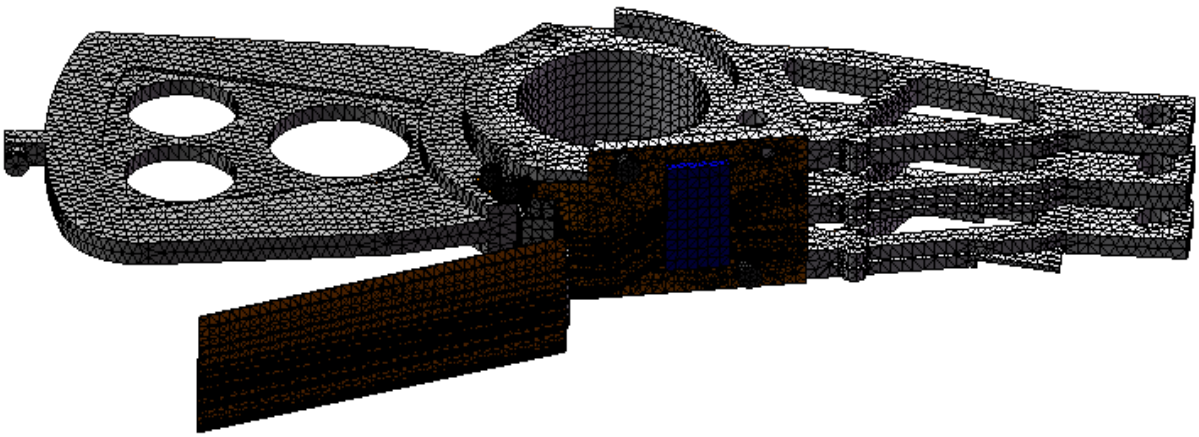
ขนาดเอลิเมนต์	0.8 mm.	0.7 mm.	0.6 mm.
ตำแหน่งอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (ºC)		
1	165.95	165.36	164.96
2	165.97	165.38	164.99
3	166.05	165.47	165.05
4	166.04	165.47	165.05
5	166.15	165.60	165.16
6	166.14	165.58	165.14
7	166.12	165.56	165.12
8	166.13	165.58	165.14
9	166.05	165.47	165.05
10	166.05	165.47	165.05
11	165.97	165.37	164.98
12	165.95	165.36	164.96
%ความผิดพลาดเฉลี่ย	-	0.35	0.25

โดยการเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์ก็จะทำให้จำนวนของเอลิเมนต์และจำนวนของโนดเปลี่ยนไปด้วย ดังตาราง 4 ยิ่งลดขนาดเอลิเมนต์ลงจำนวนเอลิเมนต์และโนดก็จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้โปรแกรมต้องคำนวณสมการมากขึ้น ทำให้ใช้เวลานานและหน่วยความจำมากขึ้น

ตาราง 4 จำนวนโนดและเอลิเมนต์ของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

ขนาดเอลิเมนต์	0.8 mm.	0.7 mm.	0.6 mm.
จำนวนโนด	104050	138410	196058
จำนวนเอลิเมนต์	60886	82627	120285
%ความผิดพลาดเฉลี่ย	-	0.35	0.25

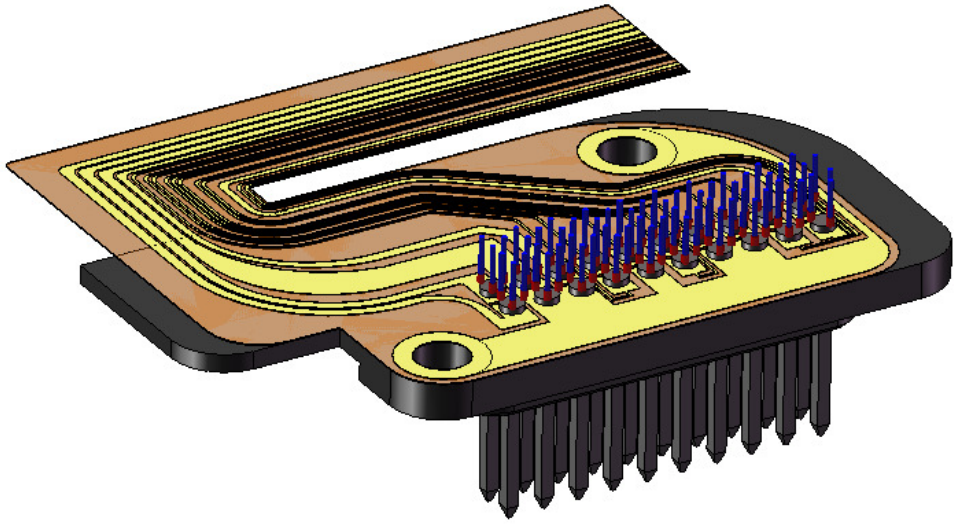
เมื่อเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์จาก 0.8 มิลลิเมตร เป็น 0.7 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นความผิดพลาดเท่ากับ 0.35% ซึ่งถือว่ายอมรับได้มีค่าน้อยกว่า 1% แต่เมื่อลดขนาดลงอีก 0.6 มิลิเมตรก็ทำให้เปอร์เซนต์ความผิดพลาดลดลงอีกซึ่งจำนวนของเอลิเมนต์และโนดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จะทำให้เสียเวลาและหน่วยความจำที่ใช้ในการคำนวน จึงเลือกใช้ขนาดเอลิเมนต์ 0.7 มิลลิเมตรที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดยอมรับได้ และจำนวนของเอลิเมนต์และโนดก็น้อยกว่าเอลิเมนต์ขนาด 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือและใช้เวลากับหน่วยความจำที่ไม่มากเกินไป



ภาพประกอบ 24 การแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.7 มิลลิเมตร ของแบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

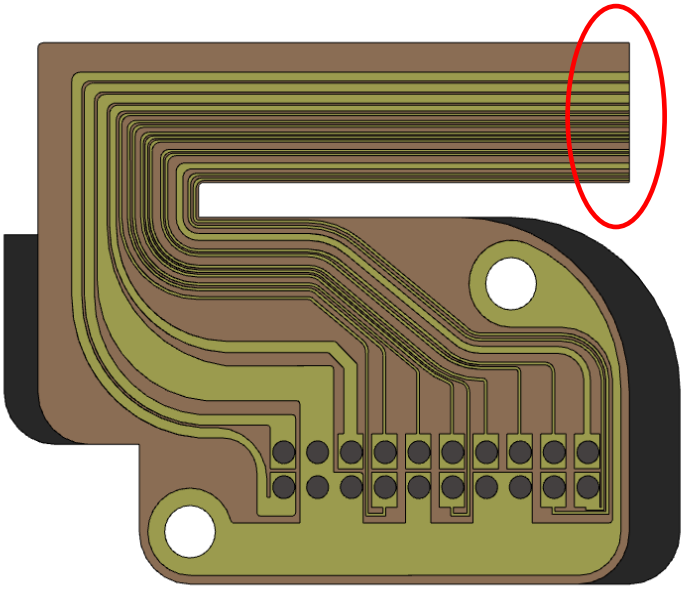
การหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

การกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี 183 ºC ตามจุดที่มีการบัดกรี 20 จุดด้วยกันตามภาพประกอบ 25

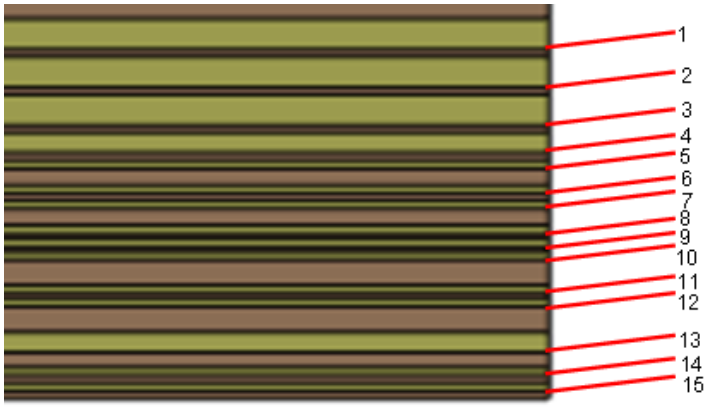


ภาพประกอบ 25 ตำแหน่งที่ทำการบัดกรีที่คอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ในการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมจะต้องนำผลลัพธ์ในการคำนวณแต่ละครั้งที่มีการเพิ่มเอลิเมนต์มาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1% จึงกำหนดจุดอุณหภูมิขึ้นมา 15 จุดไว้เพื่อเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ดังภาพประกอบ 26 และ 27



ภาพประกอบ 26 บริเวณตำแหน่งจุดของอุณหภูมิที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์เตอร์กับสายแพ



ภาพประกอบ 27 ตำแหน่งอุณหภูมิที่ 1-15 ที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

เริ่มการประมวลผลด้วยโปรแกรม COSMOSWorks โดยใช้ขนาดเอลิเมนต์ 0.7มิลิเมตร และลดขนาดลงไปทีละ 0.1 มิลลิเมตร ได้ผลลัพธ์ของอุณหภูมิตามตาราง 5

ตาราง 5 ผลลัพธ์ของอุณหภูมิกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ขนาดเอลิเมนต์	0.7 mm.	0.6 mm.	0.5 mm.
ตำแหน่งอุณหภูมิ	อุณหภูมิ (ºC)		
1	182.32	182.35	182.35
2	182.22	182.34	182.31
3	182.49	182.53	182.51
4	182.53	182.56	182.54
5	182.56	182.59	182.57
6	182.53	182.57	182.53
7	182.53	182.57	182.55
8	182.54	182.58	182.54
9	182.56	182.58	182.57
10	182.54	182.58	182.56
11	182.53	182.55	182.54
12	182.51	182.52	182.51
13	182.34	182.34	182.33
14	182.34	182.41	182.37
15	182.51	182.55	182.54
%ความผิดพลาดเฉลี่ย	-	0.02	0.01

โดยการเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์ก็จะทำให้จำนวนของเอลิเมนต์และจำนวนของโนดเปลี่ยนไปด้วย ดังตาราง 6 ยิ่งลดขนาดเอลิเมนต์ลงจำนวนเอลิเมนต์และโนดก็จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้โปรแกรมต้องคำนวณสมการมากขึ้น ทำให้ใช้เวลานานและหน่วยความจำมากขึ้น

ตาราง 6 จำนวนโนดและเอลิเมนต์ของการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ที่แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ขนาดเอลิเมนต์	0.7 mm.	0.6 mm.	0.5 mm.
จำนวนโนด	98007	140995	194162
จำนวนเอลิเมนต์	56444	83659	117010
%ความผิดพลาดเฉลี่ย	-	0.02	0.01

เมื่อเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์จาก 0.7 มิลลิเมตร เป็น 0.6 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นความผิดพลาดเท่ากับ 0.02% ซึ่งถือว่ายอมรับได้มีค่าน้อยกว่า 1% แต่เมื่อลดขนาดลงอีก 0.5 มิลิเมตรก็ทำให้เปอร์เซนต์ความผิดพลาดลดลงอีกซึ่งจำนวนของเอลิเมนต์และโนดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จะทำให้เสียเวลาและหน่วยความจำที่ใช้ในการคำนวน จึงเลือกใช้ขนาดเอลิเมนต์ 0.6 มิลลิเมตรที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดยอมรับได้ และจำนวนของเอลิเมนต์และโนดก็น้อยกว่าเอลิเมนต์ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือและใช้เวลากับหน่วยความจำที่ไม่มากเกินไป

ภาพประกอบ 28 การแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.6 มิลลิเมตร ของแบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

การกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ทำการวิจัย

การวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาการกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 3 ช่วงอุณหภูมิด้วยกันดังนี้

- 183 ºC อุณหภูมิที่เป็นจุดหลอมเลวของโลหะบัดกรีที่ผสมตะกั่ว
- 217 ºC อุณหภูมิที่เป็นจุดหลอมเลวของโลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่ว
- 275 ºC อุณหภูมิเครื่องยิงเลเซอร์ที่ใช้ในการบัดกรี

นอกจากอุณหภูมิแล้วยังมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เป็นตัวแปรที่จะส่งผลต่อการกระจายตัวของความร้อนอีกด้วย จึงกำหนดสัมประสิทธิ์การพาความร้อนไว้ 2 ค่าด้วยกันคือ

- 10 $W/(m^2 °C)$ สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 ºC)
- 100 $W/(m^2 °C)$ สำหรับการพาความร้อนแบบบังคับ
- การบัดกรีในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 25 ºC

ในการประมวลผลด้วยโปรแกรมกำหนดประเภทของการวิเคราะห์แบบการถ่ายเทความร้อน 2 ประเภทคือ

- การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัว
- การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะไม่คงตัว

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัว

จากขอบเขตและเงื่อนไขที่กล่าวมานั้น จึงแบ่งประเภทของการวิเคราะห์แบบการถ่ายเทความร้อนสภาวะคงตัว ออกเป็นทั้งหมด 6 กรณีด้วยกันดังสรุปไว้ในตาราง 7

ตาราง 7 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ 6 กรณี

กรณีการศึกษาที่	1	2	3	4	5	6
ประเภทของการวิเคราะห์	การถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงตัว					
อุณหภูมิห้อง(ºC)	25	25	25	25	25	25
อุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี(ºC)	183	217	217	275	275	275
สัมประสิทธิการพาความร้อน ($W/(m^2K)$)	10	10	100	10	100	10และ100
บริเวณการพาความร้อน	พื้นที่ผิวภายนอกของแบบจำลอง					ดังภาพประกอบ 30 และ 31

กรณีที่ 1 เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โลหะบัดกรีที่ผสมตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลว 183 ºC จึงเลือกใช้อุณหภูมิของจุดหลอมเหลวเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี และทำการบัดกรีภายในห้องอุณหภูมิปกติ (25 ºC) มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$

กรณีที่ 2 เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลว 217 ºC จึงเลือกใช้อุณหภูมิของจุดหลอมเหลวเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี และทำการบัดกรีภายในห้องอุณหภูมิปกติ (25 ºC) มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$

กรณีที่ 3 เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลว 217 ºC จึงเลือกใช้อุณหภูมิของจุดหลอมเหลวเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี และทำการบัดกรีภายในห้องอุณหภูมิปกติ (25 ºC) แต่มีการพัฒนาให้มีการเพิ่มการพาความร้อนแบบบังคับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจึงเพิ่มขึ้นเป็น 100 $W/(m^2 °C)$

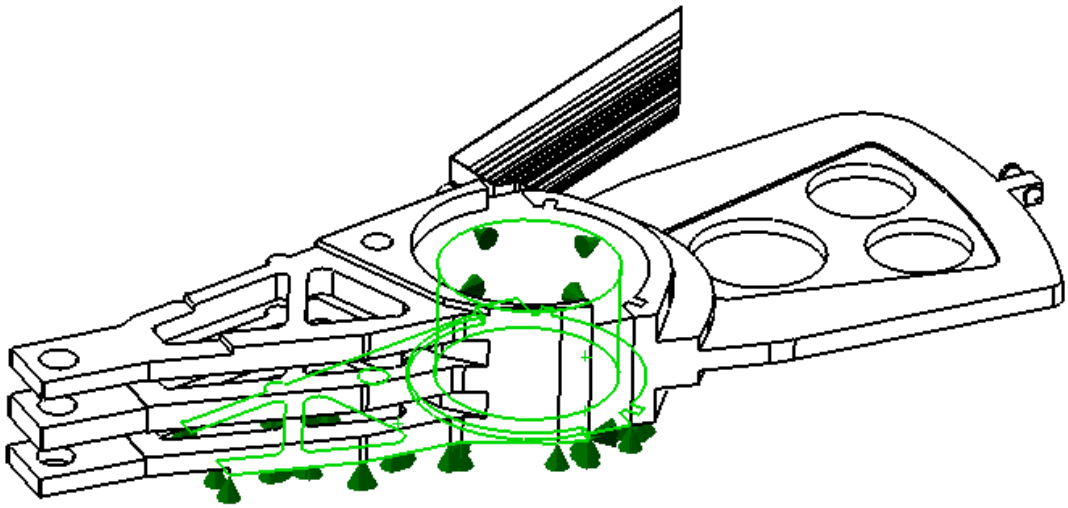
กรณีที่ 4 เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลว 217 ºC และเลือกใช้อุณหภูมิของเครื่องยิงเลเซอร์ที่ใช้ในการบัดกรีจริงที่อุณหภูมิ 275 ºC ซึ่งสามารถหลอมเหลวโลหะบัดกรีได้ และทำการบัดกรีภายในห้องอุณหภูมิปกติ (25 ºC) มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$

กรณีที่ 5 เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลว 217 ºC และเลือกใช้อุณหภูมิของเครื่องยิงเลเซอร์ที่ใช้ในการบัดกรีจริงที่อุณหภูมิ 275 ºC ซึ่งสามารถหลอมเหลวโลหะบัดกรีได้ และทำการบัดกรีภายในห้องอุณหภูมิปกติ (25 ºC) แต่มีการพัฒนาให้มีการเพิ่มการพาความร้อนแบบบังคับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจึงเพิ่มขึ้นเป็น 100 $W/(m^2 °C)$

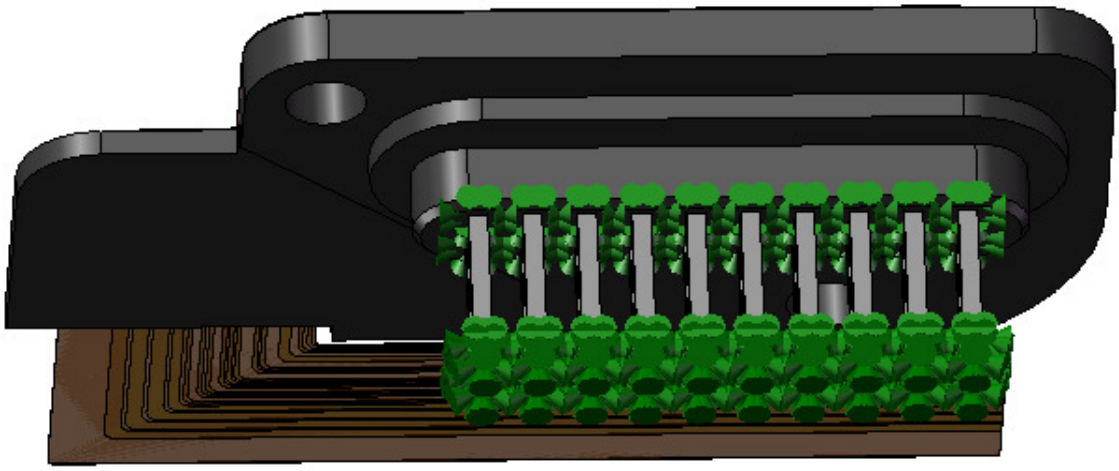
กรณีที่ 6 เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วที่มีจุดหลอมเหลว 217 ºC และเลือกใช้อุณหภูมิของเครื่องยิงเลเซอร์ที่ใช้ในการบัดกรีจริงที่อุณหภูมิ 275 ºC ซึ่งสามารถหลอมเหลวโลหะบัดกรีได้ และทำการบัดกรีภายในห้องอุณหภูมิปกติ (25 ºC) แต่มีการพัฒนาให้มีการเพิ่มการพาความร้อนแบบบังคับพื้นผิวบริเวณที่ใช้ทำที่จับยึดชิ้นงานขณะบัดกรีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจึงเพิ่มขึ้นเป็น 100 $W/(m^2 °C)$ ส่วนพื้นผิวภายนอกที่เหลือยังคงมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $10 W/(m^2 °C)$ เป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติดังภาพประกอบ 29 และ 30

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะไม่คงตัว

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะไม่คงตัว ใช้เวลาในการบัดกรี 5 วินาทีและจะมีการแสดงผลที่ช่วงเวลาที่ใช้ เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น โดยจะใช้อุณหภูมิที่บัดกรีและสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนตาม กรณีที่ 2 และ 4



ภาพประกอบ 29 พื้นที่ผิวที่จับยึดชิ้นงานขณะบัดกรีมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $100\,W/(m^2\,^\circ C)$ ของแบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



ภาพประกอบ 30 พื้นที่ผิวที่จับยึดชิ้นงานขณะบัดกรีมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $100\,W/(m^2\,^\circ C)$ ของแบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

4.การประมวลผลด้วยโปรแกรม

การวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้ประกอบไปด้วย 2 โปรแกรมด้วยกันคือ โปรแกรม SolidWorks ใช้ในการวาดแบบจำลองสามมิติ และโปรแกรม COSMOSWorks ใช้ในการประมวลผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยวิธี FFEPlus สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้นในสภาวะคงตัวซึ่งใช้วิธีการทำซ้ำ (iterative technique)

แบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพแบ่งขนาดเอลิเมนต์ 0.7 มิลลิเมตร จะได้จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 82627 จำนวนโนดเท่ากับ 138410 และ จำนวนดีกรีออฟฟรีดอมเท่ากับ 137702

แบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพแบ่งขนาดเอลิเมนต์ 0.6 มิลลิเมตร จะได้จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 83659 จำนวนโนดเท่ากับ 140995 และ จำนวนดีกรีออฟฟรีดอมเท่ากับ 140435

บทที่ 4
ผลและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการวิจัยที่ได้จากการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะคงที่ของแบบจำลองสายแพที่เชื่อมต่อกับแขนแอคทิวเอเตอร์และคอนเน็คเตอร์ โดยจะใช้การแสดงผลของแถบสีแทนลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ ที่เกิดขึ้นตามเงื่อนไขในแต่ละกรณี โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1.ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัวในแต่ละกรณี

โดยในแต่ละกรณีจะแสดงภาพเป็น 4 ส่วนด้วยกัน คือ

- มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ
- มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ
- มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ
- มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

2.ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัวเปรียบเทียบกันทุกกรณี

โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ
- มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

3. ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาที่มีการบัดกรี

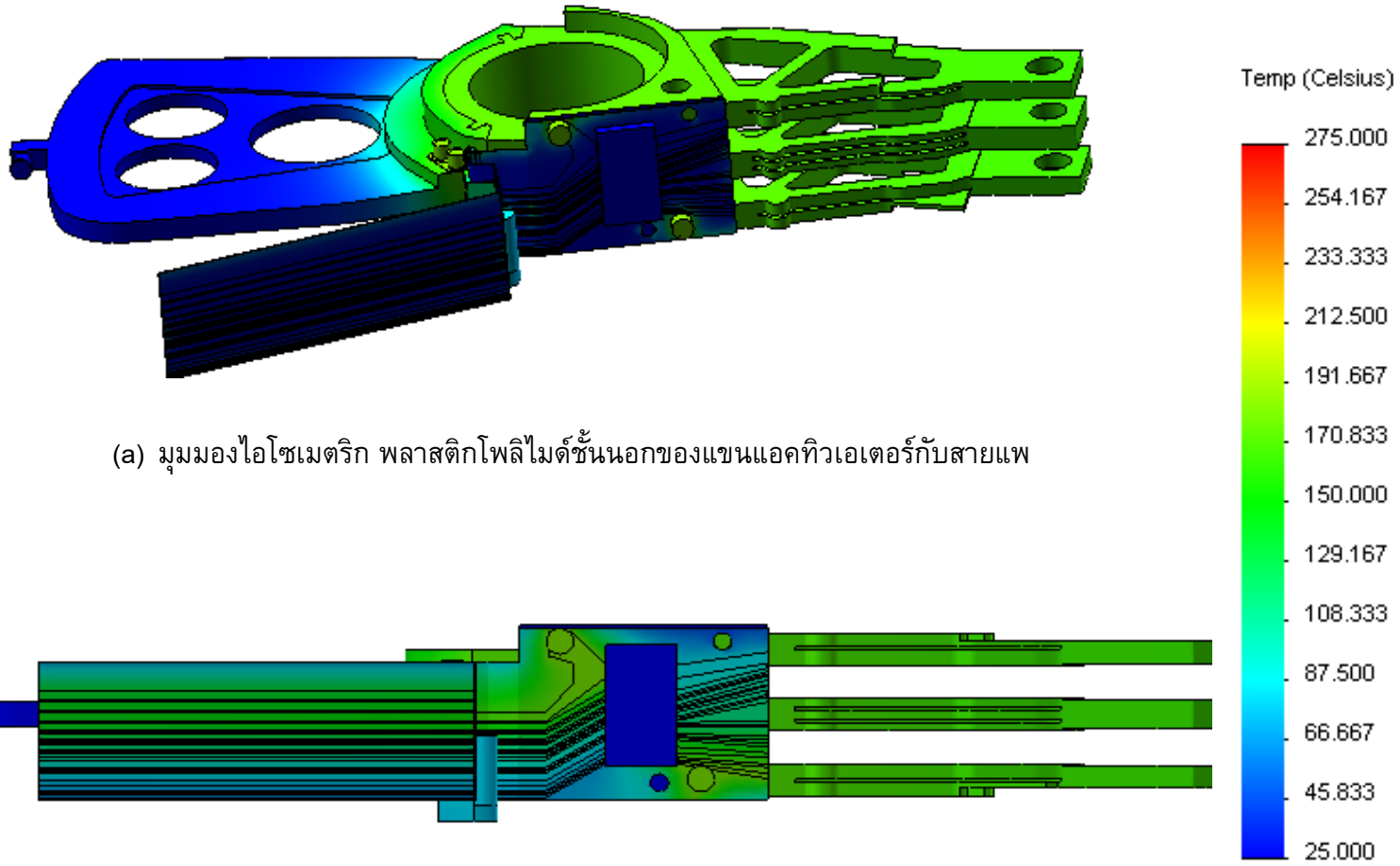
โดยแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ

- การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลาที่ให้ความร้อน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ ในกรณีที่ 2 อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ
- การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลาที่ให้ความร้อน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ ในกรณีที่ 4 อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

- การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลาที่ให้ความร้อน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ ในกรณีที่ 2 อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $10 W/\left(m^2 °C\right)$ ของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

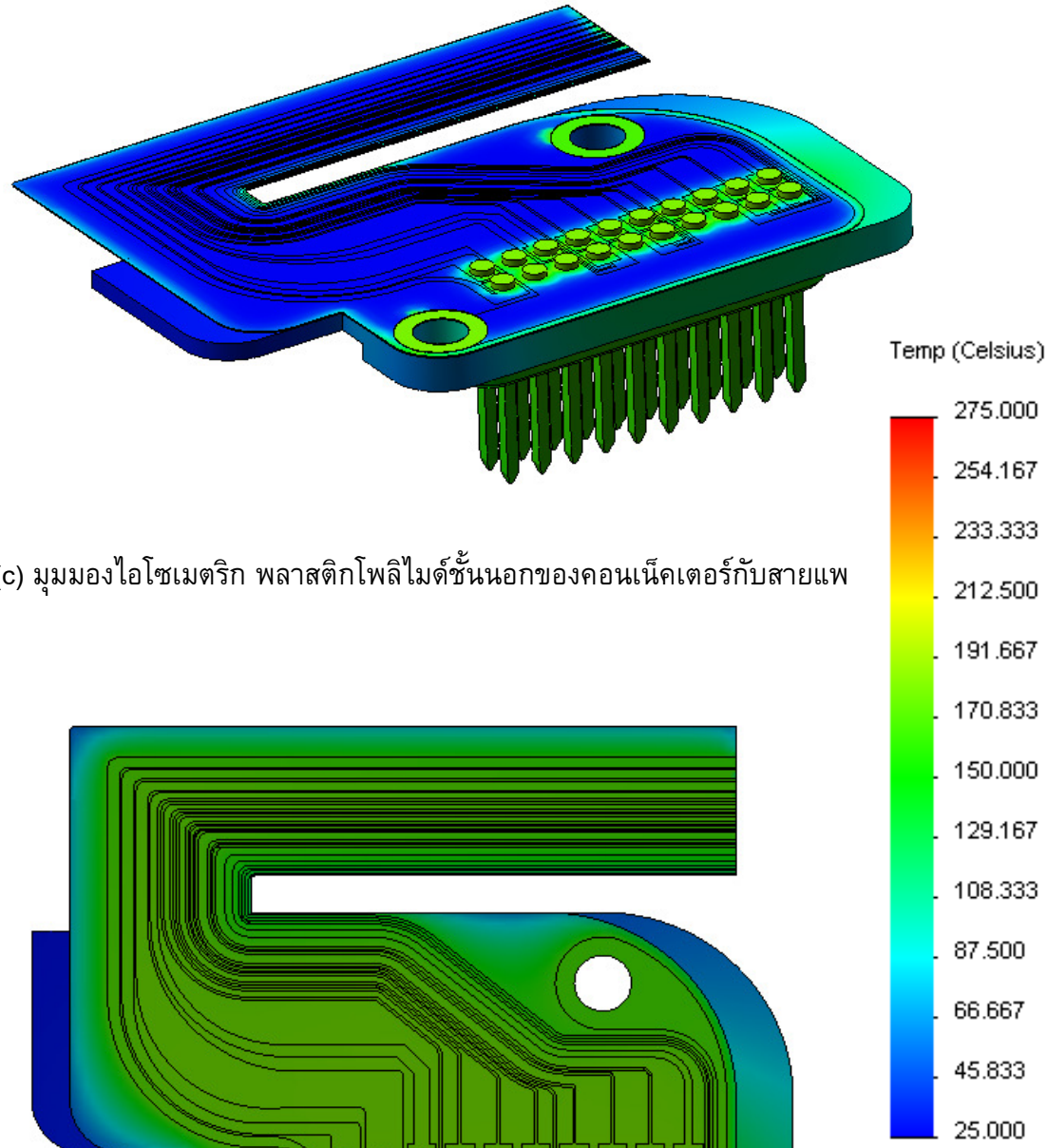
- การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลาที่ให้ความร้อน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ ในกรณีที่ 4 อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/\left(m^2 °C\right)$ ของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

1.ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัวในแต่ละกรณี



(a) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

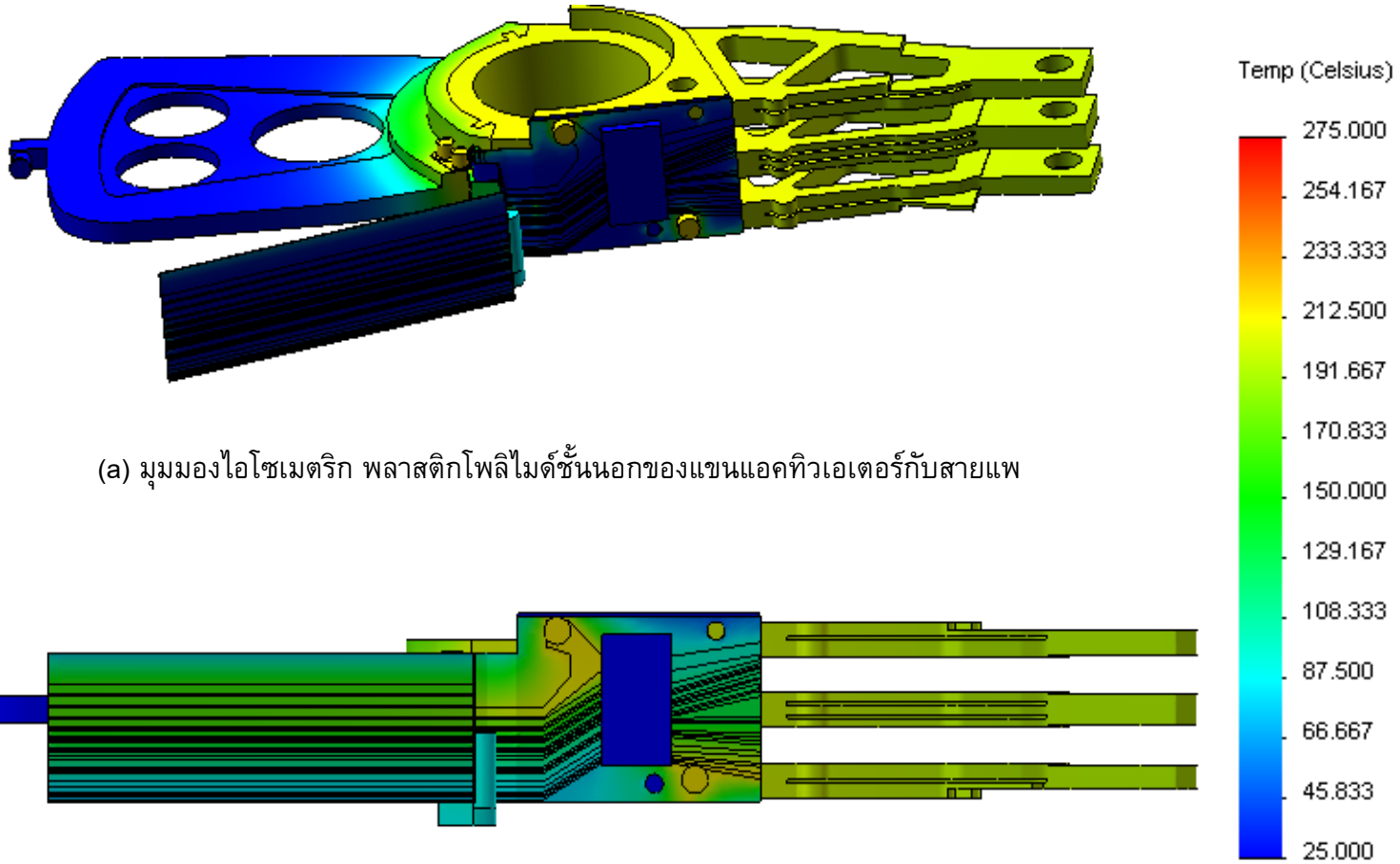
(b) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



(c) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

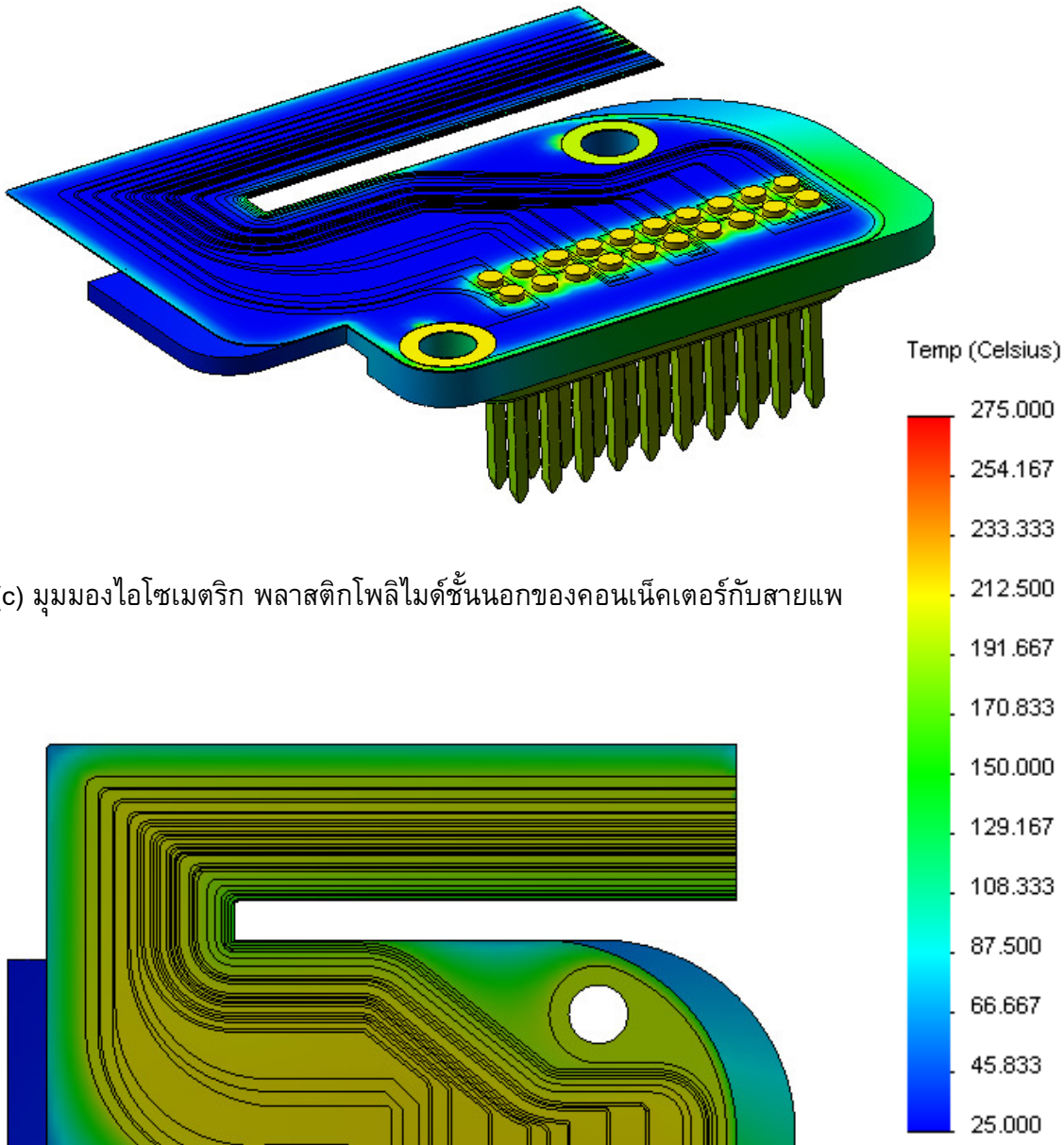
(d) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ภาพประกอบ 31 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 183 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน $10 W/\left(m^2 °C\right)$



(a) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

(b) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลาง ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



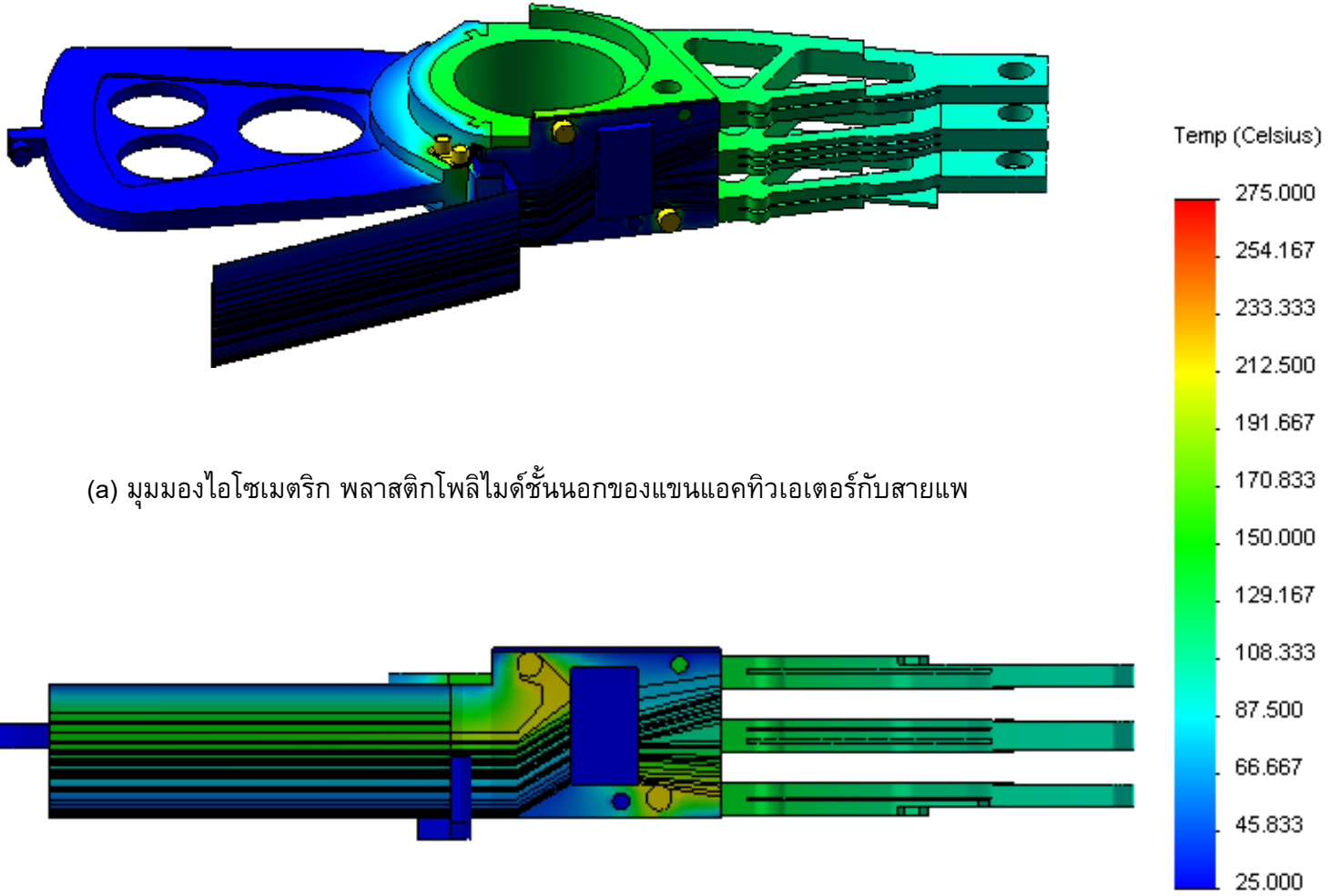
(c) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

(d) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ภาพประกอบ 32 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$

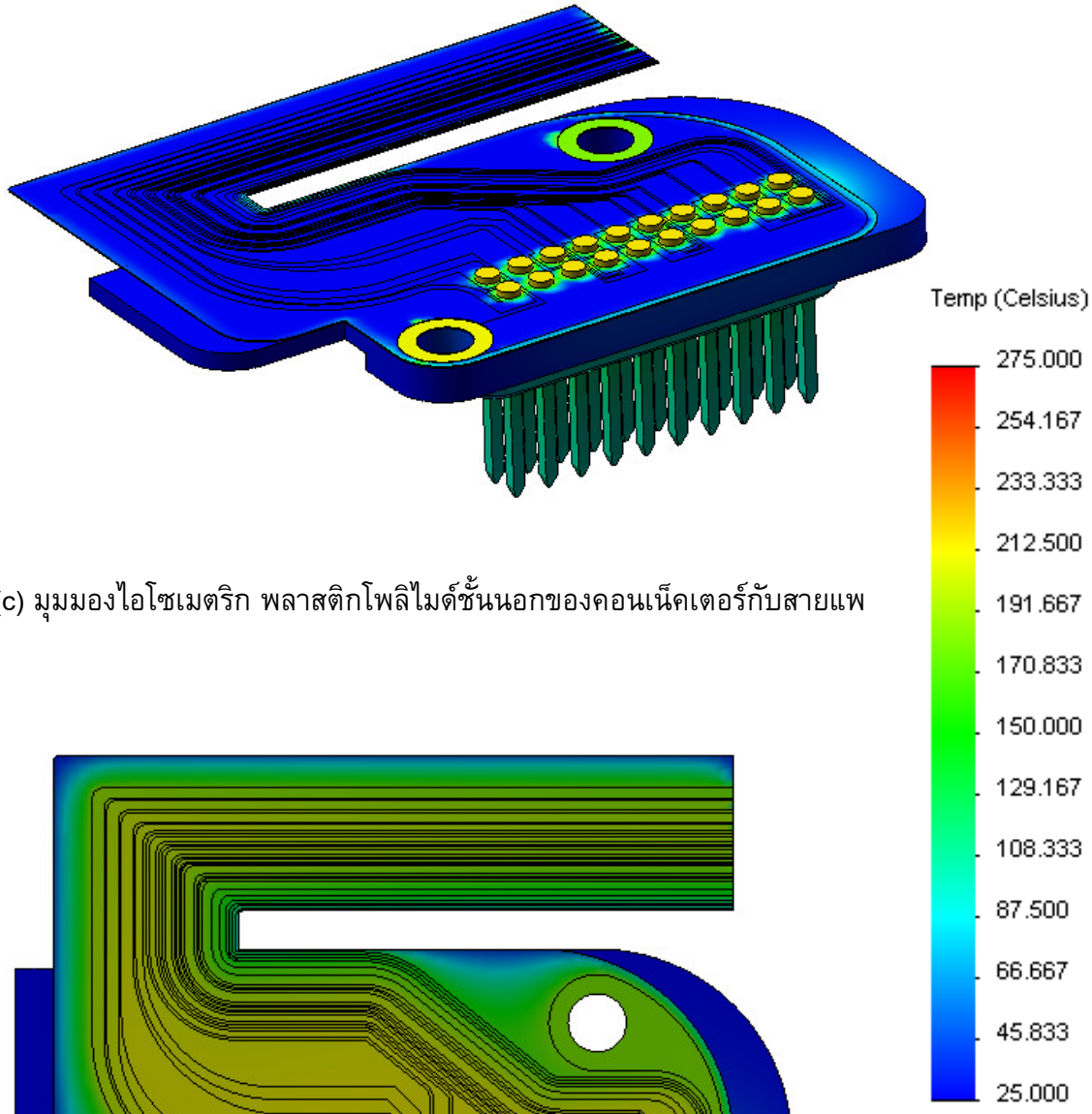
ภาพประกอบ 31 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 1 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 183 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ โดยมีการกำหนดให้มีการพาความร้อนที่พื้นผิวด้านนอกของแบบจำลองทั้งหมด กรณีนี้เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการใช้โลหะบัดกรีที่ผสมตะกั่วและมีการพาความร้อนแบบอิสระที่อุณหภูมิห้องปกติ โดยภาพแรกแสดงชิ้นส่วนของแบบจำลองของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ ภาพแสดงถึงส่วนของสายแพจะเป็นพลาสติกชั้นนอกสุดคือชั้นของพลาสติกโพลิไมด์ จากภาพจะเห็นลักษณะการกระจายตัวของความร้อนจะเป็นไปตามลักษณะของวัสดุที่ใช้ ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะจะมีช่วงของอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณที่เป็นพลาสติกเนื่องจากสามารถนำความร้อนได้ดี อย่างเช่นที่แขนแอคทิวเอเตอร์ส่วนด้านที่เป็นหัวอ่านเป็นโลหะมีช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอีกด้านหนึ่งที่เป็นพลาสติก และจุดที่มีความร้อนสูง ก็คือบริเวณที่มีการบัดกรีช่วงอุณหภูมิก็จะค่อยๆ ลดลงเมื่อมีระยะห่างจากจุดที่ทำการบัดกรี ภาพถัดมาเป็นการแสดงจากมุมมองด้านข้าง ภาพแสดงถึงในส่วนสายแพชั้นกลางที่ประกอบไปด้วยชั้นของพลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดง จะเห็นได้ชัดเจนว่าทองแดงมีการนำความร้อนที่ดีจุดที่ทำการบัดกรีและเชื่อมต่อกับเส้นทองแดงก็จะทำให้มีการนำความร้อนทำให้การกระตัวของอุณหภูมิที่สูงกว่าพลาสติกที่อยู่บริเวณเดียวกัน ส่วนภาพต่อมาและภาพสุดท้ายจะเป็นการแสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่แบบจำลองของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับในส่วนของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ ในภาพสุดท้ายช่วงของอุณหภูมิสูงมีบริเวณค่อนข้างมากที่สายแพเนื่องจากมีจุดที่บัดกรีเชื่อมต่อกับสายทองแดงหลายจุดที่บริเวณใกล้กันจึงมีการนำความร้อนผ่านสายทองแดง

ภาพประกอบ 32 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 2 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 217 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$โดยมีการกำหนดให้มีการพาความร้อนที่พื้นผิวด้านนอกของแบบจำลองทั้งหมด กรณีนี้เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วและมีการพาความร้อนแบบอิสระที่อุณหภูมิห้องปกติ โดยเลือกใช้อุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถหลอมละลายโลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่ว 217 ºC ได้ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจะเป็นลักษณะเดียวกับภาพประกอบ 32 แต่ช่วงของอุณหภูมิจะสูงกว่าเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรีสูงขึ้นจากเดิม 34 ºC แต่ยังมีการพาความร้อนในลักษณะเดียวกัน



(a) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

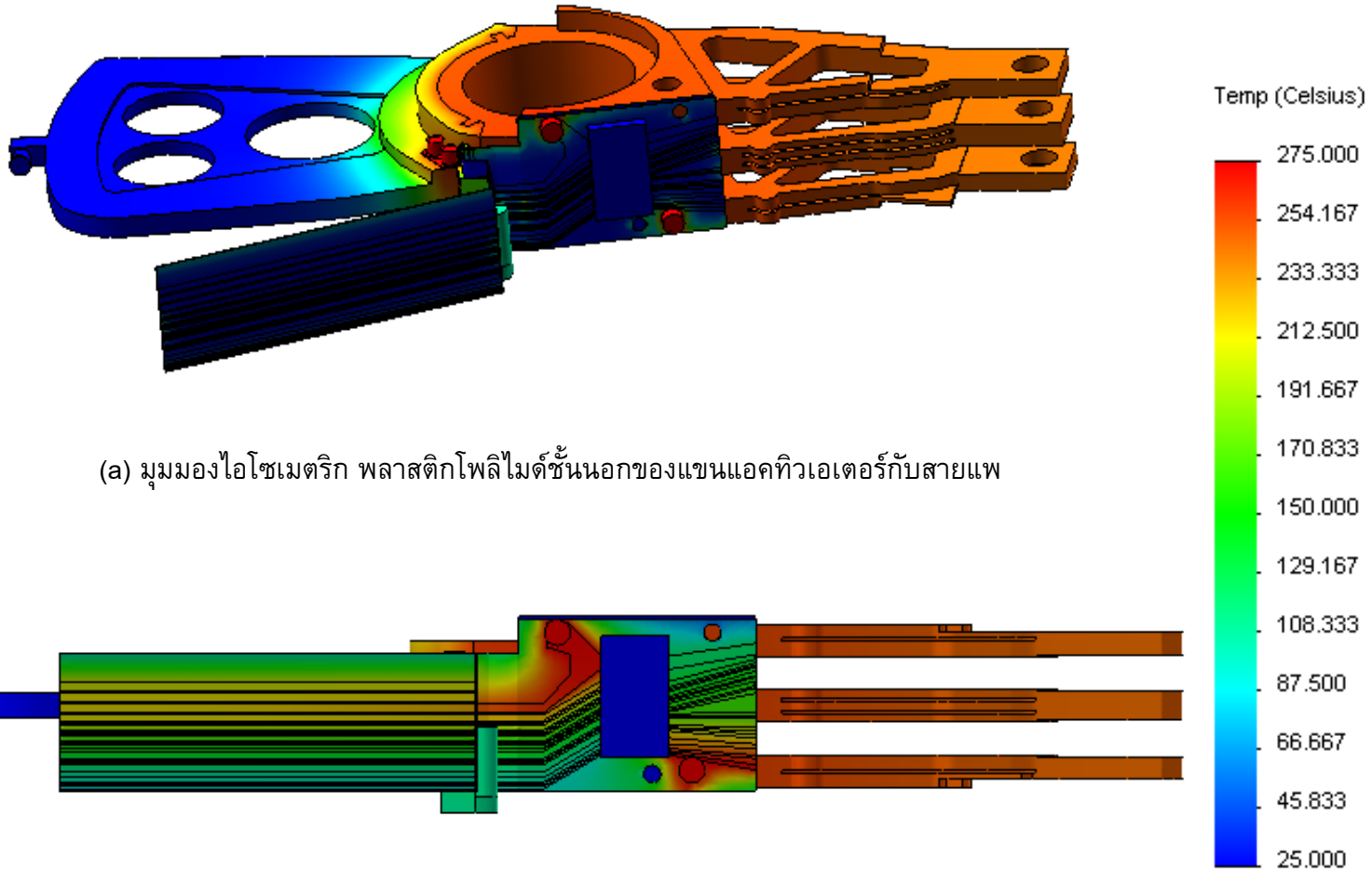
(b) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลาง ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



(c) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

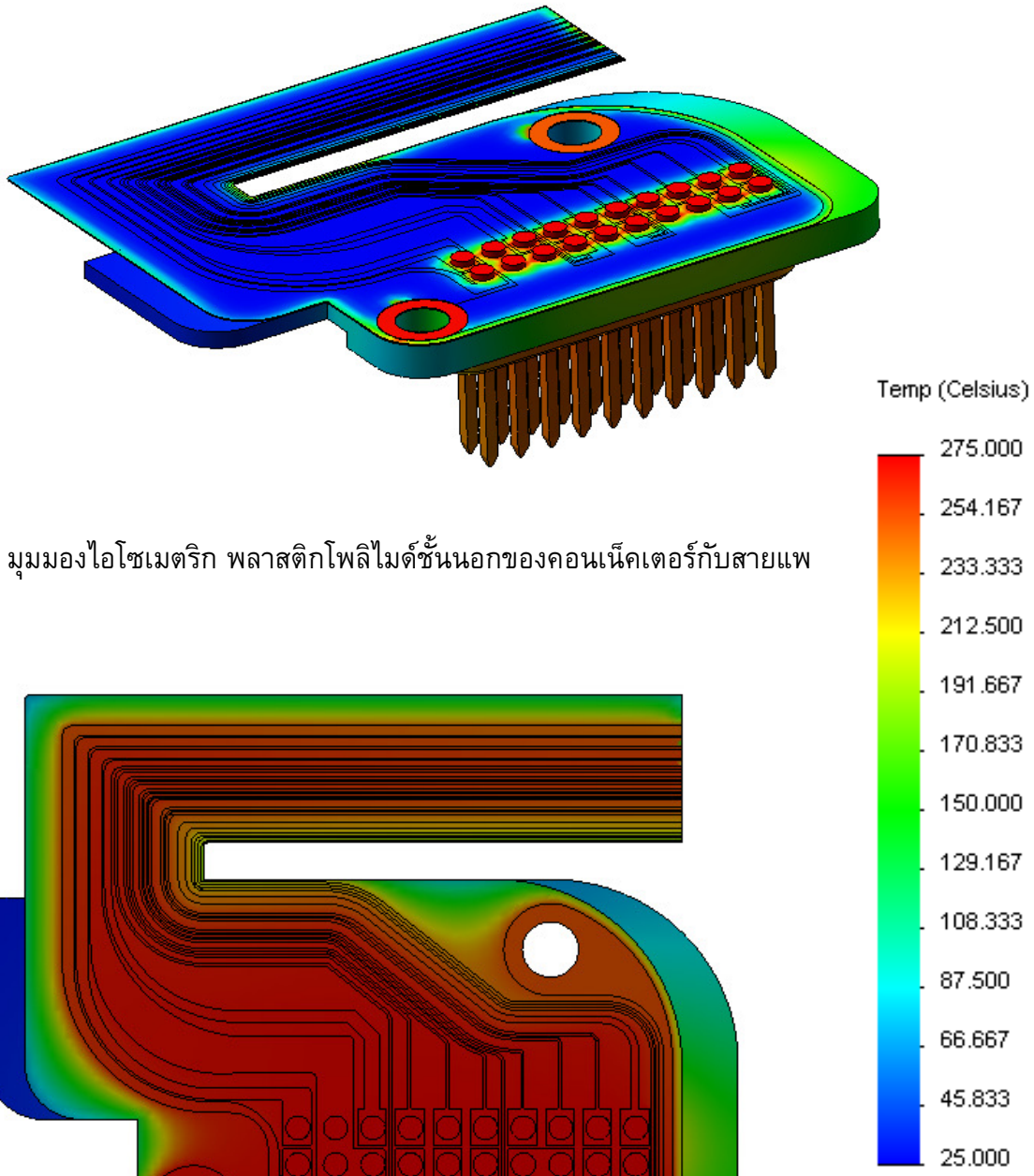
(d) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ภาพประกอบ 33 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$



(a) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

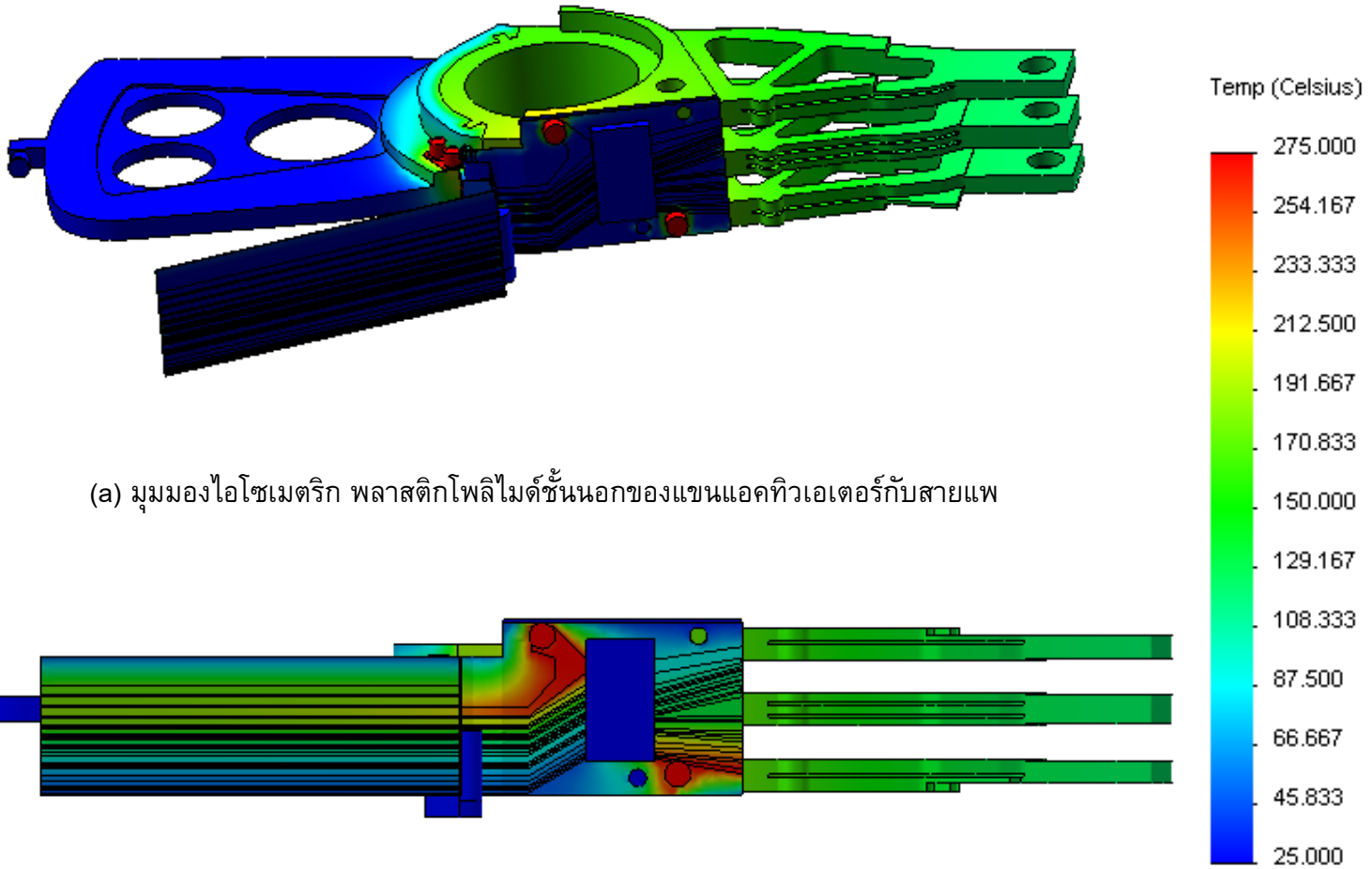
(b) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลาง ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



(c) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

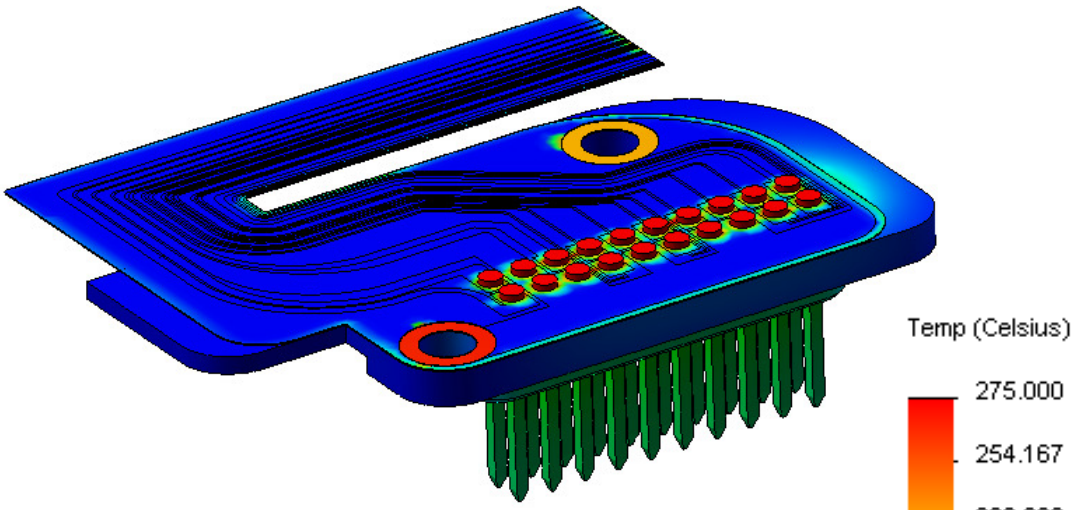
(d) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ภาพประกอบ 34 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/\left(m^2\,°C\right)$

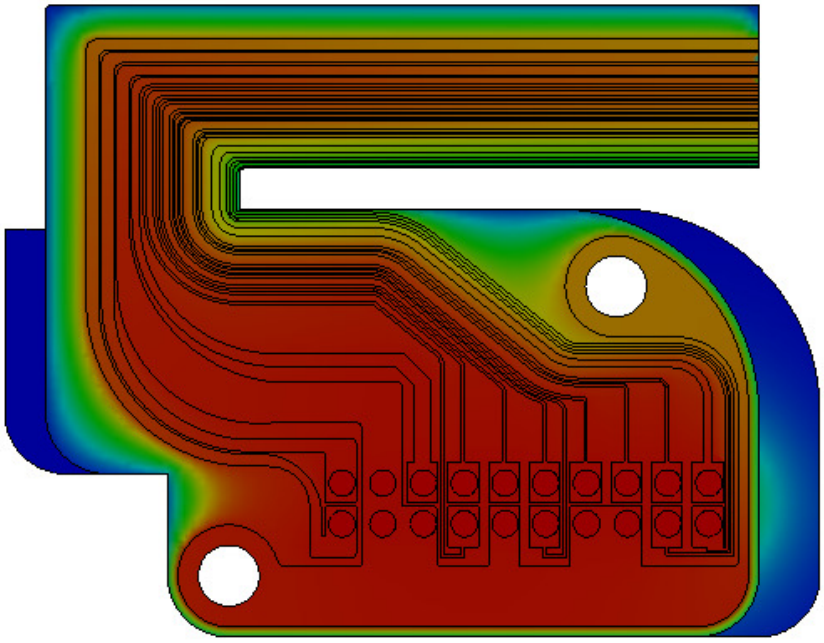


(a) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

(b) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลาง ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



(c) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ



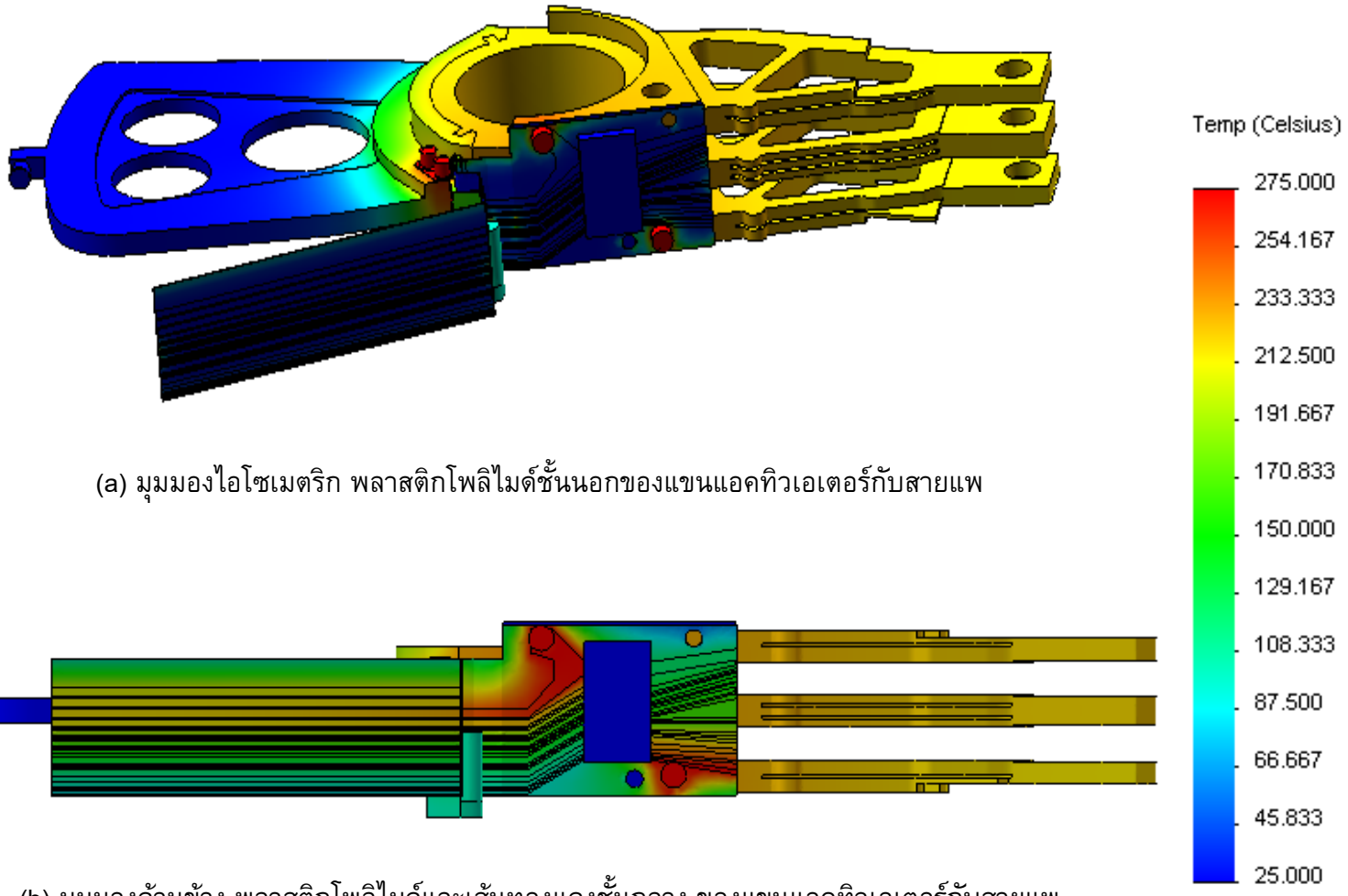
(d) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ภาพประกอบ 35 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$

ภาพประกอบ 33 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 3 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 217 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$ โดยมีการกำหนดให้มีการพาความร้อนที่พื้นผิวด้านนอกของแบบจำลองทั้งหมด กรณีนี้เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วและกำหนดให้มีการปรับปรุงระบบการระบายความร้อนภายในห้องทำให้มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 100 $W/(m^2 °C)$ ภาพแรกบริเวณแขนแอคทิวเอเตอร์การกระจายตัวของอุณหภูมิจะแบ่งเป็นสามส่วนด้วยกัน ตรงกลางจะมีช่วงอุณหภูมิสูงที่สุดเนื่องจากเป็นวัสดุที่ทำจากโลหะสามารถนำความร้อนได้ดีและเป็นบริเวณที่ใกล้กับจุดบัดกรีมากที่สุดต่อมาก็เป็นส่วนที่เป็นโลหะตอนปลายก็จะมีอุณหภูมิลดลงมาเนื่องจากมีระยะทางห่างจากจุดบัดกรีมากขึ้น และส่วนที่เป็นพลาสติกก็จะมีช่วงอุณหภูมิต่ำสุดเนื่องจากวัสดุพลาสติกนำความร้อนได้ไม่ดีเท่าโลหะและยังมีระยะทางที่ห่างจากจุดบัดกรีอีกด้วย ส่วนภาพอื่นลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิก็จะเหมือนกับภาพประกอบ 32 แต่ช่วงของอุณหภูมิก็จะต่ำกว่าเนื่องจากมีการพาความร้อนดีขึ้น

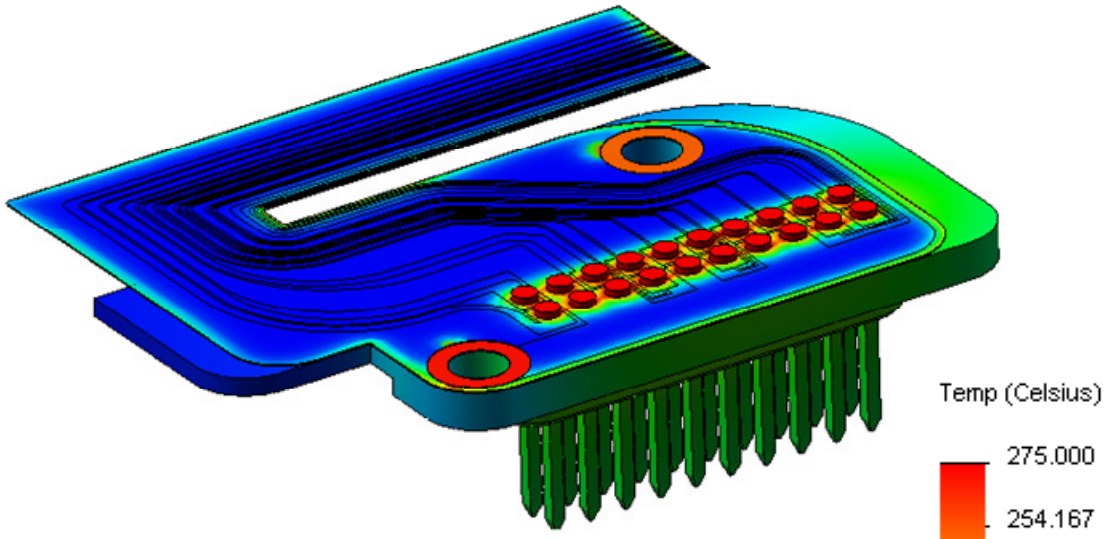
ภาพประกอบ 34 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 4 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 275 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$โดยมีการกำหนดให้มีการพาความร้อนที่พื้นผิวด้านนอกของแบบจำลองทั้งหมด กรณีนี้เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วและมีการพาความร้อนแบบอิสระที่อุณหภูมิห้องปกติ โดยเลือกใช้อุณหภูมิบัดกรีโดยเฉลี่ยที่ใช้เครื่องเลเซอร์ในการบัดกรีที่อุณหภูมิ 275 ºC ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิก็จะเหมือนกรณีอื่นๆ ที่ๆ ได้กล่าวมาแล้ว แต่จะมีช่างอุณหภูมิที่สูงกว่ากรณีอื่นมากอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรีเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ 1 ที่ใช้โลหะบัดกรีผสมตะกั่วถึง 92 ºC และกรณีที่ 2 และ 3 ใช้อุณหภูมิขั้นต่ำที่สามารถหลอมละลายโลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วได้ สูงกว่า 58 ºC

ภาพประกอบ 35 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 5 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 275 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$ โดยมีการกำหนดให้มีการพาความร้อนที่พื้นผิวด้านนอกของแบบจำลองทั้งหมด กรณีนี้เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วและกำหนดให้มีการปรับปรุงระบบการระบายความร้อนภายในห้องทำให้มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 100 $W/(m^2 °C)$ โดยเลือกใช้อุณหภูมิบัดกรีโดยเฉลี่ยที่ใช้เครื่องเลเซอร์ในการบัดกรีที่อุณหภูมิ 275 ºC จากภาพจะลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิก็จะเหมือนกรณีอื่นๆ ที่ๆ ได้กล่าวมาแล้ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับภาพประกอบ 36 ใช้อุณหภูมิในการบัดกรีเท่ากันแต่เมื่อทำการปรับปรุงระบบระบายความร้อนแล้วจะทำให้ช่วงของอุณหภูมิลดลง

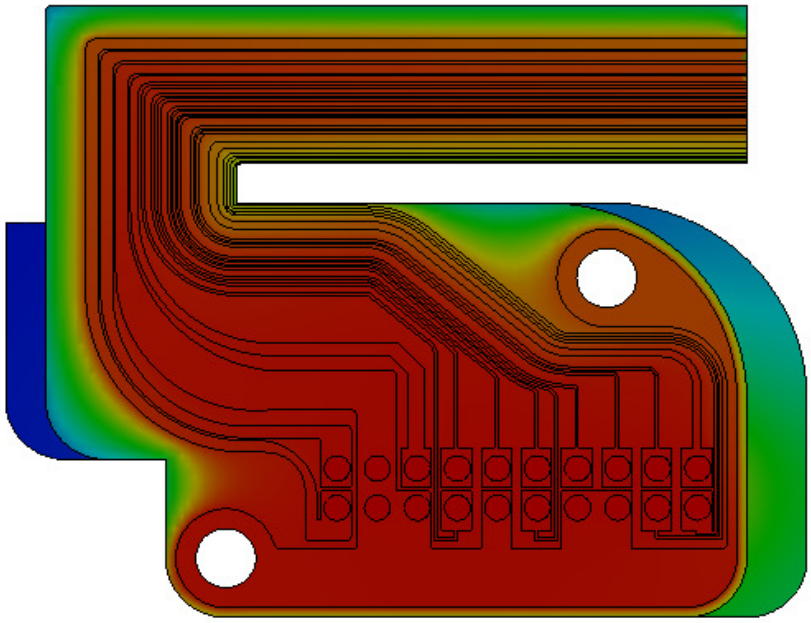


(a) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

(b) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลาง ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



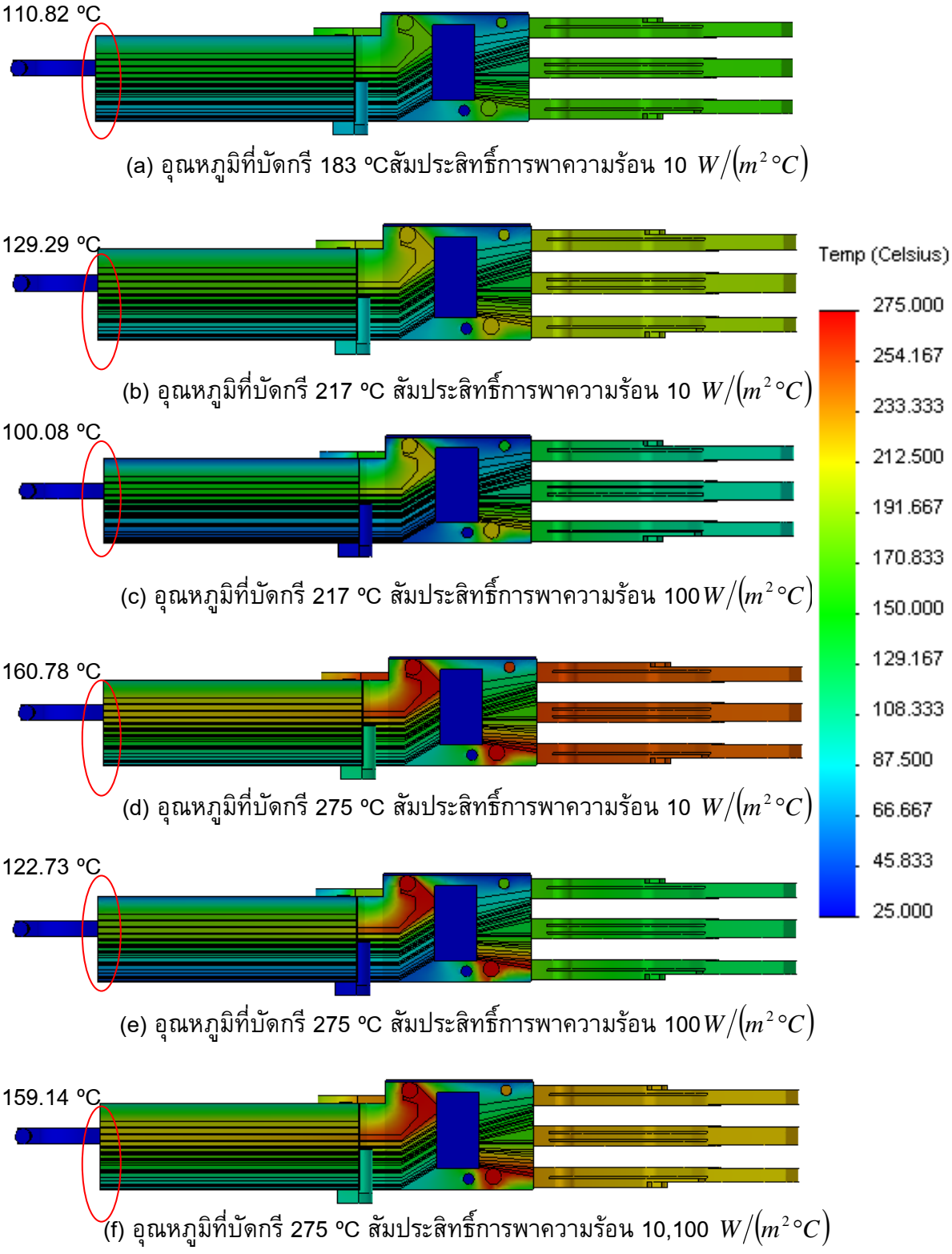
(c) มุมมองไอโซเมตริก พลาสติกโพลิไมด์ชั้นนอกของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ



(d) มุมมองด้านข้าง พลาสติกโพลิไมด์และเส้นทองแดงชั้นกลางของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ภาพประกอบ 36 การกระจายตัวของอุณหภูมิในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10,100 $W/\left(m^2 \circ C\right)$

2.ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิของการถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัวเปรียบเทียบกันทุกกรณี



(a) อุณหภูมิที่บัดกรี 183 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$

(b) อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$

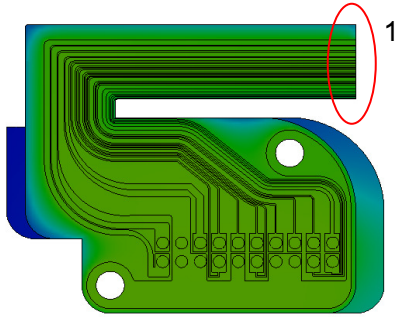
(c) อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$

(d) อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$

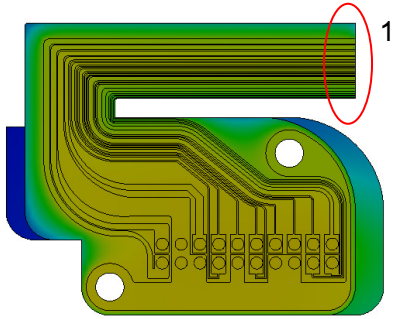
(e) อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$

(f) อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10,100 $W/(m^2 °C)$

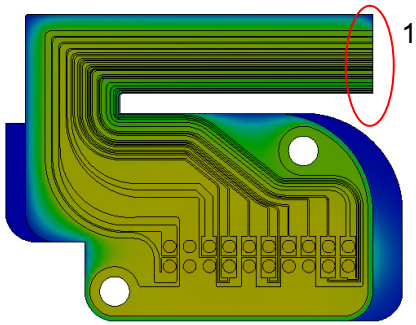
ภาพประกอบ 37 การกระจายตัวของอุณหภูมิมุมมองด้านข้างชั้นเส้นทองแดงและพลาสติกโพลิไมด์ของแบบจำลองแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



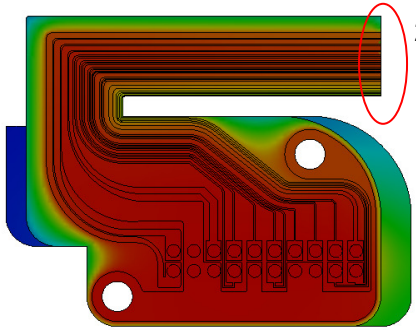
(a) อุณหภูมิที่บัดกรี 183 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$



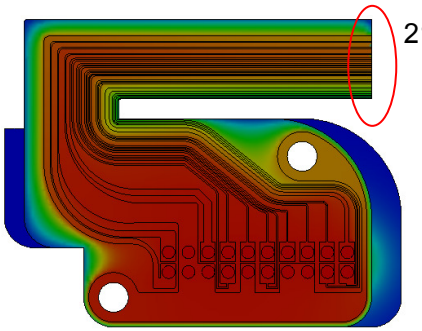
(b) อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$



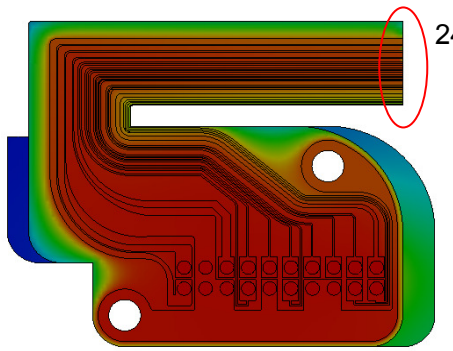
(c) อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$



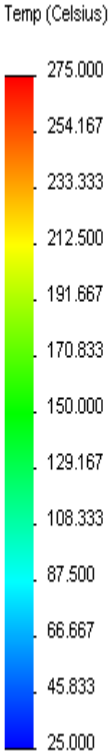
(d) อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$



(e) อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$



(f) อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºCสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10,100 $W/(m^2 °C)$



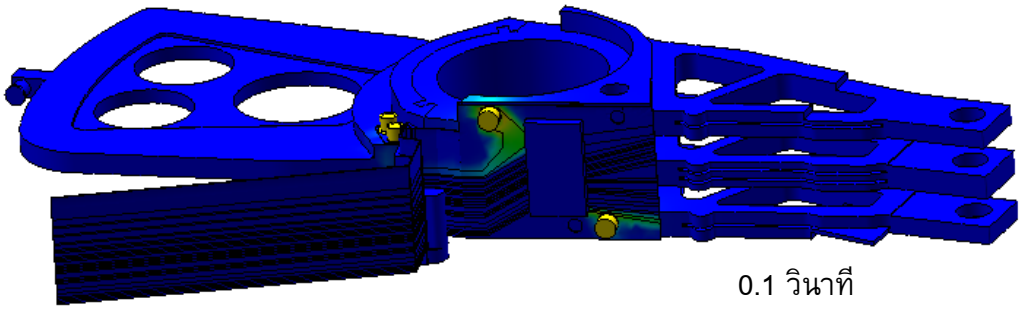
ภาพประกอบ 38 การกระจายตัวของอุณหภูมิมุมมองด้านบนชั้นเส้นทองแดงและพลาสติกโพลิไมด์ของแบบจำลองคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

ภาพประกอบ 36 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 6 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 275 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 และ 100 $W/(m^2 °C)$ กรณีนี้เป็นการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการใช้โลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่วและกำหนดให้มีการปรับปรุงระบบการระบายความร้อนที่บริเวณอุปกรณ์จับยึดขณะทำการบัดกรีให้สามมารถระบายความร้อนได้โดยกำหนดให้มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 100 $W/(m^2 °C)$ ตามภาพประกอบ 29 และ 30 โดยพื้นผิวบริเวณที่เหลือกำหนดให้มีการพาความร้อนแบบอิสระที่อุณหภูมิห้องปกติ กำหนดให้มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$จากภาพจะลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิก็จะใกล้เคียงกับกรณีอื่นๆที่ๆได้กล่าวมาแล้ว เมื่อพิจารณาภาพแรกจะสังเกตได้ว่าบริเวณตรงกลางของแขนแอคทิวเอเตอร์นั้นมีช่วงอุณหภมิใกล้เคียงกับส่วนปลายที่เป็นโลหะเหมือนกันเนื่องจากมีการปรับปรุงให้บริเวณดังเพิ่มการระบายความร้อนทำให้ช่วงอุณหภูมิบริเวณนั้นลดลง และยังส่งผลต่อบริเวณอื่นๆด้วยในส่วนของแขนแอคทิวเอเตอร์ แต่ภาพต่อมาแสดงถึงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในสายแพที่เชื่อมต่อกับแขนแอคทิวเอเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับภาพประกอบ 34 แล้วมีลักษณะที่ไม่ค่อยมีการเปลียนแปลงอาจมีช่วงที่อุณหภูมิลดลงน้อย ส่วนลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในคอนเน็คเตอร์กับสายแพ ขาของคอนเน็คเตอร์ก็จะมีช่วงอุณหภูมิลดลงแต่ชิ้นส่วนของคอนเน็คเตอร์ที่เป็นพลาสติกจะมีช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าภาพประกอบ 35 เนื่องจากบริเวณนี้มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนน้อยกว่า และในส่วนของสายแพช่วงของอุณหภูมิมีลักษณะการกระตัวของอุณหภูมิและช่วงอุณหภูมิคล้ายกับภาพแประกอบ 34

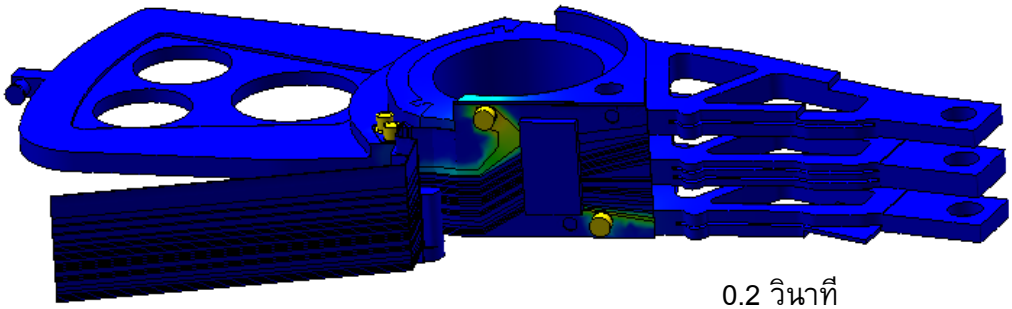
ภาพประกอบ 37 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความร้อนในสายแพที่เชื่อมต่อกับแขนแอคทิวเอเตอร์ ในทุกกรณี และระบุอุณหภูมิเฉลี่ยที่ปลายสายแพ พบว่ากรณีที่ 3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกกรณีเนื่องจากแม้จะใช้อุณหภูมิบัดกรีสูงกว่ากรณที่ 1 แต่มีการปรับปรุงระบบระบายความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลง และกรณีที่ 4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการบัดกรีสูงสุดและไม่มีการปรับปรุงระบบระบายความร้อนของห้อง เมื่อมีการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพบว่าทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยลดลง ส่วนลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิมีลักษณะเดียวกันทุกกรณีแต่จะต่างกันที่ช่วงของอุณหภูมิเท่านั้น

ภาพประกอบ 38 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความร้อนในสายแพที่เชื่อมต่อกับคอนเน็คเตอร์ ในทุกกรณี และระบุอุณหภูมิเฉลี่ยที่ปลายสายแพ พบว่ากรณีที่ 1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกกรณีเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการบัดกรีต่ำสุด และกรณีที่ 4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการบัดกรีสูงกว่ากรณีอื่น ส่วนลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิมีลักษณะเดียวกันทุกกรณีแต่จะต่างกันที่ช่วงของอุณหภูมิเท่านั้น

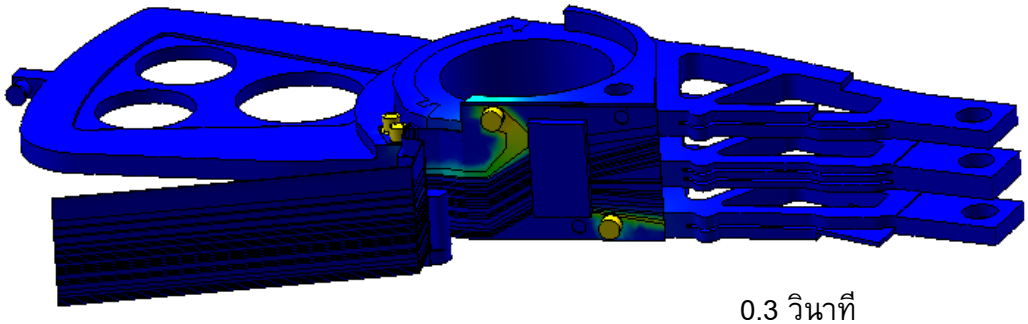
3. ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาที่มีการบัดกรี



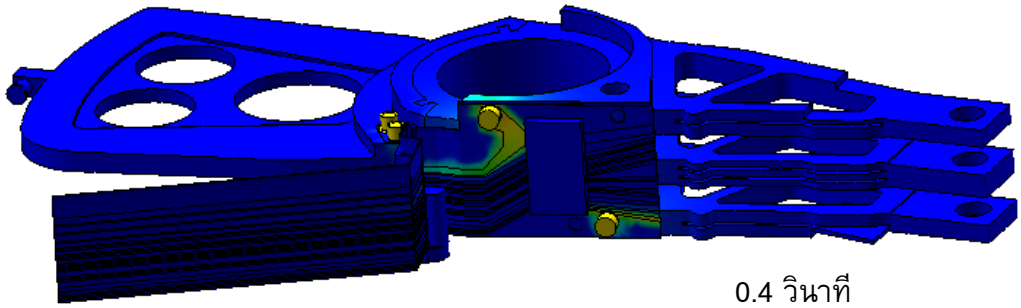
0.1 วินาที



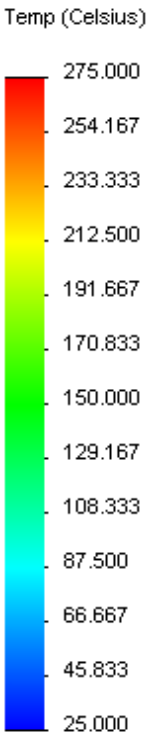
0.2 วินาที

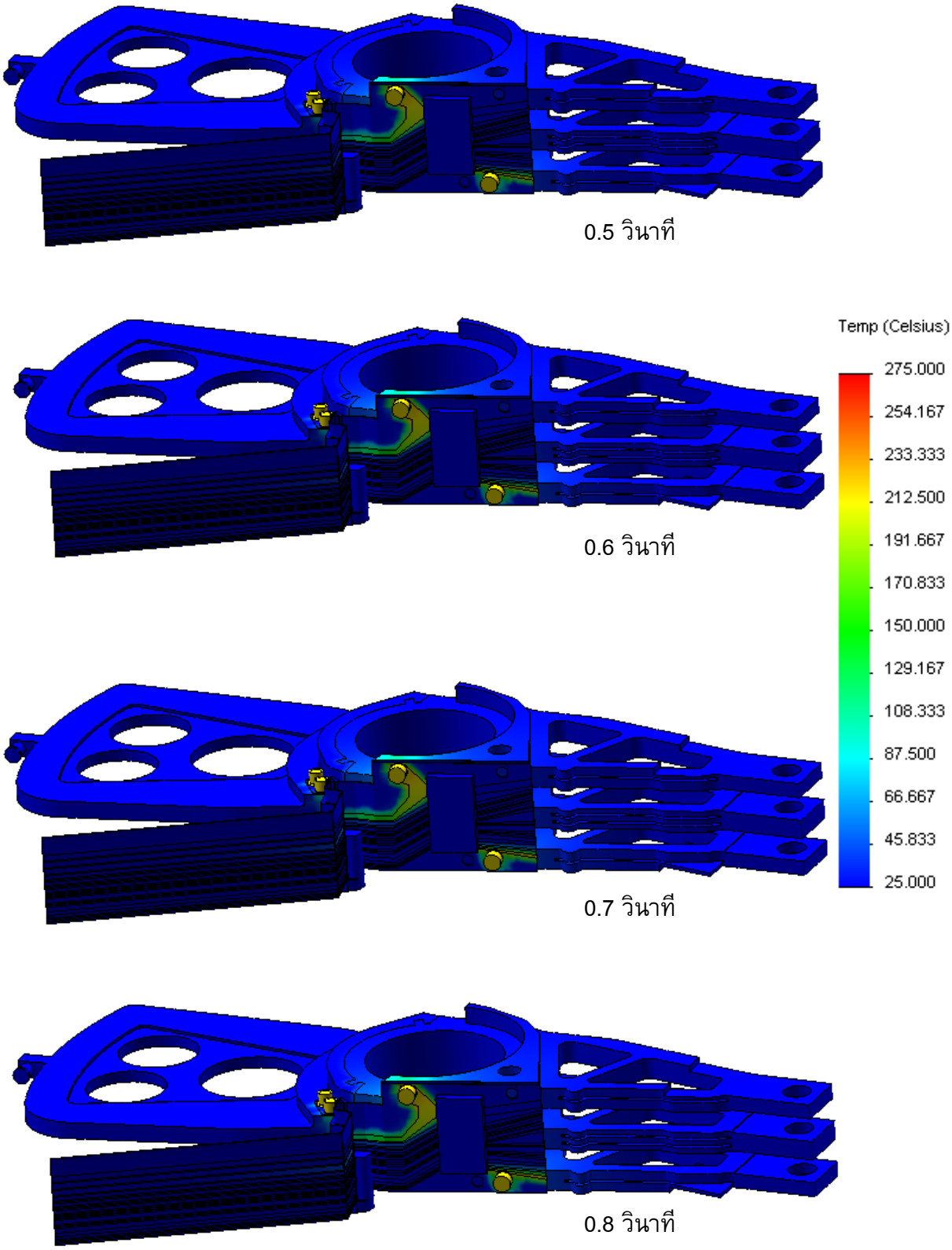


0.3 วินาที

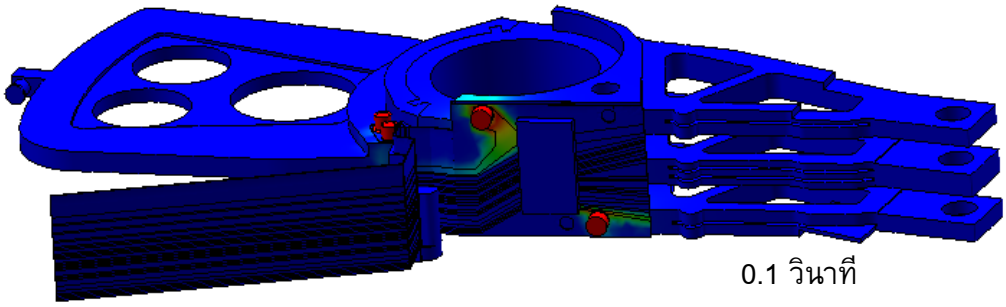


0.4 วินาที

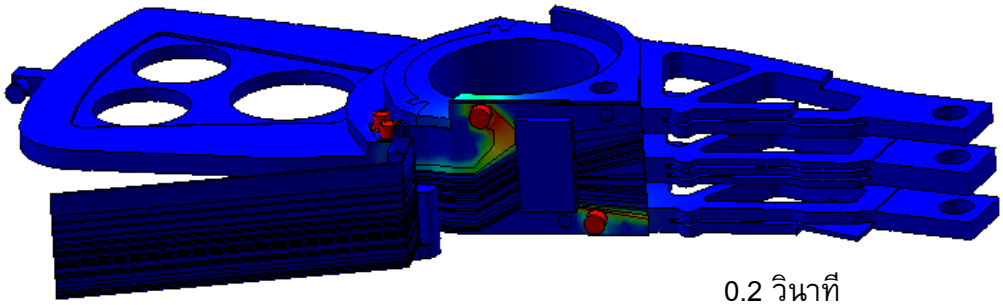




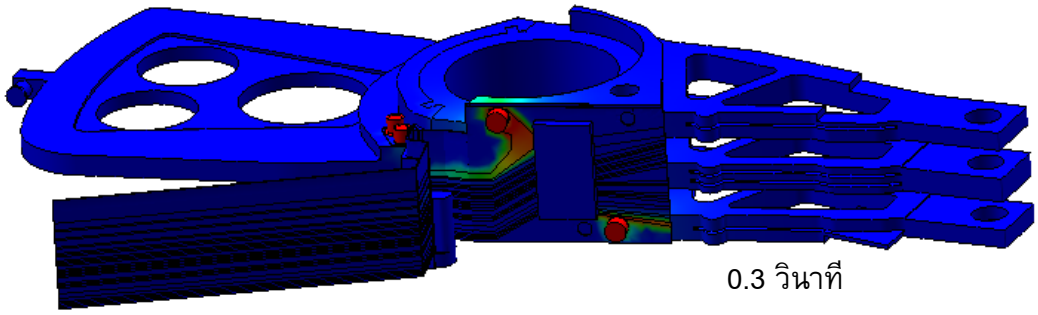
ภาพประกอบ 39 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ



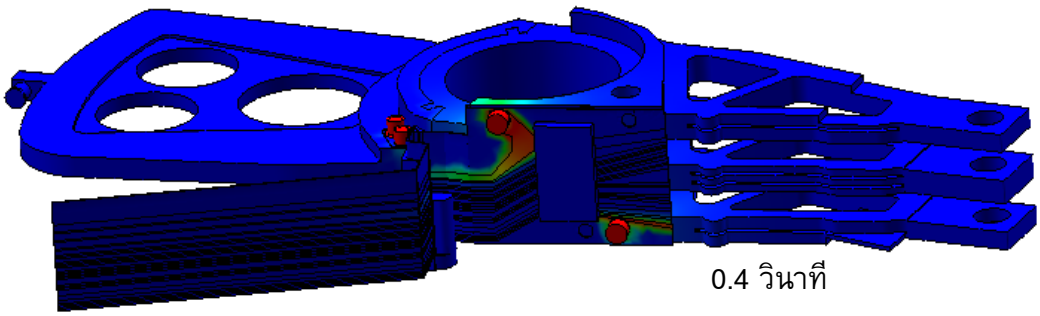
0.1 วินาที



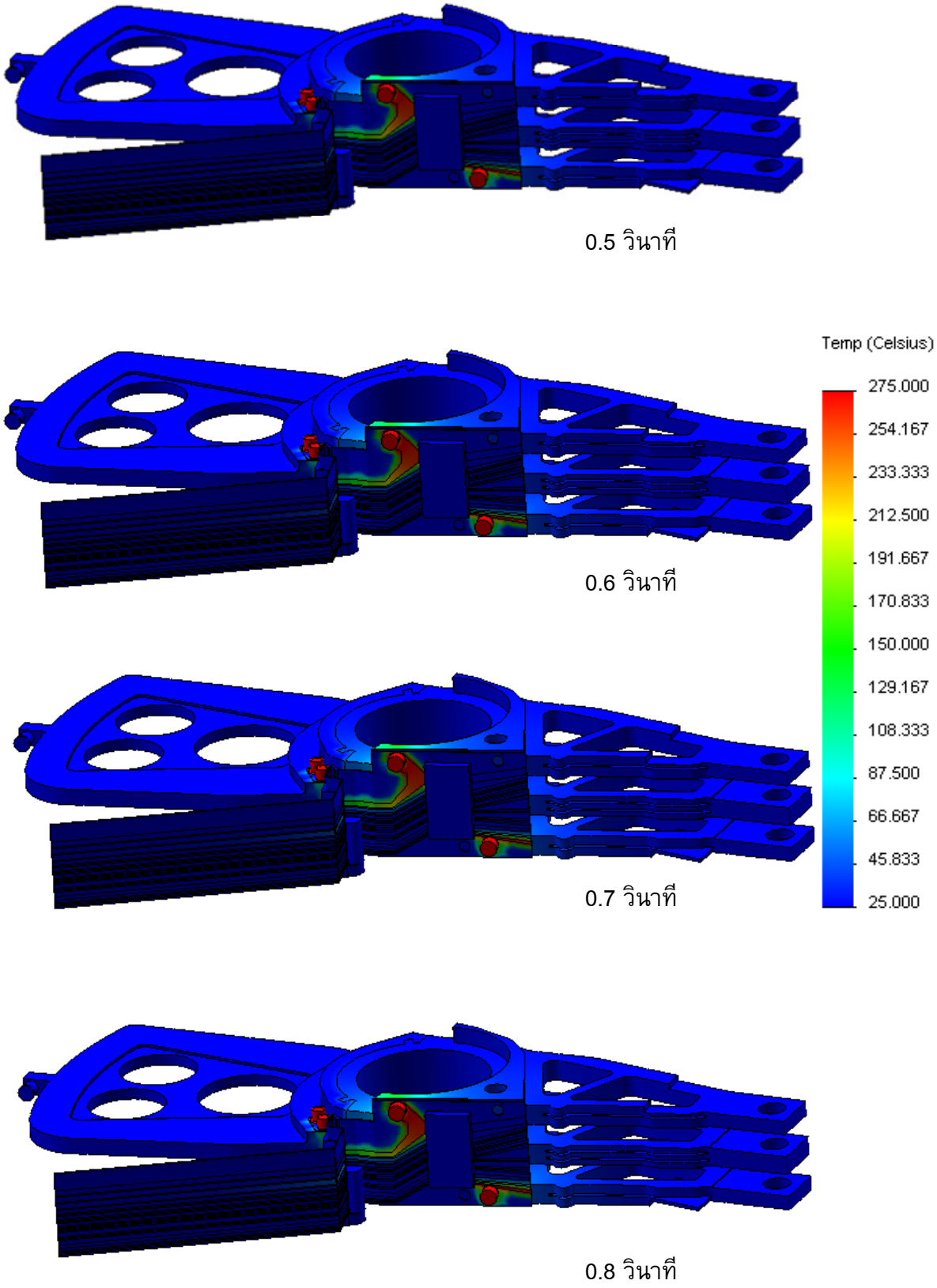
0.2 วินาที



0.3 วินาที



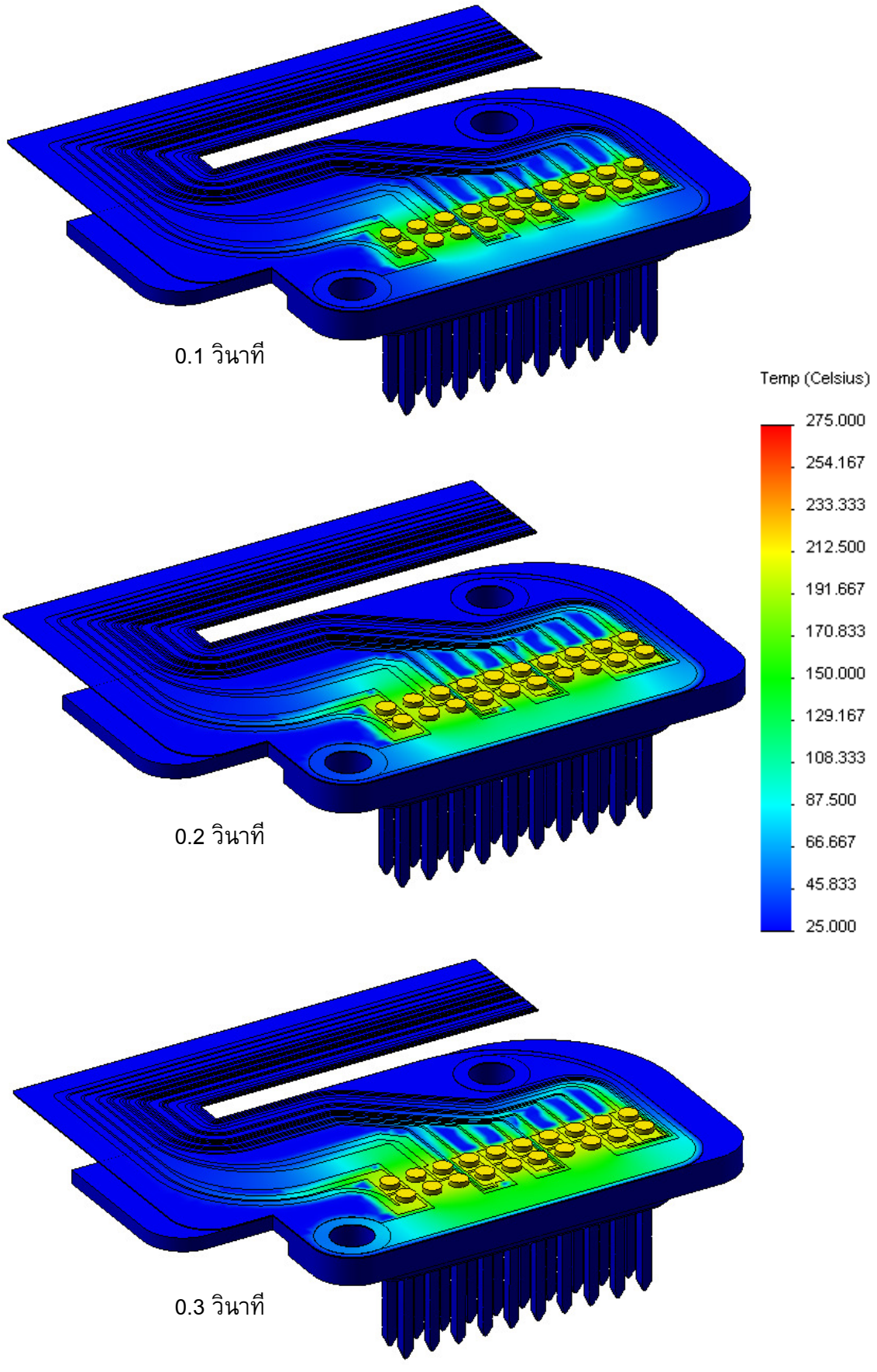
0.4 วินาที



ภาพประกอบ 40 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ ของแขนแอคทิวเอเตอร์กับสายแพ

จากภาพประกอบ 39 แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 2 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 217 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ โดยจะแบ่งออกตามระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อทำการบัดกรี เป็น 8 ช่วงเวลาด้วยกัน คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 0.1 วินาทีลักษณะการกระจายตัวของความร้อนบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะเป็นส่วนที่เป็นจุดบัดกรีและโลหะทองแดงที่เชื่อมต่อกับจุดที่มีการบัดกรี ความร้อนยังไม่กระจายตัวมากนัก แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของอุณหภูมิก็จะมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งที่เวลา 0.8 วินาทีขึ้นไปชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของแขนแอคทิวเอเตอร์จะได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของสายแพนั้นจะมีโลหะทองแดงเป็นตัวนำความร้อนให้กระจายตัวไปและส่งผลให้พลาสติกโพลิไมด์ที่ประกอบกับโลหะทองแดงเป็นสายแพนั้นได้รับความร้อนไปด้วยเมื่อใช้เวลาบัดกรีตั้งแต่ 0.8 วินาทีขึ้นไป

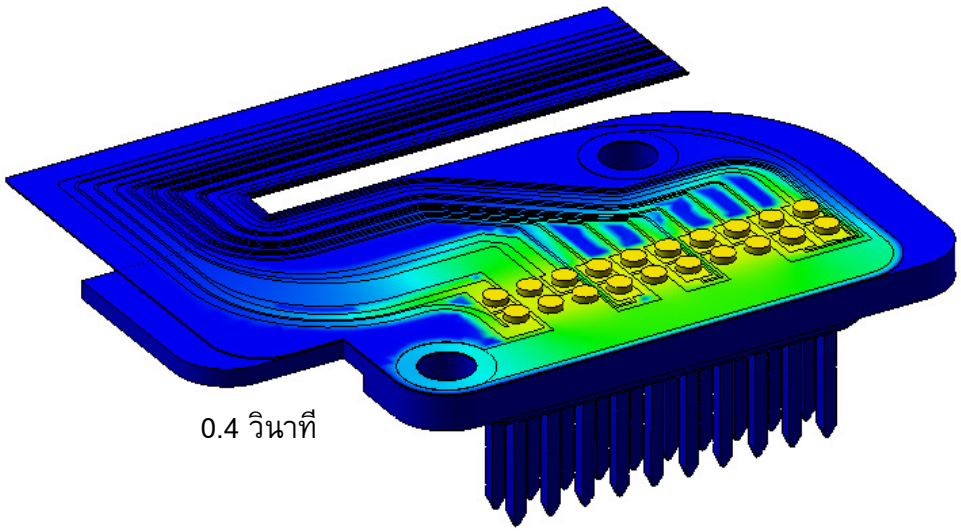
จากภาพประกอบ 40 แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 2 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 275 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ โดยจะแบ่งออกตามระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อทำการบัดกรี เป็น 8 ช่วงเวลาด้วยกัน คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจะมีลักษณะเดียวกันกับภาพประกอบ 39 แต่จะมีช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 275 ºC อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิม 58 ºC นอกจากส่งผลให้ช่วงของอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วยังทำให้บริเวณที่ได้รับความร้อนมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก พื้นที่ที่ได้รับความร้อนจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการใช้เวลาในการบัดกรีนานขึ้น โดยที่เวลา 0.8 วินาที บริเวณที่มีการกระจายตัวของความร้อนจะส่งผลต่อชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของแขนแอคทิวเอเตอร์ และสายแพที่เป็นโลหะทองแดงมีช่วงของอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณอื่น



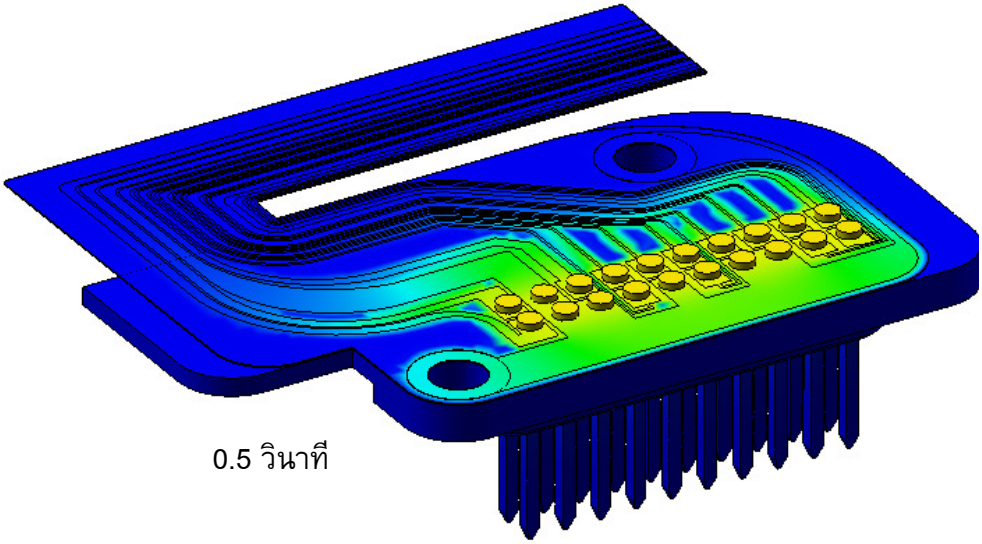
0.1 วินาที

0.2 วินาที

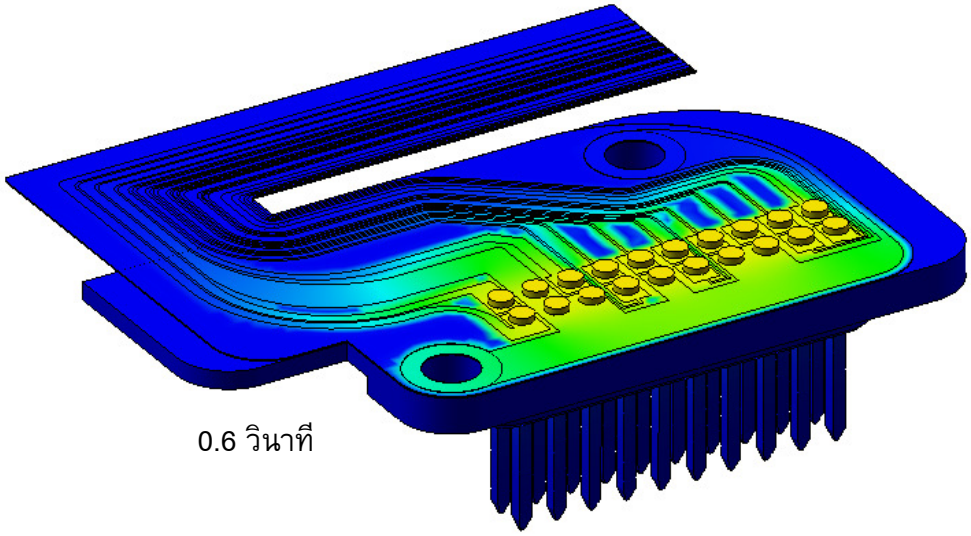
0.3 วินาที



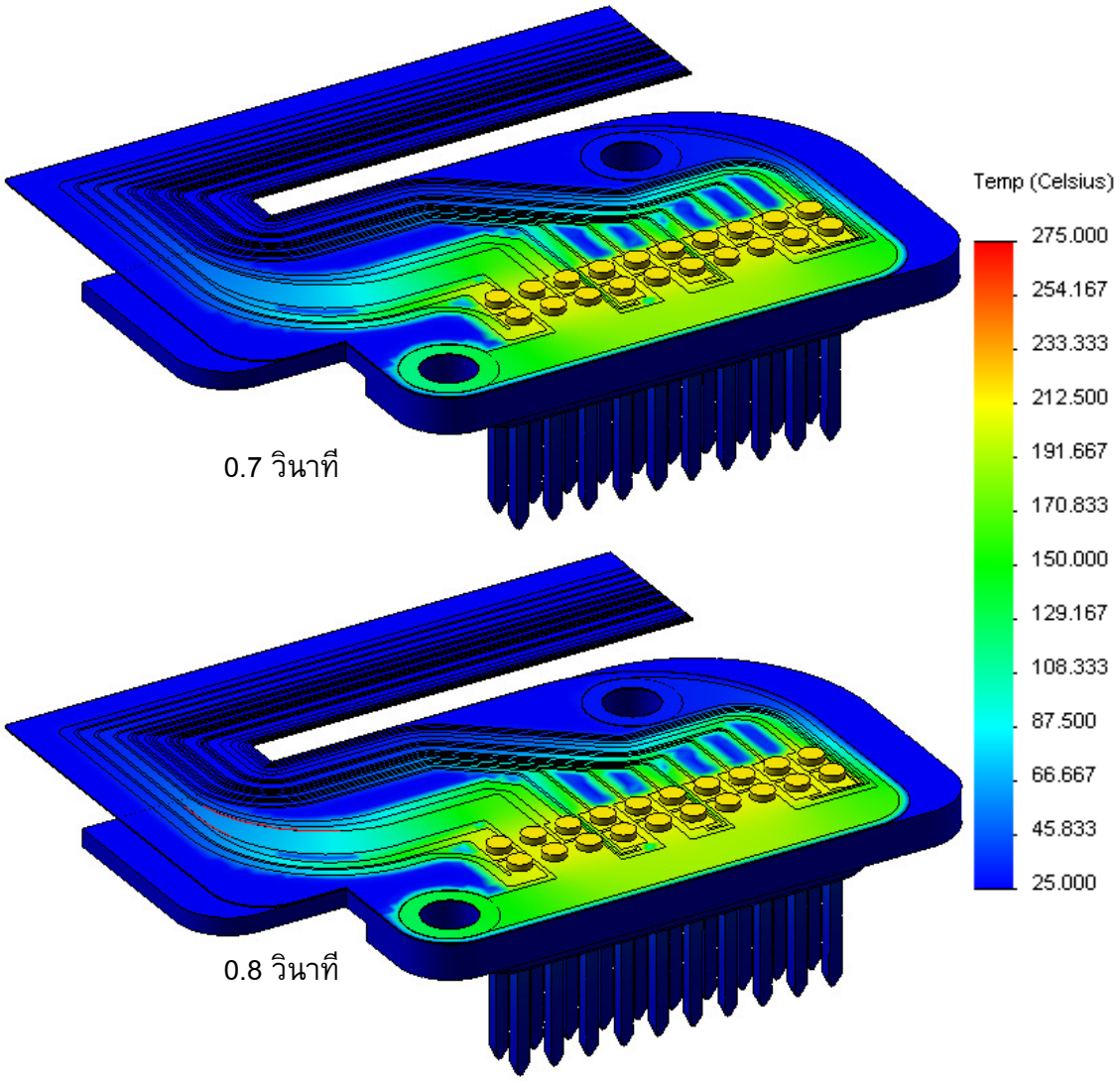
0.4 วินาที



0.5 วินาที

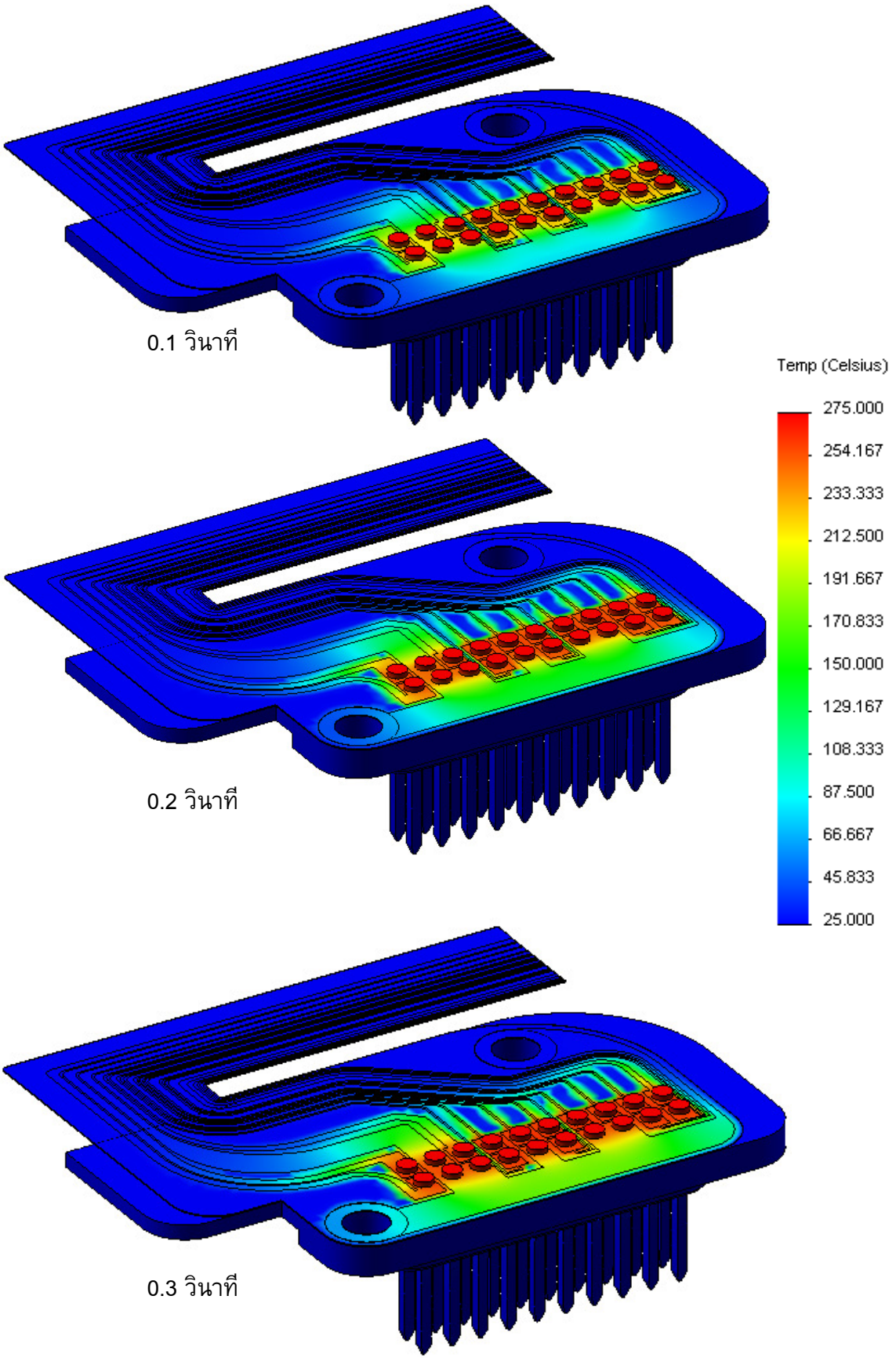


0.6 วินาที



ภาพประกอบ 41 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 217 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ ของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

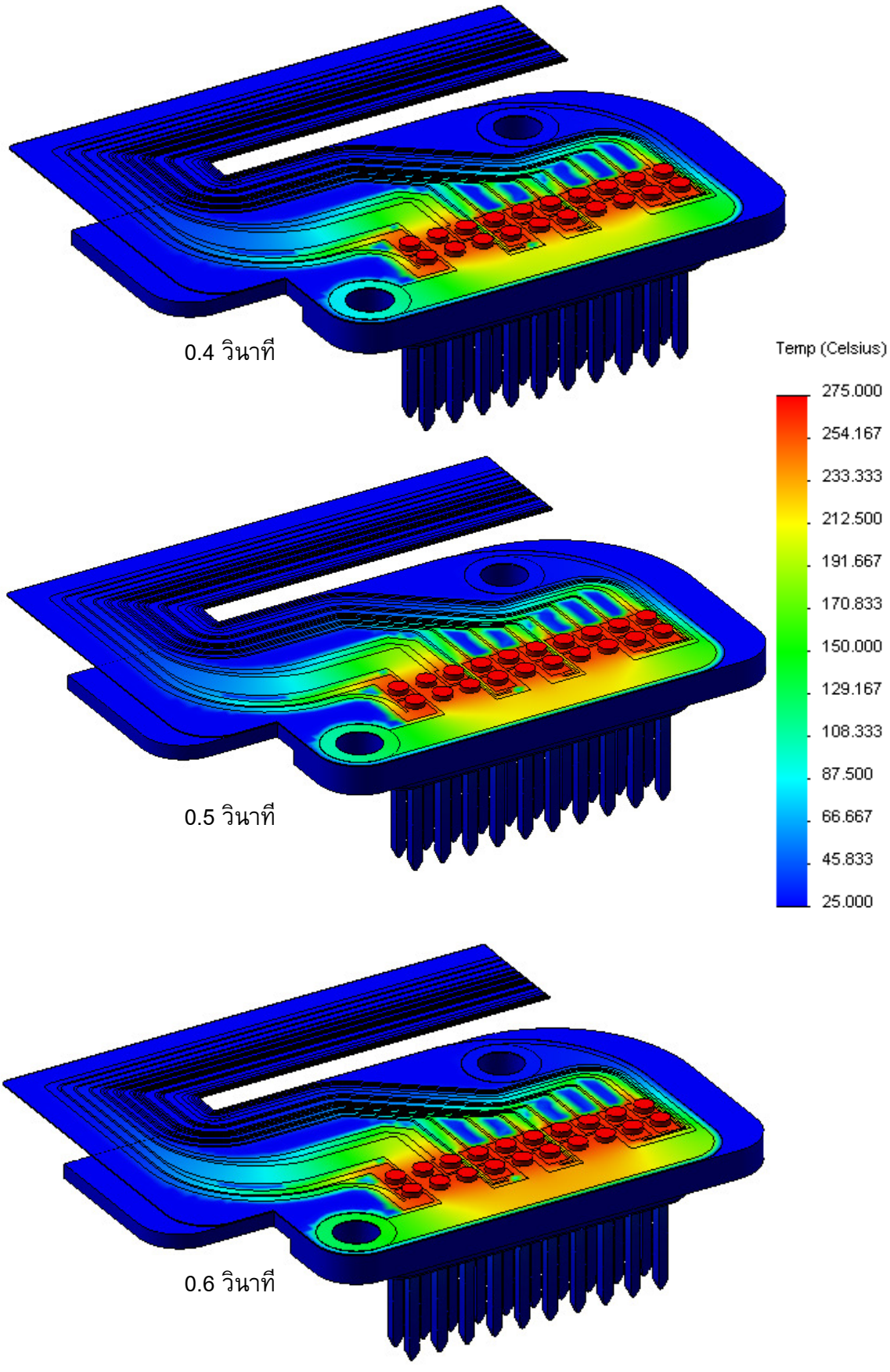
จากภาพประกอบ 41 แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 2 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 217 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ โดยจะแบ่งออกตามระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อทำการบัดกรี เป็น 8 ช่วงเวลาด้วยกัน คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 0.1 วินาทีลักษณะการกระจายตัวของความร้อนบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะเป็นส่วนที่เป็นจุดบัดกรีและโลหะทองแดงที่เชื่อมต่อกับจุดที่มีการบัดกรี ในแบบจำลองนี้มีจุดที่บัดกรีหลายจุดและมีตำแหน่งใกล้กันมากทำให้บริเวณนั้นมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณอื่นมาก ชิ้นส่วนของคอนเน็คเตอร์ยังไม่ได้รับความร้อนจนกระทั่งใช้เวลา 0.5 วินาทีขึ้นไป ขาของคอนเน็คเตอร์ที่เป็นโลหะจะเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนในสายแพนั้นทองแดงจะนำความร้อนเมื่อใช้เวลาในการบัดกรีนานขึ้นจนเมื่อใช้เวลา 0.8 วินาที มีการกระจายตัวของอุณหภูมิขยายไปจนเกือบถึงปลายของสายแพ



0.1 วินาที

0.2 วินาที

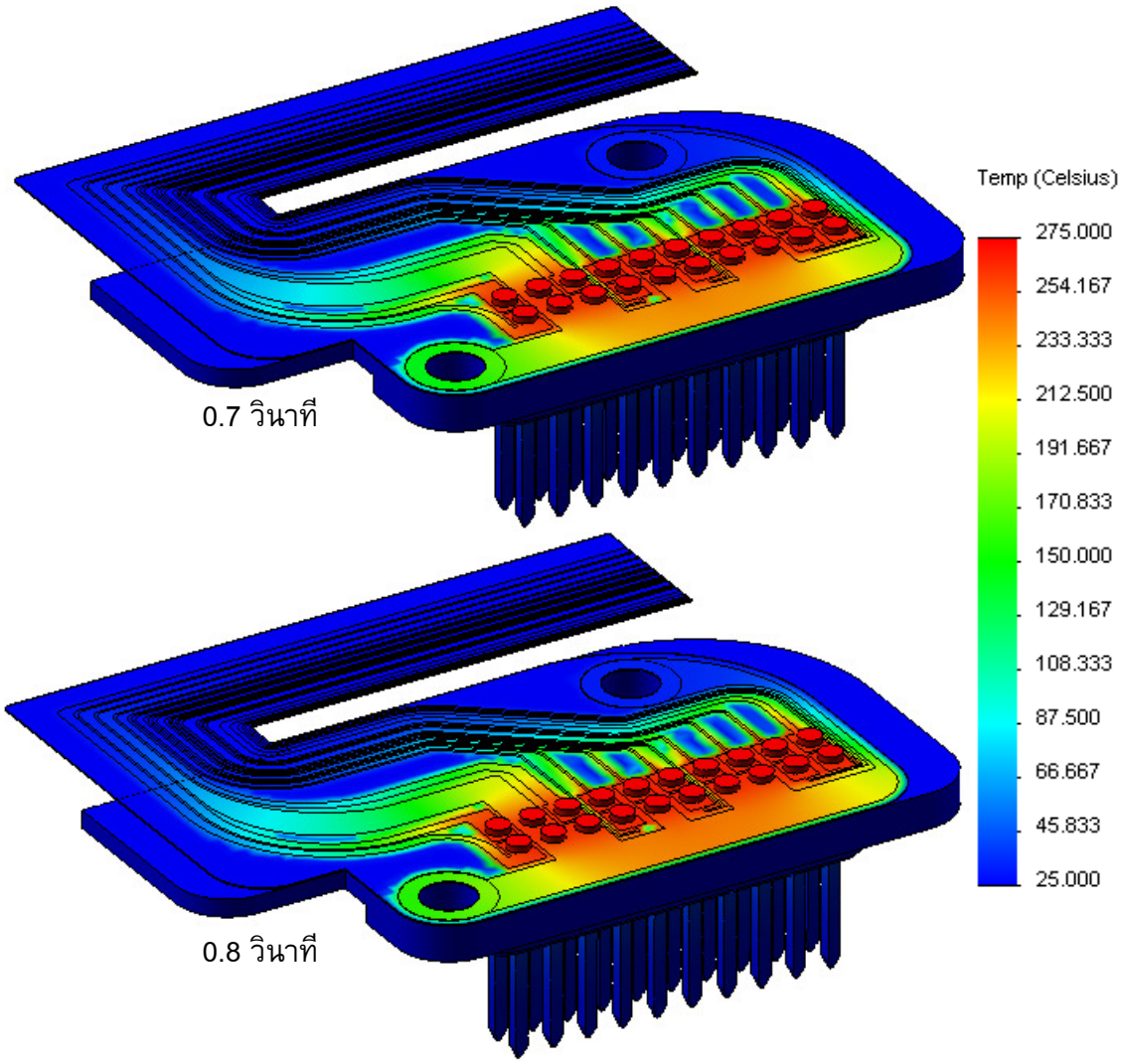
0.3 วินาที



0.4 วินาที

0.5 วินาที

0.6 วินาที



ภาพประกอบ 42 การกระจายตัวของอุณหภูมิขณะช่วงเวลา ในกรณี อุณหภูมิที่บัดกรี 275 ºC สัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ ของคอนเน็คเตอร์กับสายแพ

จากภาพประกอบ 42 แสดงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการให้ความร้อนตามเงื่อนไขของกรณีที่ 2 คือการใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 275 ºC และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 10 $W/(m^2 °C)$ โดยจะแบ่งออกตามระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อทำการบัดกรี เป็น 8 ช่วงเวลาด้วยกัน คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 วินาทีตามลำดับ ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจะมีลักษณะเดียวกันกับภาพประกอบ 42 แต่จะมีช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการบัดกรี 275 ºC อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิม 58 ºC ชิ้นส่วนที่ได้รับความร้อนจะอยู่ในส่วนของสายแพ

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อบัดกรีสายแพกับแขนแอคทิวเอเตอร์และคอนเน็คเตอร์ โดยจะมีตัวแปรที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิหลายตัวแปรด้วยกัน จึงนำตัวแปรเหล่านั้นมาสร้างเป็นเงื่อนไขและขอบเขตในการวิจัย ดังนี้

อุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรี เมื่อมีการออกกฎหมายห้ามนำเข้า ตะกั่วทำให้โลหะบัดกรีเป็นประเภทปราศจากสารตะกั่ว ส่งผลให้ต้องใช้อุณหภูมิในการบัดกรีสูงขึ้น จึงกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ได้ 3 อุณหภูมิด้วยกัน

- 183 ºC อุณหภูมิที่เป็นจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีที่ผสมตะกั่ว
- 217 ºC อุณหภูมิที่เป็นจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่ว
- 275 ºC อุณหภูมิเครื่องยิงเลเซอร์ที่ใช้ในการบัดกรี

จากผลการวิจัยพบว่าควรจะควบคุมให้ใช้อุณหภูมิบัดกรีที่ 217 ºC เนื่องจากสามารถใช้ในการบัดกรีได้ทำให้ไม่เกิดความร้อนในชิ้นงานมากเกินความจำเป็นและเป็นการลดพลังงานที่ใช้ด้วย

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน การช่วยระบายความร้อนขณะทำการบัดกรี ได้มีการกำหนดใช้ 3 ค่าด้วยกันคือ

- 10 $W/\left(m^2 °C\right)$ สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 ºC) ที่พื้นที่ผิวภายนอกของแบบจำลองทั้งหมด การบัดกรีที่สภาวะปกติ
- 100 $W/\left(m^2 °C\right)$ สำหรับการพาความร้อนแบบบังคับ ที่พื้นที่ผิวภายนอกของแบบจำลองทั้งหมด การบัดกรีที่มีการปรับปรุงระบบระบายความร้อนของห้อง
- 10 และ 100 $W/\left(m^2 °C\right)$ที่พื้นที่ผิวดังภาพประกอบ 30 และ 31 การบัดกรีเมื่อมีการปรับปรุงให้อุปกรณ์จับชิ้นงานช่วยระบายความร้อน

จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อมีการปรับปรุงระบบระบายความร้อนของห้องจะช่วยทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานลดลงจากเดิม แต่การปรับปรุงอุปกรณ์ยึดชิ้นงานก็ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิได้เช่นกันแต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าการปรับปรุงระบบระบายความร้อนของห้องก็ตาม ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตในการใช้ต้นทุนในการปรับปรุง

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี ทำให้แบ่งประเภทในการวิเคราะห์เป็น 2 ประเภทคือ

- การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัว
- การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะไม่คงตัว

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะคงตัวเพื่อศึกษาดูลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อเกิดสภาวะสมดุลทำให้ทราบว่าบริเวณใดหรือชิ้นส่วนใดที่มีอุณหภูมิที่สูง ส่วนการ

วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเมื่อสภาวะไม่คงตัว เป็นการศึกษาดูลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อทำการบัดกรีในช่วงเวลาต่างๆ ทำให้ทราบว่าความร้อนจะถูกถ่ายเทไปที่บริเวณและชิ้นส่วนใดก่อน ถ้าใช้เวลาในการบัดกรีที่เวลาจริงจะทำให้ความร้อนถูกถ่ายเทไปบริเวณใดบ้าง

จากปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิสรุปได้ว่าควรจะควบคุมอุณหภูมิที่ 217 ºC ใช้ในการบัดกรีซึ่งเป็นอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีที่ไม่ผสมตะกั่ว เพื่อไม่ให้เกิดความร้อนที่เกินความจำเป็น ใช้เวลาในการบัดกรีให้น้อยที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดการนำความร้อนในชิ้นงานมากเกินไปจนบางครั้งอาจทำให้ชิ้นส่วนของชิ้นงานเสียหายได้ จากผลการวิจัยไม่ควรเกิน 0.5 วินาที เนื่องจากหลังจาก 0.5 วินาทีผ่านไปเริ่มมีการกระจายตัวของความร้อนไปที่สายแพมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และควรปรับปรุงระบบระบายความร้อนของห้องเพื่อช่วยถ่ายเทความร้อนจากชิ้นงานอีกทางหนึ่งจากการวิจัยนี้

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าผลจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งทำให้เราทราบถึงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในแบบจำลองขณะทำการบัดกรี ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่องานวิจัย นับว่าเป็นทางเลือกที่ดีอย่างหนึ่งเพราะจะทำให้ลดค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการออกแบบเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งจัดได้ว่า เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการออกแบบ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การวิจัยมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้วิจัยได้จัดทำข้อเสนอแนะขึ้นเพื่อเป็นแนวทางต่อไปสำหรับงานวิจัยในอนาคต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยนำความร้อนขณะทำการบัดกรีที่สามารถใช้ได้กับทุกชิ้นงาน
- ออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถบัดกรีได้ตรงกับความต้องการในเรื่องของความร้อนและเวลาที่ใช้ในการบัดกรี
- การประเมินต้นทุนในการปรับปรุงระบบระบายความร้อนหลายๆ ระบบเพื่อค้นหาทางเลือกที่ดีที่สุดให้แก่ผู้ผลิต
- พัฒนาโลหะบัดกรีให้มีจุดหลอมเหลวต่ำแต่มีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงขึ้น
- การออกแบบชิ้นงานไม่ให้มีโลหะที่สามารถนำความร้อนได้อยู่ใกล้บริเวณที่ได้รับความร้อนจากการบัดกรี

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ฉวีวรรณ ลิ้มสุวรรณ; และ กรรณชัย กัลยาศิริ. (2551). *การเปลี่ยนแปลงความแข็งของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วในกลุ่ม Sn-Ag-Cu เนื่องจากสภาพแวดล้อมในการใช้งาน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย. (2535). *การถ่ายเทความร้อน*. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ; และคนอื่นๆ. (2545). *การวิเคราะห์และออกแบบงานทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. (2550). *ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรวุฒิ ก่อวงศ์พานิชย์. (2547). *การศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของ Hot Bar Blade สำหรับกระบวนการเชื่อมประสานในแผงวงจรอิเล็กทรอนิคส์*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2549). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2258-2549 โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว*. สืบค้นเมื่อ 25 มกราคม 2551, จาก http://www.ori2.com/standard/fulltext/TIS2258-2549.pdf

อัมรินทร์ เพ็ชรกุล. (2545). *จัดเตรียมฮาร์ดดิสก์และติดตั้งหลายOS*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ซีคเซสมิเดีย.

Niemeier, J.; & Seliger, G. (1998). Simulation of the Soldering Process. Institute for Machine Tools and Factory Management. Technical University Berlin. Germany

Kang, D. H.; Son, K. J.; &Yang, Y. S. (2001). Analysis of laser weldment distortion in the EDFA LD pump packaging. *Finite Elements In Analysis And Design*. 37: 749-760.

Luk, C. F.; Chan, Y. C.; & Hung, K. C. (2002). Application of adhesive bonding techniques in hard disk drive head assembly. *Microelectronics Reliability*. 42:767-777.

Chiu, Yu Fang.; Tsai, Ying Ling.; & Hawang, Weng Sing. (2003). Mathematical modeling for the solidification heat-transfer phenomena during the reflow process of lead-tin alloy solder joint in electronics packaging. *Applied Mathematical Modelling*. 27:565-579.

Klobcar, D.; Tusek, J.; &Taljat, B. (2004). Finite element modeling of GTA weld surfacing applied to hot-work tooling. *Computional Materials Science*. 31:368-378.

Eveloy, V.; Rodgers, P.; & Hashmi, M.S.J. (2004). Application of numerical analysis to the optimization of electronic component reliability screening and assembly processes. *Materials Processing Technology*. 155-156: 1788-1796.

Whalley, D.C. (2004). A simplified reflow soldering process model. *Materials Processing Technology*. 150: 134-144.

Yu, Hao;Mattila, Toni T.; & Kivilahti, Jorma K. (2006). Thermal Simulation of the Solidification of Lead-Free Solder Interconnections. *Transactions On Components And Packaging Technologies*. 29: 475-485.

Steenberge, Nele Van.; et al. (2007) Analytical and finite element models of the thermal behavior for lead-free soldering processes in electronic assembly. *Microelectronics Reliability*. 47: 215-222.

Tian, De-wen.; Wang, Chun-qing.; & Tian, Yan-hong. (2008). Effect of solidification on solder bump formation in solder jet process:Simulation and experiment. *Transactions of Nonferrous Metals Society of china.* 18: 1201-1208.

Zakel, Elke;& et al. (2009). Laser Solder Attach for Optoelectronics Packages. Retrieved March 23, 2008. from http://pactech.com/files/24%20PhoPack%202002%20USA%20Paper%2030_05.pdf

อภิธานศัพท์

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน
c_p	=	ความร้อนจำเพาะ
Q	=	อัตราปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้นได้เอง (internal heat generation)
q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
q_{gen}	=	อัตราการผลิตความร้อน
q_r	=	ปริมาณความร้อนที่ตกกระทบเนื่องจากการแผ่รังสี
q_s	=	ปริมาณความร้อนที่พุ่งเข้าสู่วัตถุ
q_x, q_y และ q_z	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (heat flow rate) ในแกน x,y และz ตามลำดับ
h	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2°C$)
k_a	=	ค่าการนำความร้อนของตัวกลาง (W/m°C)
T	=	อุณหภูมิ
t	=	เวลา
T_0	=	อุณหภูมิเริ่มต้นที่ตำแหน่งต่างๆบนวัตถุนั้น
T_s	=	อุณหภูมิที่ผิว
T_∞	=	อุณหภูมิของตัวกลาง
$\overline{T}_\infty$	=	อุณหภูมิของตัวกลางสำหรับการแผ่รังสี

สัญลักษณ์กรีก

ρ	=	ความหนาแน่น
α	=	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน (absorptivity)
ε	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสี (emissivity)
σ	=	ค่าคงตัวของซเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann constant)
ϕ	=	ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล นางสาว ศิริรัตน์ มหาชน
วันเดือนปีเกิด 8 มีนาคม 2527
สถานที่เกิด เขตจอมทอง กรุงเทพฯ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 30/18 ซ.อนามัยงามเจริญ 31 แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน -
ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2541	มัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนลาดชะโดสามัคคี
พ.ศ.2544	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนผักไห่สุทธาประมุข
พ.ศ.2548	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ.2552	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ