

การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรก
คลอด โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์

HEAT TRANSFER ANALYSIS OF INFANT RADIANT WARMER BY FINITE
ELEMENTS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-045-146

การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรก
คลอด โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์

HEAT TRANSFER ANALYSIS OF INFANT RADIANT WARMER BY FINITE
ELEMENTS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-045-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEAT TRANSFER ANALYSIS OF INFANT RADIANT WARMER BY FINITE
ELEMENTS



KITTIPAN ROONGPRASERT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN BIOMEDICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-045-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

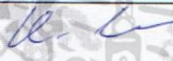



FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

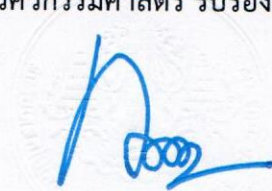
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนของเครื่องให้ความร้อนสำหรับทารกคลอด
โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์
Thesis Title Heat Transfer Analysis of infant Radiant Warmer by Finite Elements
นักศึกษา นายกิตติพันธ์ รุ่งประเสริฐ
รหัสประจำตัว 55612719
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมชีวการแพทย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-045-146

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กิตติพล	ชิตสกุล	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบูลย์	
รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์	
รศ.ดร.ชูชาติ	ปิณฑวิรุจน์	
ผศ.ดร.ภัทรพงษ์	ผาสุกกิจ	ภัท-ภ.

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2559 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด โดยใช้ไฟไนท์เอเลิเมนต์
นักศึกษา	นายกิตติพันธ์ รุ่งประเสริฐ
รหัสประจำตัว	55612719
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนจากบริเวณรอบๆ ผิวหนังทารกแรกคลอดเมื่อใช้เครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับเด็กทารก โดยใช้โปรแกรมไฟไนท์เอเลิเมนต์ 3 มิติ และเปรียบเทียบผลการจำลองการผลของรังสีความร้อน กับเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับเด็กทารกที่มีการใช้อยู่ในโรงพยาบาล ในการศึกษาได้ใช้โปรแกรมที่มีกระบวนการในการจำลองที่ง่ายที่สุด ซึ่งประกอบไปด้วย การออกแบบระบบ, การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและกระบวนการวิเคราะห์ทางด้านไฟไนท์เอเลิเมนต์แบบ 3 มิติ คือโปรแกรม COMSOL 3.5a และนำผลการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงกับเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับเด็กทารกที่มีใช้ทั่วไป ซึ่งผลการทดลองจะแสดงเป็นกราฟอุณหภูมิที่วัดจากโมเดลทารกในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมให้มีความใกล้เคียงกับการจำลองโดยใช้โปรแกรมมากที่สุด เพื่อความถูกต้องแม่นยำของผลที่วัดเทียบกับการจำลองโดยใช้โปรแกรม ให้มีความมั่นใจและน่าเชื่อถือมากขึ้น และเป็นการยืนยันได้ว่าหลักการไฟไนท์เอเลิเมนต์ 3 มิติสามารถช่วยในการวิจัยและออกแบบฟังก์ชันใหม่ๆ ในอนาคตได้

Thesis Title	Heat Transfer Analysis of Infant Radiant Warmer by Finite Elements.
Student	Mr. Kittipan Roongprasert
Student ID.	55612719
Degree	Master of Engineering
Program	Biomedical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Pattarapong Phasukkit
Thesis Co - Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chuchart Pintavirooj

ABSTRACT

This thesis presents an analysis of heat transfer from the surrounding area skin of newborn under using infant radiant warmer (IRW) by finite element three-dimensional software. And compare the results of heat transfer measurements from experiments on the IRW used in hospitals. In this study, results are obtained for a simplified model. It is equipped with. Systems design, the properties of materials and processing methods using finite element three-dimensional software. The results of the simulation using COMSOL Multiphysics 3.5a programs will be compared with the experimental results of heat transfer in newborn skin mounted on the IRW. The criteria are in the form of a temperature graph that is installed in a location that is designed to provide a virtual environment as far as possible. To ensure the accuracy of the experimental verified with the simulation method. The finite element model at 3D will make the research more easily add new features in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีเนื่องมาจากการสนับสนุน ส่งเสริม และความช่วยเหลือจากผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ในการให้คำแนะนำการวางแผนงาน ตลอดจนชี้แนะให้งานวิจัยนี้บรรลุเป้าหมายและติดตามเกี่ยวกับงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รศ.นันทชัย ทองแป้น, รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ และ คณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้โอกาสรวมทั้งประสิทธิประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีอันเป็นคุณประโยชน์แก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ มารดา-บิดาของข้าพเจ้าผู้มีพระคุณอันสูงสุดสุดที่ท่านคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านรวมทั้งน้องชายและครอบครัวคอยเป็นกำลังใจให้งานต่างๆสามารถลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ ทุกคนทั้งในและนอกห้องปฏิบัติการ Burn Lab โดยเฉพาะ ผศ.ดร. อาทร สรรพพานิช ที่เป็นกำลังใจให้ข้อคิดคำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาตลอดจนญาติพี่น้องผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนคณาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

กิตติพันธ์ รุ่งประเสริฐ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีการควบคุมอุณหภูมิของทารกแรกเกิด.....	4
2.1.1 อุณหภูมิ.....	4
2.1.2 ความผิดปกติของอุณหภูมิทารกแรกคลอด.....	5
2.1.3 การควบคุมอุณหภูมิกายของทารกแรกคลอด.....	6
2.1.4 สิ่งแวดล้อมที่ไม่มีผลในด้านอุณหภูมิโดยตรง.....	6
2.1.5 ความร้อน.....	7
2.1.6 การสูญเสียความร้อนของทารก และ การคำนวณค่าความร้อนที่ทารกสูญเสีย.....	7
2.1.7 แหล่งสร้างความร้อนในร่างกาย.....	10
2.1.8 กระบวนการรักษาทารกแรกคลอดในสภาวะ อุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia).....	10
2.2 สมการการแผ่รังสีความร้อน.....	12
2.2.1 สมการการแผ่รังสีความร้อน.....	12
2.2.2 สมการการไหลของ นาเวียร์-สโตก (Navier – Stokes Equation).....	13
2.3 หลักการวิเคราะห์สมการ.....	13
2.4 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method).....	13
2.4.1. การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2. การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์.....	14
2.4.3. การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์.....	14
2.4.4. การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกัน.....	14
2.4.5. การคำนวณหาค่าอื่นๆที่เหลือ.....	14
2.5 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์.....	15
2.6 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล.....	16
2.7 ทฤษฎีเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด.....	16
2.7.1 หลักการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด.....	16
2.7.2 โหมดการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด.....	17
2.7.3 ส่วนประกอบของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด.....	17
บทที่ 3 วิธีการในการวิจัย.....	18
3.1 กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics.....	19
3.2 การออกแบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด.....	23
3.3 วิธีการการนำโมเดลเข้าสู่โปรแกรมและการกำหนดค่าพารามิเตอร์.....	24
3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ.....	27
3.5 การสร้างเมชเอลิเมนต์เพื่อวิธีการดำเนินการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	28
3.6 การทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด.....	29
3.6.1 อุปกรณ์ประกอบการทดลอง.....	29
3.6.2 ขั้นตอนการใช้งานและการปรับตั้งค่า.....	31
3.6.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ INCU Analyzer.....	32
3.6.4 สภาพแวดล้อมขณะทดลอง.....	33
บทที่ 4 ผลการจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลอง.....	34
4.1 ผลจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	34
4.1.1 ผลการจำลองการกระจายความร้อนภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อน สำหรับทารกแรกคลอด.....	35
4.1.2 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อน สำหรับทารกแรกคลอด.....	36
4.2 ผลจากการทดลองวัดอุณหภูมิจากเครื่องจริง.....	38
4.2.1 ผลการทดลองจากตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด.....	35
4.2.2 ผลการทดลองจากตัวเครื่องวัดอุณหภูมิ INCU Analyzer.....	41
บทที่ 5 สรุปผลการจำลอง.....	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก.....	49
ประวัติผู้เขียน	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตารางเปรียบเทียบมาตรฐานของการวัดอุณหภูมิ	4
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Neutral thermal Environment Temperatures)	6
3.1 แสดงค่าขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบที่ใช้ในการจำลอง	27
3.2 แสดงค่าคุณสมบัติวัสดุของระบบที่ใช้ในการจำลอง	28
3.3 แสดงขอบเขตของการถ่ายเทความร้อน (Boundary Condition of Heat Transfer).....	28
3.4 แสดงสภาพแวดล้อมขณะทดลอง	33



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการรักษาด้วยวิธีการคลุมพลาสติกใส	11
2.2 แสดงการรักษาด้วยวิธีการใช้เครื่องให้ความอบอุ่นด้วยรังสี.....	11
2.3 แสดงการรักษาด้วยวิธีการใช้ตู้อบทารกแรกคลอด	11
2.4 แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งออกเป็น เอลิเมนต์และโหนด.....	14
3.1 การแบ่งรูปร่างโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ.....	19
3.2 เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่มีต่อจุด 3 จุด	20
3.3 แสดงภาพการออกแบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด โดยถอดแบบมาจากเครื่องที่มีใช้ในโรงพยาบาล	24
3.4 แสดงภาพการออกแบบตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ตามแบบที่มีใช้อยู่จริง	25
3.5 แสดงภาพการออกแบบระบบตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดเพื่อใช้ในการ จำลอง.....	26
3.6 แสดงภาพด้านหน้าและด้านข้างของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด	26
3.7 แสดงภาพการออกแบบระบบตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดเพื่อใช้ในการ จำลองทั้งหมด.....	27
3.8 แสดงภาพการออกแบบให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด 3 มิติ และ meshing refinement	29
3.9 แสดงลักษณะตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ที่นำมาทดลอง	30
3.10 แสดงลักษณะตัวเครื่อง NICU Analyzer ที่นำมาทดลอง	30
3.11 แผงควบคุมการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด	30
3.12 แสดงการวิธีการตั้งค่าของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด	31
3.13 แสดงการวิธีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิในการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อน สำหรับทารกแรก คลอด.....	32
3.14 แสดงลักษณะตัวเครื่อง NICU Analyzer ที่นำมาทดลอง	32
3.15 แสดงการใช้เครื่อง INCU Analyzer ทำการวัดอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมที่ควบคุม	33
4.1 แสดงภาพ Meshing refinement ที่ค่าความละเอียดต่างๆ.....	34
4.2 แสดงผลการจำลองการกระจายความร้อนภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรก คลอดที่เวลา 30 นาที มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$).....	35
4.3 แสดงผล Isosurface of Temperature ภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรก คลอดที่เวลา 5, 15 และ 30 นาที มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$).....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดที่เวลา 30 นาที มีหน่วยเป็น m/s	37
4.5 แสดงภาพ Streamline Velocity Field เพื่อแสดงลักษณะการไหลของอากาศในช่วงเวลาที่ 5, 15 และ 30 นาที มีหน่วยเป็น m/s.....	37
4.6 แสดงภาพ Arrow Volume Velocity Field เพื่อแสดงทิศทางการไหลของอากาศในช่วงเวลาที่ 5, 15 และ 30 นาที มีหน่วยเป็น m/s	38
4.6 แสดงภาพเครื่องวัดอุณหภูมิห้องที่ใช้ในการทดสอบ.....	33
4.7 แสดงการวางระบบการวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ INCU Analyzer และเครื่องวัดอุณหภูมิยี่ห้อ Fluke 289	39
4.8 แสดงการตั้งค่าเริ่มต้นของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด	40
4.9 แสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดเมื่อทำงานไปแล้ว 20 นาที	40
4.10 แสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดเมื่อทำงานไปแล้ว 25 นาที	41
4.11 แสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดเมื่อทำงานไปแล้ว 30 นาที	41
4.12 แสดงลักษณะการวางเครื่อง INCU Analyzer เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิ	42
4.13 แสดงกราฟการวัดอุณหภูมิ ภายใต้หลอดอินฟาเรดที่เวลา 30 นาที โดยใช้โปรแกรมของเครื่อง INCU Analyzer.....	42
4.14 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิ ระหว่างการทดลองจริงและการจำลองจากโปรแกรม	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ทารกแรกคลอดต้องเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมจากครรภ์มารดาเข้าสู่สภาวะแวดล้อมภายนอก ทำให้เมตาบอลิซึมและออกซิเจนในเลือดเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เพื่อพยายามที่จะรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ดังนั้นเมื่อทารกคลอดจากครรภ์มารดาจึงควรอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิคงที่ที่ 37 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อน สิ่งที่ต้องระวังคือ ทารกแรกคลอดควรได้รับการดูแลภายใต้เครื่องให้ความอบอุ่นและอยู่ในสภาวะควบคุมสภาพแวดล้อมอีกอย่างน้อย 4 ชั่วโมง [1]

ภาวะอุณหภูมิร่างกายต่ำในทารกแรกเกิด ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนมากมาย การป้องกันภาวะอุณหภูมิร่างกายต่ำในทารกแรกเกิดจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะภาวะนี้จะซ้ำเติม ทารกที่ป่วยด้วยโรคใดโรคหนึ่งอยู่แล้วให้มีอาการรุนแรงเพิ่มขึ้นจนถึงเสียชีวิตได้ โดยพบมีอัตราเสียชีวิตสูงถึงร้อยละ 25-50 [5] การป้องกันทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ให้เหมาะสมกับ น้ำหนักตัวของทารกแรกคลอด การป้องกันการสูญเสียความร้อนที่ดีที่สุดคือการให้ความอบอุ่นที่ผิวหนัง ลดการเคลื่อนไหวของอากาศโดยรอบตัวทารก เพิ่มความชื้นในอากาศให้สูงขึ้นสามารถช่วยลดการสูญเสียความร้อนโดยการนำ การพาความร้อนและการระเหยของน้ำได้ แต่ไม่สามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation) ได้ทั้งหมด เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนไม่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศ แต่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นผิววัตถุโดยรอบ การแผ่รังสีความร้อน เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนแก่ทารก เนื่องจากสามารถใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่ทารกได้เร็ว และสามารถบริหารจัดการไม่ให้เกิดอันตรายแก่ทารกได้ง่าย การป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยวิธีนี้ทำได้โดยใช้ เครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี และขณะทำผ่าตัดหรือหัตถการต่างๆ ที่จำเป็นต้องป้องกันทารกต่อสิ่งแวดล้อม ควรให้มีการป้องกันการสูญเสียความร้อนอย่างเต็มที่

ในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับอันตรายที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียอุณหภูมิของทารกแรกคลอดที่มีอายุตั้งแต่ 0 - 30 วันหลังคลอด ดังนี้ ในปี ค.ศ. 2010 Anna M. Fic [3] ได้มีการใช้หลักการของระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เพื่อใช้จำลอง การส่งผ่านความร้อนของเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี สู่ผิวหนังเด็กและ เพื่อวิเคราะห์การสูญเสียผ่านผิวหนังจากการใช้เครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี ซึ่งผลการศึกษาพบว่าทารกที่ใช้เครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสีในระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดภาวะการสูญเสียผ่านผิวหนังและเป็นอันตรายต่อทารกได้ Daniele Trevisanuto [4] ได้ทำการทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิภายนอก ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี ซึ่งได้ทำการทดลองโดยวิธีการวัด

อุณหภูมิทารกแรกคลอดในขณะที่ใช้เครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสีในสภาวะแวดล้อมที่

แตกต่างกันด้วยกล้องอินฟราเรด ผลการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสีในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย จะมีผลต่อการรักษาสมดุลของระดับอุณหภูมิกายได้น้อยกว่าสภาพแวดล้อมแบบปิด

ส่วนในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้เทคนิค การวิเคราะห์การแผ่รังสีความร้อนของเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี ด้วยวิธีการไฟไนท์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ จากโปรแกรม Comsol 3.5 เพื่อศึกษาการปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี และเปรียบเทียบผลการจำลองกับเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสีที่มีการใช้งานอยู่จริง ซึ่งสามารถแสดงผลการแผ่รังสีความร้อนของเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี ให้มีผลใกล้เคียงกับเครื่องที่มีใช้อยู่จริง ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลของการแผ่รังสีความร้อนได้อย่างแม่นยำ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อศึกษาการจำลองการกระจายตัวของรังสีความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี โดยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ 3 มิติ

1.2.2. เพื่อนำผลจากการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารก โดยการแผ่รังสีที่มีใช้ในโรงพยาบาลในประเทศไทย

1.2.3. เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาในการสร้างเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี ต่อไปในอนาคต

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการแผ่รังสีและการกระจายตัวของความร้อน ในแบบจำลองของเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การใช้ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ มาสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของรังสีความร้อนที่เกิดจากเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี สามารถนำมาใช้ในการศึกษาการแผ่รังสีและการกระจายตัวของความร้อน ในแบบจำลองของเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกโดยการแผ่รังสี จะเป็นไปตามทฤษฎีการกระจายความร้อนด้วยการแผ่รังสีความร้อน (Heat Radiation) และสมการการไหลของนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาเกี่ยวกับ การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของรังสีความร้อน ที่เกิดจากเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกด้วยวิธีการแผ่รังสี โดยกำหนดสภาวะแวดล้อมการใช้งานของเครื่องในห้องที่มีระบบปิดในระยะเวลา 30 นาที ไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอก และนำผลที่ได้จากการจำลองมาเทียบกับการใช้งานเครื่องจริงที่มีใช้อยู่ทั่วไปในโรงพยาบาล ในสภาวะแวดล้อมและระยะเวลาที่เท่ากัน

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ในแต่ละบทจะมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัยและโครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วย กายวิภาคศาสตร์และสรีระศาสตร์ของทารก ทฤษฎีการสูญเสียความร้อนของทารกแรกคลอด และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับทารก ทฤษฎีเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกด้วยวิธีการแผ่รังสี สมการการแผ่รังสีความร้อน(Heat Radiation) และสมการการไหลของนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) และหลักการวิเคราะห์สมการ

บทที่ 3 กล่าวถึง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กระบวนการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ การประยุกต์ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล กระบวนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics การออกแบบโครงสร้างเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกด้วยวิธีการแผ่รังสี การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของแบบจำลอง การกำหนดเมช (Mesh) แบบจำลอง การกำหนดเงื่อนไข ขอบเขตของแบบจำลอง และการประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลอง

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการจำลองโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และผลการทดลองจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิของเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกด้วยวิธีการแผ่รังสี

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวบรวม และข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็น ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วย กายวิภาคศาสตร์และสรีระศาสตร์ของทารก ทฤษฎีการสูญเสียความร้อนของทารกแรกคลอด และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับทารก ทฤษฎีเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกด้วยวิธีการแผ่รังสี สมการการแผ่รังสีความร้อน(Heat Radiation) และสมการการไหลของนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) และหลักการวิเคราะห์สมการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีการควบคุมอุณหภูมิของทารกแรกเกิด

2.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ คือ คุณสมบัติทางกายภาพ ของระบบ โดยจะใช้เพื่อแสดงถึงระดับพลังงานความร้อน เป็นการแทนความรู้สึกทั่วไปของคำว่า "ร้อน" และ "เย็น" โดยสิ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะถูกกล่าวว่าร้อนกว่า หน่วย SI ของอุณหภูมิ คือ เคลวิน (K) โดยมีมาตรฐานของหลักการวัด แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงตารางเปรียบเทียบมาตรฐานของการวัดอุณหภูมิ [8]

หน่วยของอุณหภูมิ	ภาษาอังกฤษ	จุดเยือกแข็งของน้ำ	จุดเดือดของน้ำ
องศาเซลเซียส	Celsius ($^{\circ}\text{C}$)	0	100
องศาฟาเรนไฮต์	Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)	32	212
องศาเคลวิน	Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)	273	373
องศาโรเมอร์	Reaumur ($^{\circ}\text{R}$)	0	80

อุณหภูมิในร่างกายของมนุษย์จะมีความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้พลังงานของเซลล์หรืออวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อเมื่อมีการหดตัว การย่อยอาหาร และจากกระบวนการอื่นๆ ที่จำเป็นต่อร่างกาย ความร้อนที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะต้องถูกระบายหรือสูญเสียออกจากร่างกาย ทั้งนี้เพื่อควบคุมความร้อนในร่างกายให้คงที่ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย โดยเฉพาะปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของร่างกายจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสม ความสมดุลระหว่างการสร้างความร้อนในร่างกายและการระบายความร้อนออกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างกาย จะถูกกำหนดโดยอุณหภูมิของร่างกาย (Body Temperature) ซึ่งอุณหภูมิร่างกายของมนุษย์ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

อุณหภูมิแกน (Core Temperature) เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากอวัยวะที่อยู่ในส่วนลึกของร่างกาย ซึ่งสามารถทราบค่าอุณหภูมิแกนได้โดยการวัดทางทวารหนัก ปกติจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก คือไม่เกิน 1 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 0.6 องศาเซลเซียส แม้ว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกจะเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมิแกนโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 37.1 องศาเซลเซียส เมื่อวัดทางปากจะมีค่าประมาณ 97 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 36 องศาเซลเซียส ถึง 99.5 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 37.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแกนจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาระหว่างวัน โดยจะสูงสุดในช่วงตอนเย็นและต่ำสุดในช่วงตอนเช้า

อุณหภูมิเปลือกหรืออุณหภูมิผิวหนัง (Shell Temperature or Skin Temperature) เป็นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามสภาวะแวดล้อมภายนอกและภายในร่างกาย แต่มีความสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิแกนให้คงที่

2.1.2 ความผิดปกติของอุณหภูมิทารกแรกคลอด

ทารกแรกคลอดโดยเฉพาะทารกคลอดก่อนกำหนดมีความสามารถจำกัดในการปรับตัวเพื่อให้ อุณหภูมิร่างกายที่ ส่งผลให้อุณหภูมิแกนกลางของร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง หากไม่ควบคุมอุณหภูมิร่างกายของทารกให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ จะทำให้อัตราการเกิดโรคและอัตราการตายในทารกเพิ่มขึ้น

ภาวะอุณหภูมิร่างกายสูง (Hyperthermia) หมายถึง อุณหภูมิภายในร่างกายของทารกเกิน 37.5 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิที่วัดทางผิวหนัง มากกว่า 37 องศาเซลเซียส ซึ่งสาเหตุที่สำคัญและมีอันตรายถึงชีวิต คือการติดเชื้อแบคทีเรียในเลือด (Sepsis)

ภาวะอุณหภูมิร่างกายต่ำ (Hypothermia) หมายถึง อุณหภูมิภายในร่างกายของทารกน้อยกว่า 36.5 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิที่วัดทางผิวหนังน้อยกว่า 36 องศาเซลเซียส ภาวะอุณหภูมิร่างกายต่ำ จะมีความรุนแรงขึ้นกับความสามารถในการปรับตัวของทารกโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี อุณหภูมิของ สิ่งแวดล้อมต่ำมากน้อยเพียงใด และระยะเวลาที่ทารกเผชิญกับความเย็น ทารกที่อยู่ในที่มีอุณหภูมิต่ำ ไม่มากเป็นเวลานาน จะสามารถสร้างความร้อนเพิ่มโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งน้ำหนักของทารกจะไม่เพิ่ม เนื่องจากแคลอรีที่ได้จากอาหารต้องถูกนำไปสลายเป็นความร้อนแทนการนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต

2.1.3 การควบคุมอุณหภูมิภายในของทารกแรกคลอด

ความสามารถในการปรับตัวของทารกแรกคลอดเพื่อให้มีอุณหภูมิภายในปกติ (อุณหภูมิทวารหนัก 37.0 องศาเซลเซียส) การป้องกันภาวะอุณหภูมิภายในต่ำหรืออุณหภูมิภายในสูงในทารกแรกเกิดที่อยู่ในโรงพยาบาล ต้องปรับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ทารกอยู่ ให้อยู่ในเกณฑ์พอเหมาะสำหรับอายุหลังคลอด อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่พอเหมาะสำหรับทารกแรกเกิด แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม [11]

อายุ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)	อายุ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)
0-6 ชม.	32.0-33.8	48-72 ชม.	30.1-33.2
6-12 ชม.	31.4-33.8	72-96 ชม.	29.8-32.8
12-24 ชม.	31.0-33.7	4-12 วัน	29.0-32.6
24-36 ชม.	30.7-33.5	12-14 วัน	29.0-30.8
36-48 ชม.	30.5-33.3		

2.1.4 สิ่งแวดล้อมที่ไม่มีผลในด้านอุณหภูมิโดยตรง

นอกจากการคำนึงถึงความร้อนที่เกี่ยวข้องกับตัวทารกแล้วยังต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีผลในด้านอุณหภูมิโดยตรงด้วย เช่น

2.1.4.1. ความชื้น ความชื้นนั้นไม่เพียงจะมีผลต่อการสูญเสียความร้อนทางการระเหยของน้ำเท่านั้น แต่ยังมีผลทำให้ทารกมีโอกาสติดเชื้อได้สูงขึ้นด้วย เพราะจุลชีพที่ก่อให้เกิดผลในมนุษย์นั้นมักจะเจริญเติบโตได้รวดเร็วขึ้นในสภาวะที่อุณหภูมิและความชื้นสูง

2.1.4.2. สิ่งแวดล้อมทางเสียง อาจเกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอก พบว่าถ้ามีเสียงดังเกิน 60 เดซิเบล อาจมีผลเสียต่อประสาทหูของทารกได้

2.1.4.3. สิ่งแวดล้อมทางแสง แสงที่ผ่านเข้ามา ไม่เพียงมีผลต่ออุณหภูมิเท่านั้นแต่ยังมีผลกับเนื้อเยื่อที่เรตินาของทารกและถ้าทารกได้รับแสงจ้ามักก็อาจจะทำให้ตาบอดได้

2.1.5 ความร้อน

ในทางฟิสิกส์ ความร้อน (ใช้สัญลักษณ์ว่า Q) หมายถึง พลังงานที่ถ่ายเทจากสสารหรือระบบหนึ่งไปยังสสาร หรือ ระบบอื่นโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อวัตถุที่พื้นผิวของวัตถุ ความร้อนสามารถไหลผ่านจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หากต้องการให้ความร้อนถ่ายเทไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิเท่ากันหรือสูงกว่าจะทำได้ก็ต่อเมื่อใช้ Heat Pump เท่านั้น การสร้างแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงสามารถทำได้จากปฏิกิริยาเคมี (เช่นการเผาไหม้) ปฏิกิริยานิวเคลียร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(เช่น พิวชั้นในดวงอาทิตย์) การเคลื่อนที่ของอนุภาคแม่เหล็กไฟฟ้า (เช่นเตาไฟฟ้า) หรือการเคลื่อนที่ทางกล (เช่นการเสียดสี)

2.1.6 การสูญเสียความร้อนของทารก และการคำนวณค่าความร้อนที่ทารกสูญเสีย

หลักการงานที่การป้องกันการสูญเสียความร้อนของทารกมาสู่บรรยากาศ โดยการสูญเสียความร้อนของทารกนั้นอาจเกิดได้ 4 วิธี ดังนี้

2.1.6.1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction)

การนำความร้อนจะถูกถ่ายเทจากอนุภาคที่หนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิสูงไปสู่อนุภาคที่อยู่ติดกันและมีอุณหภูมิต่ำกว่า ความร้อนจะถ่ายเท ต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ โดยในขณะที่อนุภาคที่รับความร้อนเข้าไปนั้นจะถ่ายเทความร้อนออกจำนวนหนึ่งด้วยเสมอ ซึ่งอัตราการไหลเข้าของความร้อนในตอนแรกจะสูงกว่าอัตราการไหลออก เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการไหลเข้าของความร้อนบนอนุภาคนั้นลดลง อัตราการไหลออกจะสูงขึ้น จนในที่สุดอัตราการไหลเข้าจะเท่ากับอัตราการไหลออก ความร้อนจะหยุดไหล หรือ จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนบนอนุภาคนั้นอีกต่อไป นั้นหมายความว่าอนุภาคบนก้อนวัตถุนั้นเข้าสู่ภาวะสมดุลทางความร้อน

$$\text{อัตราการไหลของความร้อน} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2.1)$$

เมื่อ	ΔQ	=	ปริมาณความร้อนที่ไหลเข้าและไหลออก
	Δt	=	ช่วงเวลานั้นๆ จะเป็นปริมาณโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดขวาง (m ²)
	$T_2 - T_1$	=	T_2 เป็นอุณหภูมิความร้อนที่ไหลเข้า T_1 เป็นอุณหภูมิความร้อนที่ไหลออก
	L	=	ความยาวของวัตถุ (m)

ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 2.2

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2.2)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า “สภาพนำความร้อนของสสาร” (Thermal Conductivity) คือ เป็นค่าของปริมาณความร้อนที่ไหลในหนึ่งหน่วยเวลาผ่านหนึ่งหน่วยของพื้นที่ของแผ่นวัตถุที่มีความหนาหนึ่งหน่วย และอุณหภูมิระหว่างผิวหน้าทั้งสองต่างกัน 1 องศา ดังนั้นหน่วยของ k จึงเป็น

$$Jm^{-1}s^{-1}K^{-1} \text{ หรือ } Wm^{-2}K^{-1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปริมาณ $\frac{(T_2 - T_1)}{L}$ ถูกเรียกว่า “ค่าความชันของอุณหภูมิ” (Temperature Gradient) ส่วนเครื่องหมายลบในสมการ มีความหมายว่า อุณหภูมิจะลดลงตามระยะทาง L ที่เพิ่มขึ้น

2.1.6.2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Convection)

กลไกการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนจะต่างกับการนำความร้อนตรงที่ว่า ในขณะที่ถ่ายเทความร้อนจะมีการเคลื่อนที่ของมวลของตัวกลาง และเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางที่เป็นของไหลกับผิวที่เป็นของแข็ง อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวของแข็ง การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยหลักการให้โมเลกุลของตัวกลางเคลื่อนที่พาพลังงานความร้อนไปกับตัวกลางจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอัตราการส่งผ่านความร้อนออกจากวัตถุก้อนหนึ่งโดยการพาความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหลที่เป็นตัวพาความร้อนกับอุณหภูมิของพื้นที่ผิว A ที่ติดอยู่กับของไหล เขียนเป็นสมการที่ 2.3

$$Q = hA\Delta T \quad (2.3)$$

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Coefficient) ของตัวกลาง เป็นค่าคงตัวซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนมีหน่วยเป็น (W)
 A = พื้นที่ผิวของตัวกลาง มีหน่วยเป็น (m^2)
 ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ 2 ตำแหน่งบนตัวกลางนั้น มีหน่วยเป็น (K)
 Q = พลังงานการพาความร้อน

2.1.6.3. การระเหยของน้ำ (Evaporation)

เมื่อน้ำระเหยออกจากร่างกายก็จะพาความร้อนออกไปด้วย ทารกหลังเกิดใหม่ ๆ จะมีน้ำทุนหัวเปียกทั้งตัว จะทำให้เสียความร้อนโดยวิธีนี้ได้มาก จึงควรรีบใช้ผ้าอุ่นซับให้แห้งโดยเร็ว ส่วนการสูญเสียความร้อนทางการระเหยของน้ำบนผิวเด็กนั้นไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ แต่เกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันย่อยของน้ำบนผิวเด็ก (Skin Partial Pressure) และความดันย่อยของอากาศที่อยู่รอบๆ ตัวเด็ก (Air Partial Pressure) แสดงดังสมการที่ 2.4

$$Evap\ loss = K(Pt_s - Pt_a) \times A \quad (2.4)$$

เมื่อ Pt_s = ความดันย่อยของน้ำบนผิวเด็ก

Pt_a = ความดันย่อยของอากาศที่อยู่รอบๆ ตัวเด็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A = พื้นที่ผิวทารก
K = Thermal Conductivity

2.1.6.4. การแผ่รังสี (Radiation)

เป็นการเสียความร้อนให้กับวัตถุที่อยู่ห่างจากร่างกายและมีอุณหภูมิต่ำกว่า เช่น เครื่องทำความร้อน (Warmer) จะให้ความอบอุ่นโดยการแผ่ และเมื่อคำนึงถึงการแผ่รังสีความร้อน สมการการถ่ายเทความร้อนจำเป็นต้องได้รับการดัดแปลงเล็กน้อยโดยความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสี (H_r) จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวทารกที่สัมผัสกับอากาศ (A_b) พื้นที่ของเบาะรองทารก (A_r) ความสามารถในการแผ่รังสีของทารก (E_s) ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (E_r) และสมการข้างล่างนี้คือค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณคือ องศาเคลวิน และความร้อนที่มีการถ่ายเทจะอยู่ในรูปวัตต์ โดยค่าคงที่ Stefan Boltzmann Constant (σ) เท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$

$$H_r = \left[\frac{1}{E_s} + \frac{A_b}{A_r} \left(\frac{1}{E_r} - 1 \right) \right] \times \sigma (T_s^4 - T_r^4) \quad (2.5)$$

- เมื่อ H_r = ความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสี
 A_b = พื้นที่ผิวทารกที่สัมผัสกับอากาศ
 A_r = พื้นที่ของเบาะรองทารก
 E_s = ความสามารถในการแผ่รังสีของทารก
 E_r = ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน
 T_s = อุณหภูมิผิววัสดุ
 T_r = อุณหภูมิจากการแผ่รังสี
 σ = ค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann

การสูญเสียความร้อนที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะเป็นไปตามสภาพการถ่ายเทความร้อนซึ่งอาจจะคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปโดยปริมาณ (ยกเว้นการระเหย) และจะแปรผันตามความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อุ่นกว่า (T_o) กับอุณหภูมิของวัตถุที่เย็นกว่า (T_e) แสดงดังสมการที่ 2.6

$$\text{Heat loss} = k(T_o - T_e) \quad (2.6)$$

- เมื่อ k = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
 T_o = อุณหภูมิที่อุ่นกว่า
 T_e = อุณหภูมิของวัตถุที่เย็นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 แหล่งสร้างความร้อนในร่างกาย

ความร้อนที่ทำให้ร่างกายอบอุ่น ได้มาจาก 2 ทาง คือ

2.1.7.1. เมตาโบลิซึม (Basal Metabolic) ในภาวะปกติความร้อนส่วนใหญ่เกิดได้จากการเผาผลาญอาหารภายในร่างกาย

2.1.7.2. การทำงานของกล้ามเนื้อ (Shivering) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานเคมีที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของกล้ามเนื้อไปเป็นความร้อน

2.1.8 กระบวนการรักษาทารกแรกคลอดในสภาวะ อุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia)

ดูแลให้ทารกอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิที่ทำให้ทารกมีการใช้ออกซิเจนและมีการเผาผลาญอาหารน้อยที่สุด (Neutral thermal environment, NTE) โดยให้ทารกอยู่ในตู้อบ หรือ Radiant warmer สำหรับทารกเกิดก่อนกำหนดที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 1,000 กรัม (ELBW) ควรใช้ Servocontrolled incubator โดยติด Skin probe ไว้ที่ผนังหน้าท้อง และตั้งปุ่มปรับอุณหภูมิผิวหนังทารกไว้ที่ 36.5 องศาเซลเซียส.

ทารกแรกเกิดประเภท ELBW ที่ได้รับความอบอุ่นจาก Radiant warmer ควรดูแลโดยคลุมแผ่นพลาสติกใส (Plastic wrap) ที่เตียงของทารกเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและความร้อนทางผิวหนัง (Insensible water loss) ดังรูปที่ 2.1

หลีกเลี่ยงภาวะเสี่ยงที่อาจทำให้ทารกสูญเสียความร้อน เช่น หลีก เลี่ยงการวางทารกไว้บนที่นอนที่เย็น หรือที่ๆ มีลมพัดผ่าน หรือวางทารกไว้ใกล้ฝาผนังห้องที่เย็น เปลี่ยนผ้าอ้อมให้ทารกเมื่อเปียกชื้น เป็นต้น

สังเกตอาการของ Hypothermia เช่น เชียวตามปลายมือปลายเท้า ซึม กระสับกระส่าย ผิวหนังซีดและเย็น หายใจเร็ว รับนมไม่ได้ น้ำหนักไม่เพิ่ม เมื่อพบว่า ทารกมีภาวะ Hypothermia ควรให้การดูแลโดยเพิ่มอุณหภูมิของตู้อบหรือวางตัวทารกไว้ใต้ Radiant warmer หรือห่อตัวทารกให้อบอุ่น ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3

สังเกตอาการของ Hyperthermia เช่น ผิวหนังแดงขึ้น และร้อน หายใจเร็วขึ้น ควรแก้ไขตามสาเหตุของการมีอุณหภูมิร่างกายสูง เช่น ห่อตัวทารกมากเกินไป อุณหภูมิของตู้อบสูงเกินไป เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงการรักษาด้วยวิธีการคลุมพลาสติกใส [16]



รูปที่ 2.2 แสดงการรักษาด้วยวิธีการใช้เครื่องให้ความอบอุ่นด้วยรังสี [16]



รูปที่ 2.3 แสดงการรักษาด้วยวิธีการใช้ตู้อบทารกแรกคลอด [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมการการแผ่รังสีความร้อน

2.2.1 สมการการแผ่รังสีความร้อน

สมการการแผ่รังสีความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ ของแบบจำลองเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกด้วยวิธีการแผ่รังสี เพื่ออธิบายการแผ่รังสีและการกระจายตัวของอุณหภูมิซึ่งรูปสมการที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q \quad (2.7)$$

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h(T_{inf} - T) + \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) (J_0 - \sigma T^4) \quad (2.8)$$

โดยที่

ρ	คือค่าความหนาแน่นของวัสดุ
C_p	คือค่าความจุความร้อนของวัสดุ
k	คือค่าการนำอุณหภูมิของวัสดุ
Q	คือปริมาณความร้อนของแหล่งจ่ายความร้อน
n	คือ Surface normal vector.
T_{inf}	คือ Convection cooling gas.
ε	คือ Surface emissivity.
J_0	คือ Expression for surface radiosity.
σ	คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann.

2.2.2 สมการการไหลของ นาเวียร์สโตกส์ (Navier – Stokes Equation)

สมการการไหลของ นาเวียร์สโตกส์ (Navier – Stokes Equation) เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยจากการประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของของไหล เช่นการจำลองสภาพอากาศ การไหลของอากาศผ่านปีกเครื่องบิน การไหลของของไหลในท่อหรือการไหลของเลือดในหลอดเลือด เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์การไหลของอากาศรอบๆเครื่องให้ความอบอุ่นแก่ทารกด้วยวิธีการแผ่รังสี ก็ใช้สมการ นาเวียร์สโตกส์ เพื่อนำมาวิเคราะห์การไหลของอากาศบริเวณรอบๆ เบาะนอนของเด็กทารก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-pI + \eta(\nabla u + (\nabla u)^T)] + F \quad (2.9)$$

โดยที่

u	=	ความเร็ว [m/s]
ρ	=	ความดันอากาศ [Pa]
η	=	Dynamic viscosity [Pa-s]
I	=	Unit tensor
F	=	Volume force [N/m ³]

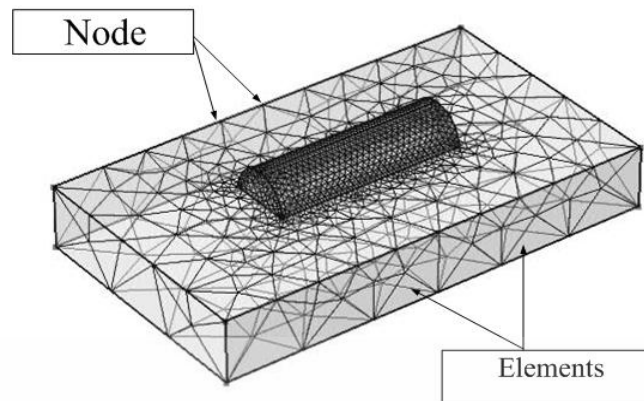
2.3 หลักการวิเคราะห์สมการ

หลักการวิเคราะห์สมการเริ่มจากการกำหนดค่าแหล่งจ่ายพลังงานความร้อนและเวลาที่ใช้ในการจ่ายพลังงานความร้อน คือ ค่ากำลังงานที่ 500 วัตต์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วเริ่มการวิเคราะห์การแผ่รังสีความร้อนจากแหล่งกำเนิดพลังงาน จะได้ค่าพารามิเตอร์มาใช้ในการแก้ปัญหาสมการการไหลของอากาศเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ได้จากการแผ่รังสีความร้อน และวิเคราะห์สมการการไหลด้วยสมการ นาเวียร์ – สโตกส์ (Navier- Stokes Equation) เมื่อสมการคำนวณครบตามค่าที่กำหนด การคำนวณก็จะสิ้นสุดลง

2.4 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

ในการแก้ปัญหาหนึ่งๆ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะทำการแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่า เอลิเมนต์ (Elements) เอลิเมนต์เหล่านี้เชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (Nodes) ในการวิเคราะห์ปัญหาใดปัญหาหนึ่งจะประกอบด้วย สมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาทำการหาค่าผลเฉลยแม่นยำ (Exact solution) จะประกอบด้วยค่าต่างๆ ทั้งหมดเป็นจำนวนอนันต์ซึ่งไม่สามารถหาค่าผลเฉลยได้ จึงต้องเปลี่ยนค่าให้เป็นจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วย เอลิเมนต์ที่มีขนาดต่างๆ กัน วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเริ่มจากการพิจารณาเอลิเมนต์ที่ละเอลิเมนต์ทำการสร้างสมการให้แก่แต่ละเอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นๆ จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นประกอบรวมเป็นระบบสมการชุดใหญ่ จากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่เข้ามาลงในสมการชุดใหญ่จึงทำการแก้สมการแล้วจะเกิดผลเฉลยโดยประมาณที่ตำแหน่งต่างๆ ของปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งออกเป็น เอลิเมนต์และโหนด

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาใดๆโดยทั่วไปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

2.4.1. การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆโดยปกติจะใช้เวลามากเพราะจำเป็นต้องสร้างรูปร่างของปัญหา (Geometry) อย่างถูกต้องขึ้นมาก่อน รูปร่างของปัญหาอาจประกอบด้วยส่วนเว้าส่วนโค้งที่มีความซับซ้อน จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้อันประกอบไปด้วยประสบการณ์เป็นอย่างมาก

2.4.2. การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ เอลิเมนต์ย่อยที่แบ่งบนโดเมนของปัญหานั้น อาจเป็นเอลิเมนต์ในรูปแบบของสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าก็ได้ หากแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมตัวไม่รู้ค่า (Unknowns) จะอยู่ที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมนั้น ซึ่งเรียกกันว่าจุดต่อ (Node) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์จะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายตัวของตัวไม่รู้ค่าที่สมมุติขึ้นบนเอลิเมนต์นั้นๆ เช่น หากเลือกใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบสามจุดต่อที่มุมทั้งสามแล้ว ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นั้นจะถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบของแผ่นเรียบ (Flat Plane) เป็นต้น แต่หากเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยม แบบสี่จุดต่อที่มุมทั้งสี่อาจไม่เรียบแต่จะโค้งไปโค้งมาได้ ดังนั้นการเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดต่างๆกันจะมีผลโดยตรงกับผลลัพธ์ที่จะคำนวณได้

2.4.3. การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาที่วิเคราะห์อยู่นั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสมการทางพีชคณิตที่เรียกกันว่า สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Equation) สมการไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกสร้างขึ้นสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ เนื่องจากเอลิเมนต์ต่างมีขนาดไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4. การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ระบบสมการใหญ่สมการไฟไนต์เอลิเมนต์อยู่ในรูปแบบสมการทางพีชคณิตซึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ ในขั้นตอนที่แล้วจำเป็นต้องนำมารวมกันอย่างถูกต้องและมีหลักการ การประกอบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่ละสมการเข้าด้วยกันจะก่อให้เกิดระบบสมการขนาดใหญ่ จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตของปัญหานี้ๆ ก่อนแก้ระบบสมการขนาดใหญ่เพื่อหาผลลัพธ์

2.4.5. การคำนวณหาค่าอื่นๆที่เหลือ จากนั้นจึงเป็นการหาค่าอื่นๆที่ต้องการทราบ เพื่อที่จะทำให้ปัญหานั้นได้รับการวิเคราะห์ เมื่อทราบอนุกรมมิติตามตำแหน่งต่างๆ จะสามารถคำนวณหาปริมาณพลัดความร้อนที่ไหลผ่านได้ หรือเมื่อทราบค่าการเคลื่อนตัวก็สามารถหาค่าความเค้นได้

2.5 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์ซอฟต์แวร์ ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.5.1. กระบวนการขั้นต้น คือ การสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตก่อนวิเคราะห์ปัญหานั้น การสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์อันประกอบด้วยเอลิเมนต์จำนวนมากบนรูปร่างลักษณะของปัญหาที่กำหนดมาให้โดยเริ่มสร้างตั้งแต่การสร้างจุดเส้นตรง เส้นโค้งต่างๆรวมทั้งพื้นผิว โดยข้อมูลของจุดเส้นตรง เส้นโค้ง และพื้นผิวเหล่านี้จะถูกเก็บในรูปแบบของสมการทางพีชคณิต เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสร้างเอลิเมนต์ทั้งขนาดและจำนวนต่างๆกันได้ โดยรูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นจะเสมือนรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังประกอบไปด้วยหมายเลขของจุดต่อ หมายเลขของเอลิเมนต์และข้อมูลอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ขั้นต่อไป หลังจากสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เสร็จสิ้นลงแล้ว ต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขต อันอาจประกอบไปด้วยการกำหนดค่าให้กับบางจุดต่อรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น เงื่อนไขของขอบเขตเหล่านี้จำเป็นต้องเหมือนกับของจริงให้มากที่สุด จึงนำไปสู่ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

2.5.2. กระบวนการวิเคราะห์ ข้อมูลต่างๆของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกจะผ่านกระบวนการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นสำหรับทุกๆเอลิเมนต์ก่อนที่ประกอบกันเป็นระบบสมการรวมขนาดใหญ่ แล้วนำมาประยุกต์กับเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด จากนั้นจึงแก้ระบบสมการรวมขนาดใหญ่ โดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นและขนาดของระบบสมการรวมขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้เพียงครั้งเดียว ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นไม่มากแต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำหลายรอบ ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเราเข้าใจถึงองค์ความรู้พื้นฐานภายในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก็จะช่วยให้ตัดสินใจก่อนทำการวิเคราะห์ได้

2.5.3. กระบวนการขั้นท้าย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์จะแสดงในรูปแบบของการแสดงด้วยแถบชั้นสี การแสดงด้วยเส้นชั้นสี การแสดงด้วยเวกเตอร์ เป็นต้น

2.6 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล

ในการทดลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ใช้โปรแกรม COMSOL – Multiphysics เวอร์ชัน 3.5a มาทำการสร้างแบบจำลอง การกำหนดค่าสมบัติจำเพาะต่างๆของวัสดุภายในการทดลอง การกำหนดเงื่อนไขต่างๆในระบบและการประมวลผลด้วยวิธีการไฟไนต์ ทำการประมวลผลแบบจำลองบนเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ระบบปฏิบัติการ Window 8 โดยมี CPU 3.5 GHz 64 Bit 16 GB of RAM

2.7 ทฤษฎีเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

2.7.1 หลักการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

เครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ทำงานโดยการแผ่รังสีของ Infrared Heater โดยจะทำหน้าที่กำเนิดรังสี Infrared เมื่อรังสี Infrared มาตกกระทบที่ผิวหนังของเด็กทารก พลังงานจากแสง Infrared จะมีผลให้โมเลกุลของของเหลวเกิดการสั่นสะเทือน เมื่อการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น แรงแเสียดทานระหว่างการเคลื่อนไหวจะก่อให้เกิดความร้อนทำให้เนื้อเยื่อและโครงสร้างภายใต้ผิวหนังมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยจะมีตัว Temperature Sensor เป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิและนำไปควบคุมอุณหภูมิแบบป้อนกลับ ซึ่งส่งสัญญาณไปที่ Microcontroller เพื่อประมวลผลและจะส่งสัญญาณไปควบคุมส่วน Control เพื่อจะส่งสัญญาณต่อไปควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ตรงกับอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ ส่วน Microcontroller ก็ส่งสัญญาณไปสั่งการให้ส่วน Control ทำการตัดการทำงานของฮีตเตอร์ และเมื่อ อุณหภูมิต่ำกว่าค่า Set Point ที่ตั้งไว้ Microcontroller จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปสั่งการให้ฮีตเตอร์ ต่อวงจรกลับมาทำงานให้ได้ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้และจะวนไปเรื่อย ๆ โดยจะมีระบบสัญญาณเตือนเมื่อเครื่องมีความผิดปกติเกิดขึ้น เช่น มีอุณหภูมิเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 โหมดการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

โหมดการทำงานของเครื่อง Infant Radiant Warmer แบบ Air Mode เป็นการตรวจวัดอุณหภูมิที่บริเวณรอบๆ ตัวของเด็กทารกเพื่อไปควบคุมการทำงานของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการจ่ายไฟให้กับแหล่งกำเนิดความร้อนสำหรับกำเนิดความร้อน อุณหภูมิรอบๆ ตัวเด็กทารกจะถูกควบคุมให้คงที่โดยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่ออุณหภูมิรอบๆ ตัวเด็กทารกต่ำกว่าอุณหภูมิที่ปรับตั้งไว้ แหล่งกำเนิดความร้อนก็จะเพิ่มความร้อนให้สูงขึ้นจนเท่าอุณหภูมิที่ปรับตั้งไว้ และอุณหภูมิจะถูกควบคุมให้คงที่ตลอด การทำงานในลักษณะนี้จะทำให้อุณหภูมิที่อยู่รอบตัวเด็กทารกคงที่อย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงการใช้งาน

2.7.3 ส่วนประกอบของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

- 2.7.3.1. Infrared Heater ส่วนที่เป็นตัวกำเนิดพลังงานความร้อน
- 2.7.3.2. Sensor ส่วนที่เป็นตัวรับรู้อุณหภูมิ
- 2.7.3.3. Microcontroller ส่วนประมวลผลที่รับและส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของระบบควบคุม
- 2.7.3.4. Control Unit ส่วนที่รับสัญญาณจาก Microcontroller ไปควบคุมการทำงานของเครื่อง
- 2.7.3.5. Alarm ส่วนที่แสดงผลเป็นสัญญาณเตือนจากการทำงาน
- 2.7.3.6. 7-Segment เป็นส่วนแสดงผล
- 2.7.3.7. Safety เป็นระบบป้องกันทางด้านความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการในการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics โครงสร้างของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดและแบบจำลอง การกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ของแบบจำลอง การเมช (Mesh) แบบจำลอง การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบนแบบจำลอง และการประมวลผลข้อมูลบนแบบจำลอง

3.1 กระบวนการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics

ก่อนทำการวิเคราะห์ปัญหาของการไหลโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ความรู้พื้นฐานของระเบียบวิธีนี้ จำเป็นต้องวางรากฐานให้เกิดความเข้าใจโดยเพียงพอก่อนนอกจากนั้นแล้วความรู้พื้นฐานของระเบียบวิธีเชิงตัวเลขบางระเบียบวิธีที่ต้องนำมาใช้ร่วมในกระบวนการแก้ปัญหานั้น จำเป็นต้องทำให้เกิดความเข้าใจก่อนด้วยเช่นกัน

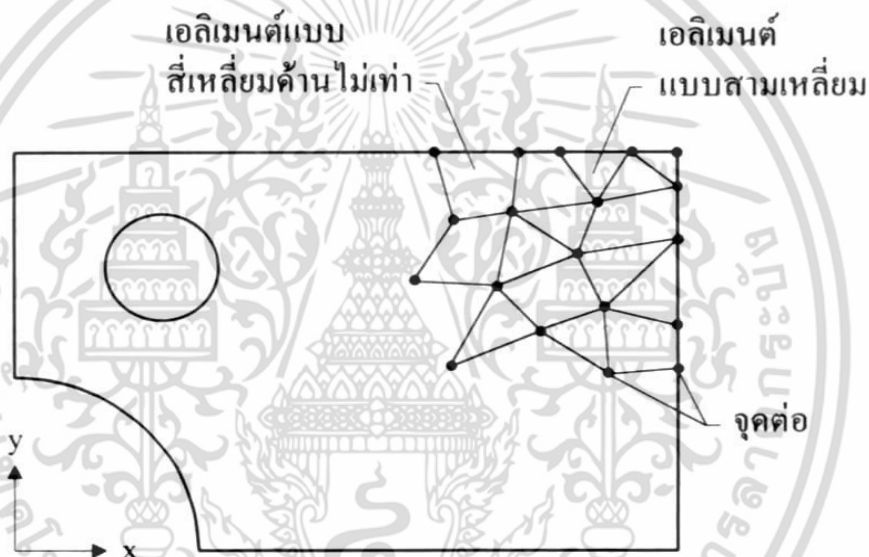
ความรู้พื้นฐานของไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จะกล่าวถึงจะประกอบด้วยกระบวนการขั้นตอนในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้แก้ปัญหาโดยทั่วไปการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายจากความเข้าใจความหมายทางกายภาพของปัญหานั้นเช่น ปัญหาการไหลในท่อ เป็นต้น จากนั้นจึงเป็นการอธิบายฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Functions) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นหัวใจที่สำคัญของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วจึงเป็นการอธิบายระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals) ซึ่งเป็นวิธีการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของปัญหาที่สนใจนั้นสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นจากเอลิเมนต์ย่อยๆ เหล่านี้จะนำมารวมกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการใหญ่เปรียบเสมือนการประกอบเอลิเมนต์เข้าด้วยกันขึ้นเป็นโดเมนของปัญหาทั้งหมดก่อนประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้หลังสู่ระบบสมการใหญ่แล้วจึงแก้ระบบสมการใหญ่ทั้งระบบก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ต้องการ

หัวข้อย่อยต่างๆในบทนี้จะอธิบายความรู้ที่จำเป็นของระเบียบวิธีในขั้นตอนต่างๆดังกล่าวข้างต้น โดยเน้นถึงความเข้าใจในความหมายทางกายภาพซึ่งสอดคล้องกับสมการต่างๆที่นำเสนอการประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบียบวิธีในขั้นตอนต่างๆ ขั้นตอนการดำเนินการโดยทั่วไป ในการแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ขั้นตอนโดยปกติทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนแรกเป็นการแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ยกตัวอย่างเช่น ปัญหา 2 มิติที่มีพื้นที่ของโดเมนวางตัวในโคออร์ดิเนต x - y ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เนื้อที่ภายในโดเมนนี้ซึ่งอาจเป็นพื้นที่ของแผ่นโลหะหรือพื้นที่ของการไหลก็ได้ จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ซึ่งอาจประกอบด้วย เอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยม (Triangular Element) หรือเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า (Quadrilateral Element) ก็ได้ เอลิเมนต์เหล่านี้ต่อเชื่อมกันที่จุดต่อ (Node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะคำนวณตัวไม่รู้ค่า (Nodal Unknowns) เช่น ค่าของอุณหภูมิ ค่าความดัน และค่าความเร็วของการไหล



รูปที่ 3.1 การแบ่งรูปร่างโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ [12]

ขั้นตอนที่ 2 เนื่องจากบนพื้นที่โดเมนของปัญหานี้ผลลัพธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น ค่าความดันของการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปจากบริเวณหนึ่งสู่อีกบริเวณหนึ่งดังนั้นจึงจำเป็นต้องประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์นี้บนแต่ละเอลิเมนต์ยกตัวอย่างเช่น หากพิจารณาเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมเอลิเมนต์ใดเอลิเมนต์หนึ่งในพื้นที่โดเมนนี้ซึ่งประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยที่จุดต่อนี้เป็นตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่า ϕ_1 , ϕ_2 และ ϕ_3 ตามลำดับซึ่งอาจเป็นค่าความดันของการไหลดังนั้นจึงอาจสร้างสมการที่อธิบายลักษณะการกระจายของค่าความดัน

โดยประมาณบนเอลิเมนต์สามเหลี่ยมนี้ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (3.1)$$

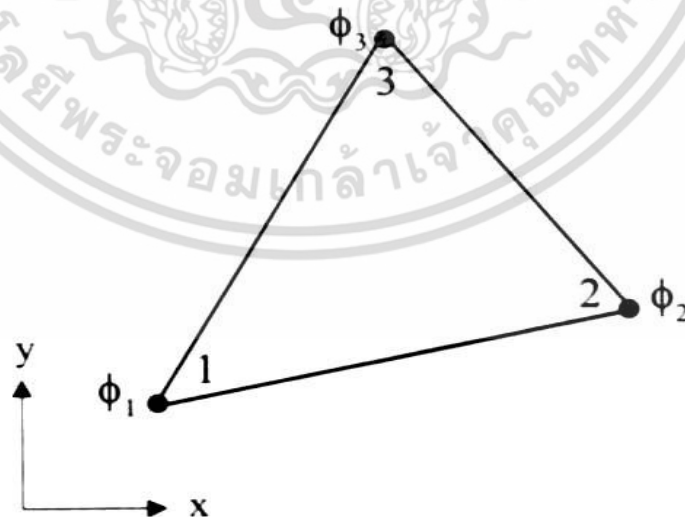
โดย $N_i(x, y), i = 1, 2, 3$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ สมการ (3.2) นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = [N_1 \quad N_2 \quad N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

$$= [N(x, y)] \begin{Bmatrix} \phi \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

$(1 \times 3) \quad (3 \times 1)$

โดย [N] แทนเมตริกซ์แถวอน (Row Matrix) ของฟังก์ชันการประมาณค่าภายในเอลิเมนต์ และ $\{\phi\}$ แทนเวกเตอร์หรือเมตริกซ์แถวตั้ง (Column Matrix) ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์



รูปที่ 3.2 เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่มีต่อจุด 3 จุด [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้าใจความหมายทางกายภาพของสมการ)3.3มีความสำคัญมาก (เพราะหากสามารถสร้างสมการที่ประมาณลักษณะการกระจายของผลลัพธ์บนเอลิเมนต์นั้นได้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่แท้จริงมากเพียงไรก็จะก่อให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน)Errorที่น้อยลงเพียงนั้น (ซึ่งทำให้สามารถใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้อันจะเป็นผลโดยตรงต่อการลดปริมาณหน่วยความจำและเวลาที่ใช้ไปในการคำนวณแต่สำหรับในทางปฏิบัตินั้นเนื่องจากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจำเป็นต้องนำไปใช้ได้กับปัญหาโดยทั่วไปดังนั้นลักษณะการกระจายของผลลัพธ์โดยประมาณบนเอลิเมนต์นั้นจึงถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของโพลิโนเมียล)Polynomialsที่เป็น (พื้นฐานเช่น เชิงเส้นตรง)Linear (อันดับหนึ่ง)First Order(หรือในเชิงเส้นโค้งอันดับสอง)Second Order เป็นต้น (ซึ่งหมายความว่าเมื่อเอลิเมนต์มีขนาดเล็กแล้วลักษณะการกระจายของผลลัพธ์โดยรวมบนพื้นที่โดเมนนั้นจะลู่เข้าสู่ผลลัพธ์ที่แท้จริงของปัญหานั้น

ขั้นตอนที่ 3 เนื่องจากลักษณะการกระจายของผลลัพธ์โดยประมาณบนเอลิเมนต์นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนไปจากผลลัพธ์ที่แท้จริงดังนั้นจึงต้องประยุกต์หลักการใดหลักการหนึ่งเพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์โดยประมาณที่มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดวิธีการที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันก็คือการใช้ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง)Method of Weighted Residual (สาเหตุที่ระเบียบวิธีนี้เป็นที่นิยมกันมากก็เพราะว่าสามารถประยุกต์เข้ากับสมการเชิงอนุพันธ์ที่ครอบคลุมปัญหาที่สนใจนั้น ก่อให้เกิดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์)Finite Element Equations(ที่สอดคล้องกันเช่น สมการไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมในรูปที่ 3.2 จะอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}_e \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix}_e \quad (3.4)$$

โดย k_{ij} $i, j = 1, 2, 3$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งอาจเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและขนาดของเอลิเมนต์นั้น สมการ)3.9 (นี้สามารถเขียนโดยย่อได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (3.5)$$

โดยดรรชนีค่า e แสดงถึงเมตริกซ์เหล่านี้เป็นเมตริกซ์ระดับเอลิเมนต์)Element(

หากสมการเชิงอนุพันธ์ที่ครอบคลุมปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น)Nonlinear สมการไฟ

ไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้จะอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[K(\phi)]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (3.6)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ k_{ij} ในสมการ (3.6) นี้จะขึ้นอยู่กับตัวไม่รู้ค่า ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 ที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เช่น ระเบียบวิธีของนิวตัน-ราฟสัน จะถูกนำมาประยุกต์เข้ากับสมการไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ ก่อให้เกิดสมการระดับเอลิเมนต์ที่แตกต่างออกไปอีกก่อนที่จะนำมาประกอบรวมกันเข้าในขั้นตอนที่ 4 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นจากทุกๆเอลิเมนต์จะถูกนำมาประกอบรวมกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการ (System of Equation) ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นดังนี้

$$\sum(\text{element equations}) \Rightarrow [K]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (3.7)$$

โดยตัวห้อย sys บ่งบอกถึงเมทริกซ์เหล่านี้เป็นเมทริกซ์ของระบบสมการรวม (System) หากค่าสัมประสิทธิ์ k_{ij} ของเมทริกซ์ $[K]_e$ ในสมการ (3.7) เป็นค่าคงที่เมทริกซ์ $[K]_{\text{sys}}$ ที่เกิดขึ้นก็จะประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ซึ่งล้วนเป็นค่าคงที่ด้วยแต่หากค่าสัมประสิทธิ์ของเมทริกซ์ $[K(\phi)]_e$ ในสมการ (3.7) นั้นขึ้นอยู่กับตัวไม่รู้ค่าเมทริกซ์ $[K]_{\text{sys}}$ ที่เกิดขึ้นก็จะขึ้นอยู่กับตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อเวกเตอร์ $\{\phi\}_{\text{sys}}$ ทำให้เกิดสมการไม่เชิงเส้นตามมาด้วยเช่น

การนำสมการจากทุกเอลิเมนต์เข้ามาประกอบรวมกันนี้จำเป็นต้องกระทำอย่างมีหลักการให้สอดคล้องเหมือนกับการนำเอลิเมนต์ย่อยๆมาประกอบกันเข้าก่อให้เกิดเป็นพื้นที่โดเมนของปัญหาขึ้นมาได้เปรียบเสมือนการนำชิ้นต่อเล็กๆของภาพ (Jigsaw Puzzle) มาต่อกันเข้าอย่างถูกต้องขึ้นต่อเล็กๆเหล่านี้ต่างมีสมการของตัวเองสมการเหล่านี้ต้องนำมารวมกันอย่างถูกวิธีให้สอดคล้องกันดังเช่นที่ชิ้นต่อเล็กๆนั้นถูกนำมาต่ออย่างถูกต้องลงตัวจึงกลายเป็นภาพรวมใหญ่ขึ้นมาได้

ขั้นตอนที่ 5 การแก้ปัญหาโดยสมบรูณ์นั้นผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายความจริงของปัญหาเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาและลักษณะรูปร่างของปัญหาขั้นตอนที่ 1 และ 4 ที่ได้ อธิบายมานี้ตอบสนองลักษณะรูปร่างของปัญหาส่วนขั้นตอนที่ 2 และ 3 นั้นตอบสนองสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นขั้นตอนที่ 5 นี้เองจะทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตของปัญหาซึ่งจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สมบรูณ์สำหรับปัญหานั้นค่าต่างๆที่จุดต่อสำหรับปัญหาทางปฏิบัติโดยเฉพาะปัญหาการไหล นั้น ระบบสมการรวม (3.7) นี้จะประกอบด้วยสมการแบบไม่เชิงเส้นเป็นจำนวนมากและจะเป็นส่วนที่ใช้เวลาในการคำนวณรวมทั้งปริมาณหน่วยความจำเป็นจำนวนมากเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากแก้ระบบสมการรวมและทราบค่าที่จุดต่อต่างๆแล้วค่าอื่นๆซึ่งเป็นผลต่อเนื่องจากค่าที่จุดต่อจึงสามารถคำนวณได้ยกตัวอย่างเช่น ในการแก้ปัญหาของแข็งค่าที่คำนวณได้ที่จุดต่อคือค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) ของการเสียรูปซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหาความเครียด (Strains) และความเค้น (Stresses) อันจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบต่อไปหรือในการแก้ปัญหาการไหลความเร็วสูงแบบอัดตัวได้ผ่านยานอวกาศค่าที่คำนวณได้ที่จุดต่อประกอบด้วยเช่น ค่าของอุณหภูมิ ค่าของอุณหภูมินี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อน (Aerodynamic Heating) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบตัวยานเป็นต้น

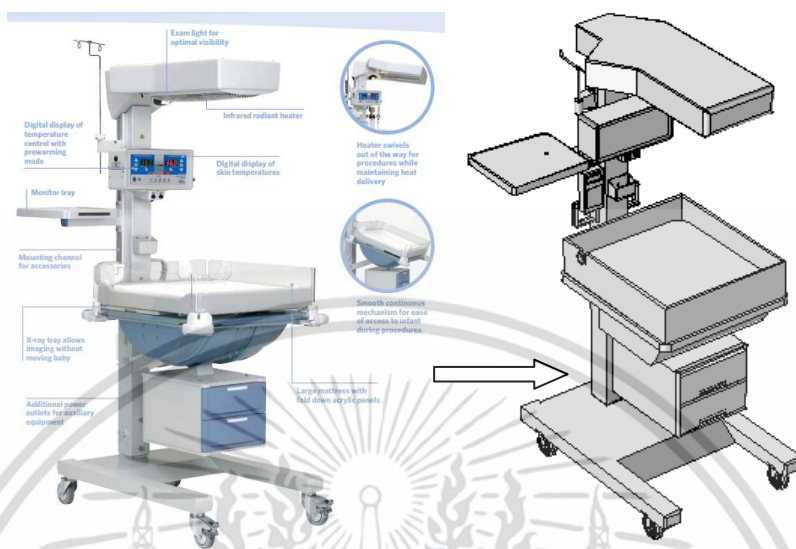
จากขั้นตอนทั้งหมด 6 ขั้นตอนนี้ขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของปัญหานั้นอาจจัดได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดปัญหาต่างชนิดกันไปเช่น ปัญหาของแข็งและปัญหาของไหล จะมีสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่แตกต่างกันไปในขณะที่ปัญหาทั้ง 2 ชนิดนี้ต่างดำเนินขั้นตอนอื่นๆในทำนองเดียวกันเช่น การแบ่งพื้นที่โดเมนออกเป็นเอลิเมนต์การเลือกรูปแบบของการประมาณภายในเอลิเมนต์การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ย่อยขึ้นเป็นระบบสมการรวมการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตรวมไปถึงการแก้ระบบสมการรวมเหตุผลดังกล่าวนี้เองทำให้การศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงพ่วงความสนใจส่วนใหญ่ไปยังในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเป็นการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ได้โดยง่ายหัวข้อต่อไปนี้จะอธิบายขั้นตอนการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของการไหลในท่อซึ่งกระบวนการขั้นตอนประกอบด้วยคำอธิบายที่มีความหมายทางกายภาพซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้โดยง่ายในขณะที่แนวความคิดที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานเพื่อการศึกษาทำความเข้าใจในการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้นไป

3.2 การออกแบบลักษณะตัวเครื่อง Infant Radiant Warmer

ได้ใช้ขนาดของเครื่องที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในการวิเคราะห์ผลของการแผ่รังสีความร้อนจึงได้ออกแบบเครื่อง Infant Radiant Warmer ที่มีขนาดเท่ากับขนาดที่มีใช้จริงในโรงพยาบาลทั่วไป โดยจากรูปที่ 1 ที่ได้ออกแบบมานั้น ได้ทำการออกแบบขนาดของโคมกันความร้อนที่มีลักษณะ ครึ่งวงกลม และเว้นระยะห่างจากเบาะนอนของเด็กทารกที่ 70 เซนติเมตร และขนาดของอากาศที่ล้อมรอบตัวโครงสร้างของเครื่อง Infant Radiant Warmer มีขนาดที่ 2 เมตร

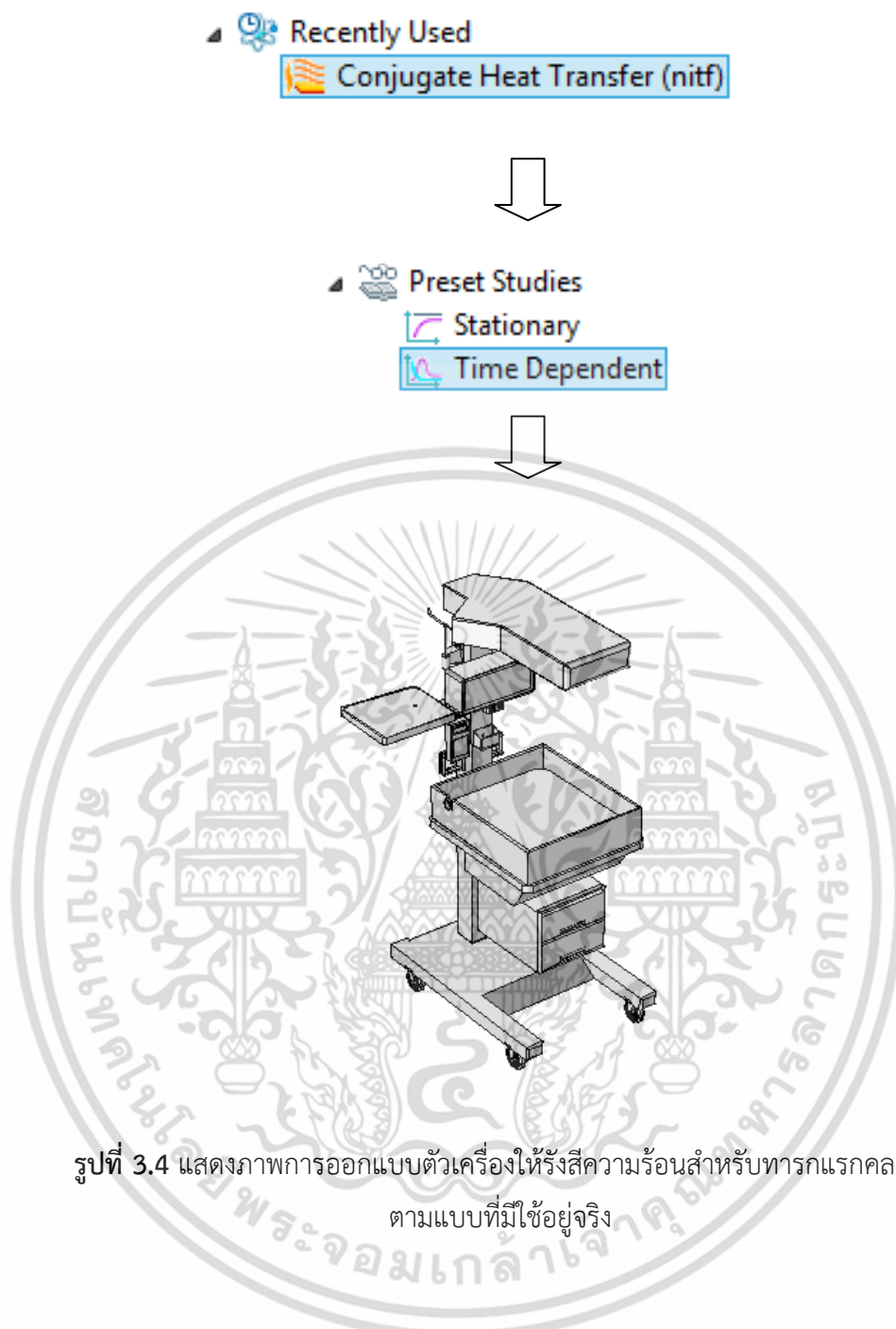
ทุกด้านเพื่อที่จะสามารถสังเกต ปรากฏการณ์ในการแผ่รังสีความร้อนออกมาจาก ฮีตเตอร์ได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงภาพการออกแบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด โดยถอดแบบมาจากเครื่องที่มีใช้ในโรงพยาบาล

3.3 วิธีการนำโมเดลเข้าสู่โปรแกรมและการกำหนดค่าพารามิเตอร์

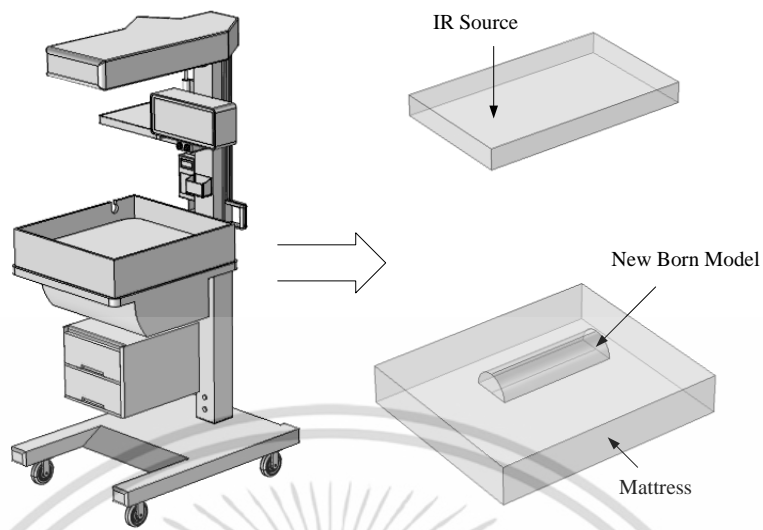
ขั้นตอนการนำโมเดลที่ทำการสร้างขึ้นเข้าสู่โปรแกรมเมื่อเปิดหน้าต่างโปรแกรม COMSOL Multiphysics เพื่อเริ่มต้นการทำงานเรียบร้อยแล้ว เลือกรูปแบบการสร้างแบบ 3 มิติ จากนั้นเลือกสมการที่ใช้เป็นแบบ Conjugate Heat Transfer (nif) และเลือก รูปแบบการศึกษาแบบตัวแปรทางด้านเวลา จากนั้นเข้าไปในโหมด Geometry ทำการเลือก Import เมื่อปรากฏหน้าต่างใหม่ทำการเลือก Browse เพื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการจากนั้นจึงเลือก Import เพื่อนำโมเดลนั้นเข้าสู่โปรแกรม ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงภาพการออกแบบตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด
ตามแบบที่มีใช้อยู่จริง

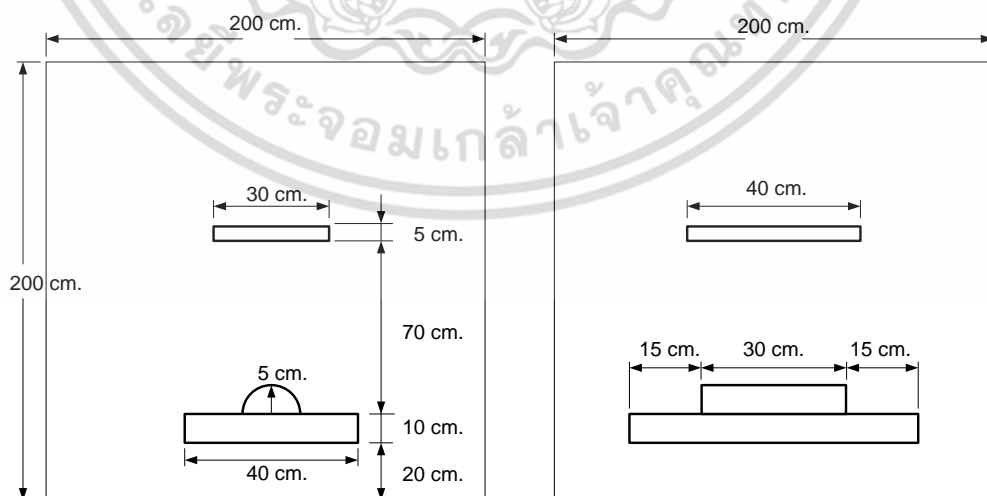
แต่ในการจำลองจริง รูปที่มีรายละเอียดมากนั้นจะทำให้การจำลองมีความซับซ้อนมากเกินไป จึงทำการตัดเอาเฉพาะส่วนที่สนใจในการออกแบบเพื่อความสะดวกในการทำงาน จึงตัดเอาแค่ส่วนที่เป็นตัวสร้างรังสีความร้อนและส่วนที่เป็นเบาะนอนของทารกเท่านั้น จึงทำให้ได้ลักษณะของตัวต้นแบบที่ใช้ในการจำลองดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



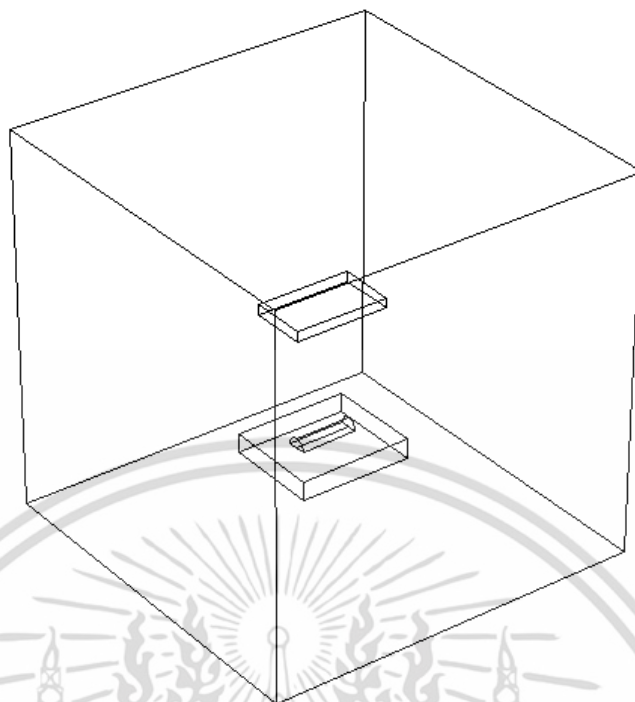
รูปที่ 3.5 แสดงภาพการออกแบบระบบตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดเพื่อใช้ในการจำลอง

โดยในส่วนนี้ได้ทำการเพิ่มในส่วนที่เป็นทรงกระบอกเพื่อแทนตำแหน่งของทารกที่นอนอยู่บนเบาะของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดไว้ด้วย และเมื่อรวมกับบริเวณพื้นที่อากาศภายในระบบจึงได้เป็นรูปดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงภาพด้านหน้าและด้านข้างของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงภาพการออกแบบระบบตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดเพื่อใช้ในการจำลองทั้งหมด

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบที่ใช้ในการจำลอง

Modeling	Size (cm.)
1. Mattress	40 x 80 x 10
2. Room Air	200 x 200
3. Heater Cover	10 x 20 x 40
4. Distance of mattress and heater	70

3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

ในการออกแบบเครื่อง Infant radiant warmer การกำหนดค่าวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ โดยการออกแบบได้แบ่งวัสดุออกเป็น 4 ชั้น แบ่งเป็น ฮีตเตอร์ 1 ชั้น เป็นหลอดรังสีอินฟราเรด และโครงกัน (cover) ความร้อนทำจากอลูมิเนียม เบาะนอนทำจากวัสดุผ้า และห้องอากาศ ในการวิจัยนี้ได้

กำหนดค่าของวัสดุดังตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าคุณสมบัติวัสดุของระบบที่ใช้ในการจำลอง

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	ความหนาแน่นของวัสดุ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ
heater	400[W/(m*K)]	8700[kg/m ³]	10[J/(kg*K)]
cover	155[W/(m*K)]	2730[kg/m ³]	893[J/(kg*K)]
mattress	27[W/(m*K)]	2000[kg/m ³]	500[J/(kg*K)]
Air	$k(T[1/K])[W/(m*K)]$	$\rho(pA[1/Pa], T[1/K])[kg/m^3]$	$C_p(T[1/K])[J/(kg*K)]$

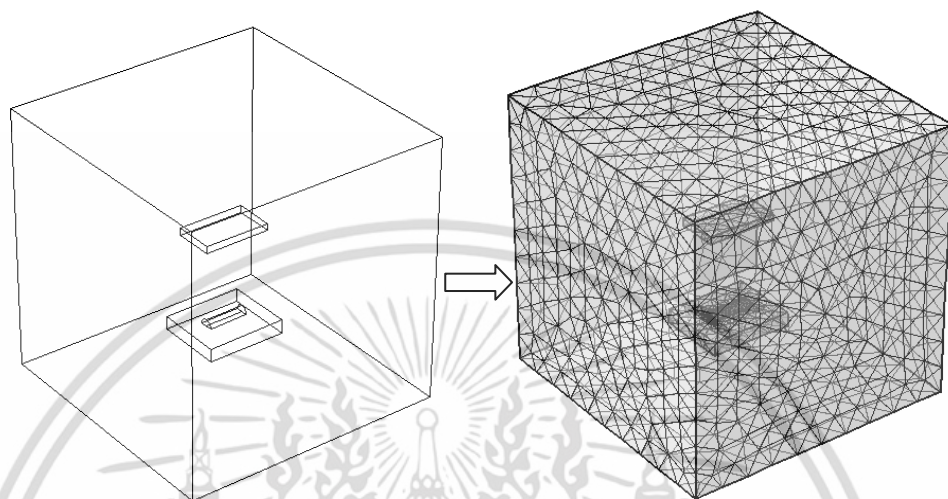
ตารางที่ 3.3 แสดงขอบเขตของการถ่ายเทความร้อน (Boundary Condition of Heat Transfer)

กลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics)	เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)	
ช่องลมเข้า (Inflow)	Velocity	0 m/s
ผนังห้อง (Chamber)	Thermal Insulator	T= 25 °C
โมเดลทารก (Infant model)	Temperature	T= 37 °C
พลังงานของหลอดอินฟราเรด (Heater)	Power	500 w
ค่าเริ่มต้นของอากาศ (Initial Condition of air)	Temperature	T= 25 °C

3.5 การสร้างเมชเอลิเมนต์เพื่อวิธีการดำเนินการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ชนิดและจำนวนของเมชเอลิเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานควรคำนึงถึงเวลาในการสร้างเมชเอลิเมนต์เวลาและทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณ นอกจากนี้เวลาและคุณภาพของเมช ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องและเสถียรภาพในการหาผลเฉลยซึ่งสามารถพิจารณาได้จากความหนาแน่นของเอลิเมนต์ในโดเมนที่มีความละเอียดที่เหมาะสมมากที่สุดคือ Fine Mesh ซึ่งได้จำนวนเมชที่มีค่าความละเอียดสูงสุดของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ดังในรูปที่ 3.5 มีค่าเมชเท่ากับ 1,320,012 เอลิเมนต์ โดยโปรแกรมที่ใช้ในจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานในการจำลองน้อยกว่าโปรแกรมอื่นๆ และเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งคุณสมบัติ

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณนั้นมีรายละเอียดดังนี้คือ Intel Core I 7 GHz, RAM DDR4 16 GB, OS Window 64 Bit โดยใช้เวลาในการดำเนินการที่ 1,800 วินาที



รูปที่ 3.8 แสดงภาพการออกแบบเครื่อง ให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด 3 มิติ และ meshing refinement

3.6 การทดลองวัดค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

ในการออกแบบการทดลองโดยใช้เครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ที่มีใช้ในโรงพยาบาล มาทำการจัดระบบสภาพแวดล้อมโดยการพยายามควบคุมให้เสมือนการใช้งานจริงในโรงพยาบาล ตั้งแต่ขนาดห้องที่ใช้ในการทดลอง มีขนาด 2 X 2 เมตร อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส มีระบบระบายอากาศเท่ากับห้อง NICU ที่อยู่ภายในโรงพยาบาล

3.6.1 อุปกรณ์ประกอบการทดลอง

1. Patient-probe
2. Reference thermometer accurate to within 0.1 °C
3. เครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด (Infant Radiant Warmer)

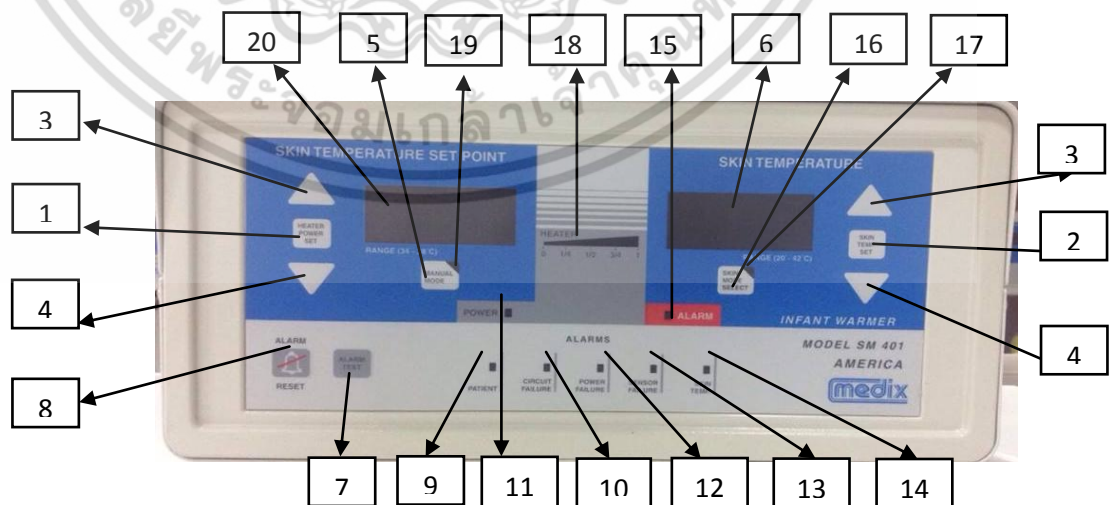
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงภาพเครื่องวัดอุณหภูมิห้องที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.10 แสดงภาพเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.11 แผงควบคุมการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. ปุ่ม Heater Power Set | 12. สัญญาณไฟ Alarm ของ Power Failure |
| 2. ปุ่ม Skin Temp. Set | 13. สัญญาณไฟ Alarm ของ Sensor Failure |
| 3. ปุ่มเพิ่มอุณหภูมิ | 14. สัญญาณไฟการใช้งาน Skin Temp. |
| 4. ปุ่มลดอุณหภูมิ | 15. สัญญาณไฟเมื่อเกิดการ Alarm |
| 5. ปุ่มใช้งาน Manual Mode | 16. สัญญาณไฟการใช้งาน Skin Mode |
| 6. ปุ่มใช้งาน Skin Mode | 17. จอแสดงอุณหภูมิของ Skin Mode |
| 7. ปุ่ม Alarm Test | 18. แสดงสถานะของ Heater |
| 8. ปิดเสียง Alarm | 19. สัญญาณไฟการใช้งาน Manual Mode |
| 9. สัญญาณไฟ Alarm ของ Patient | 20. จอแสดงอุณหภูมิของ Manual Mode |
| 10. สัญญาณไฟ Alarm ของ Circuit Failure | |
| 11. แสดงไฟว่ามีการใช้งานเครื่องอยู่ | |

3.6.2 ขั้นตอนการใช้งานและการปรับตั้งค่า

1. เสียบปลั๊ก
2. สับสวิทช์เปิดเครื่อง จะขึ้นไฟที่หน้าจอแสดงผล
3. ไปที่ Manual Mode และปรับที่อุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยกดปุ่ม Heater Power Set

ค้างไว้แล้วกดลูกศรเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.12 แสดงการวิธีการตั้งค่าของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

4. ในกรณีที่ใช้ Skin Mode ให้กดปุ่ม Skin Mode จากนั้นติดตั้งสาย Probe เข้าที่ตัวเครื่อง ซึ่งอยู่ข้างขวามือแล้วติดตั้งสาย Probe เข้ากับตัวทารก ปรับอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยกดปุ่ม Skin Temp. Set ค้างไว้แล้วกดลูกศรเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงการวิธีการปรับตั้งค่าอุณหภูมิในการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

3.6.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ INCU Analyzer

เครื่อง INCU หรือ Infant Incubator Analyzer ยี่ห้อ Fluke รุ่น INCU IP30 S/N 6050903. พิสูจน์ในการวัดอุณหภูมิในช่วง 20 – 40 องศาเซลเซียส วัดค่าความดังเสียงถึง 90 dB ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ ± 0.1 องศาเซลเซียส เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสอบเทียบตู้อบเด็กทารกแรกคลอดและเครื่องช่วยชีวิตเด็กโดยการแผ่รังสีความร้อน โดยเครื่องนี้มีฟังก์ชันการใช้งานคือ การตรวจสอบค่าอุณหภูมิ ความความชื้นสัมพัทธ์ วัดอัตราการไหลของอากาศ วัดระดับความดังของเสียง ซึ่งในการวัดอุณหภูมินั้นจะมีตัวเซนเซอร์แยกกันจำนวน 4 จุด เพื่อดูการกระจายอุณหภูมิในแต่ละจุดครอบคลุมบริเวณตัวเด็กตั้งแต่ส่วนหัวจนถึงส่วนเท้า ว่ามีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทั้ง 4 จุด เกินว่าค่ามาตรฐานการสอบเทียบที่กำหนดหรือ ซึ่งพารามิเตอร์ที่สามารถวัดได้ทั้งหมดนั้นสอดคล้องตามมาตรฐานการสอบเทียบในระดับสากล และสอดคล้องกับผลกระทบและความปลอดภัยต่อเด็กตามมาตรฐานทางการแพทย์

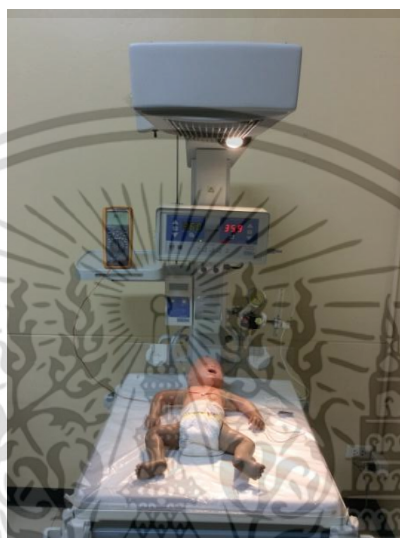


รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะตัวเครื่อง NICU Analyzer ที่นำมาทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 สภาพแวดล้อมขณะทดลอง

ในการทดลอง สภาพแวดล้อมถูกตั้งค่าให้มีสภาพใกล้เคียงในโรงพยาบาลที่มีการใช้งานจริง แต่จะควบคุมเรื่องการไหลเวียนของอากาศให้มีการไหลเวียนน้อยที่สุด เพื่อควบคุมปัจจัยที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบริเวณเบาะนอน และมีผลใกล้เคียงกับการทดลองในโปรแกรม



รูปที่ 3.15 แสดงการใช้เครื่อง INCU Analyzer ทำการวัดอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมที่ควบคุม

ตารางที่ 3.4 แสดงสภาพแวดล้อมขณะทดลอง

การตั้งค่าสภาพแวดล้อมในการทดลอง	เงื่อนไขขอบเขต	
อุณหภูมิอากาศในห้อง	Temperature	$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
การหมุนเวียนของอากาศในห้อง	Thermal Insulator	$T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
ค่าอุณหภูมิที่เครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด	Temperature	$T = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	Time	30 นาที
ค่าเริ่มต้นของอากาศ (Initial Condition of air)	Temperature	$T_0 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

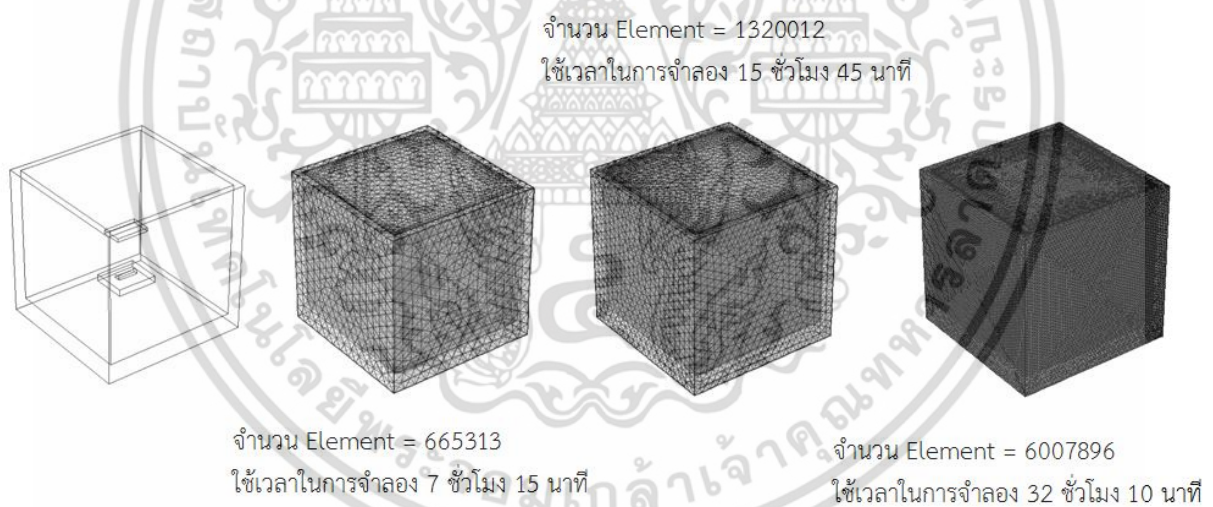
บทที่ 4

ผลการจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการแสดงผลการจำลองในรูปแบบ ภาพของอุณหภูมิที่แสดงพฤติกรรมการไหล และกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิที่จุดสนใจ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากการจำลองเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงปัจจัยอันมีผลต่อพฤติกรรมการไหลและการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารก

4.1 ผลจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการจำลองนี้จำนวนขององค์ประกอบสอดคล้องถูกจัดเมช ที่ 1,320,012 เอลิเมนต์ ในรูปร่าง tetrahedral มี Degree of freedom เท่ากับ 2,812,418 ดังรูปที่ 4.1 ในขณะที่ใช้เวลาแก้ปัญหาสมการประมาณ 15 ชั่วโมง เมื่อป้อนแหล่งความร้อนที่พลังงานเท่ากับ 500 วัตต์ และพลังงานถูกปล่อยออกมาในช่วงระยะเวลา ของการแผ่รังสีที่ 30 นาทีหลังการประมวลผล ถูกวิเคราะห์และสังเคราะห์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สนใจ ผลการจำลองการศึกษาครั้งนี้แสดงในรูปที่ 4.2 ถึง 4.5

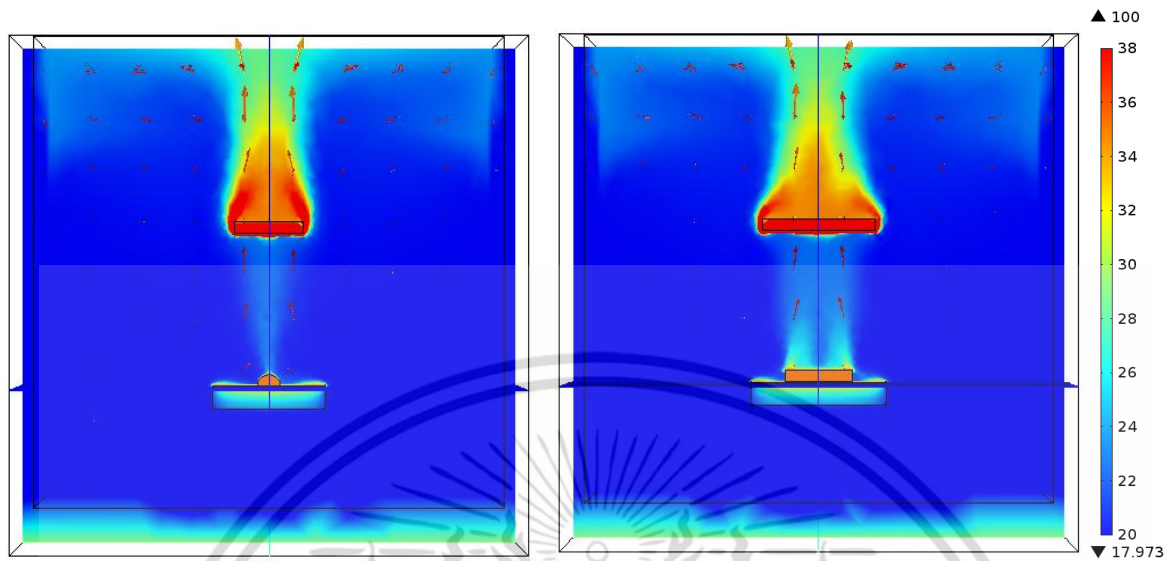


รูปที่ 4.1 แสดงภาพ Meshing refinement ที่ค่าความละเอียดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

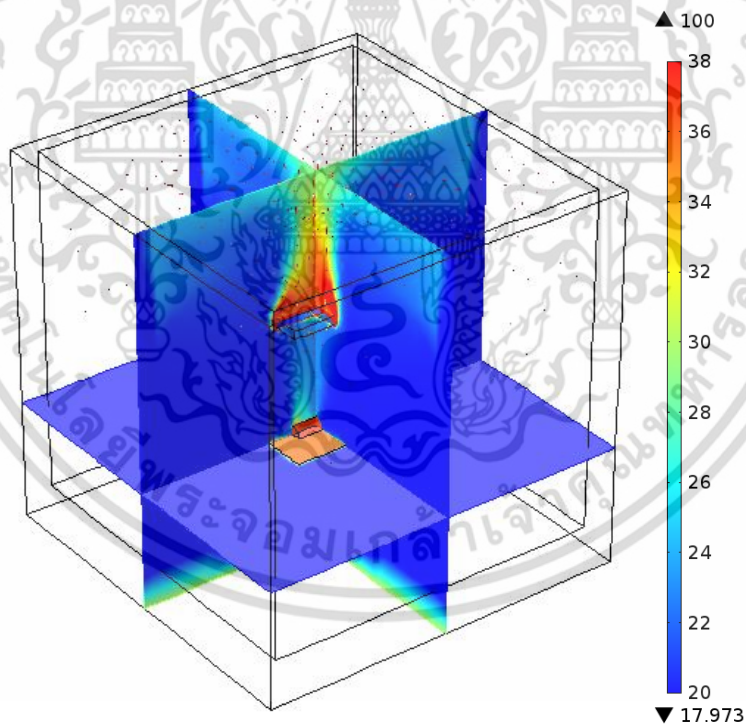
4.1.1. ผลการจำลองการกระจายความร้อนภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรก

คลอด



ก.ภาพด้านหน้า

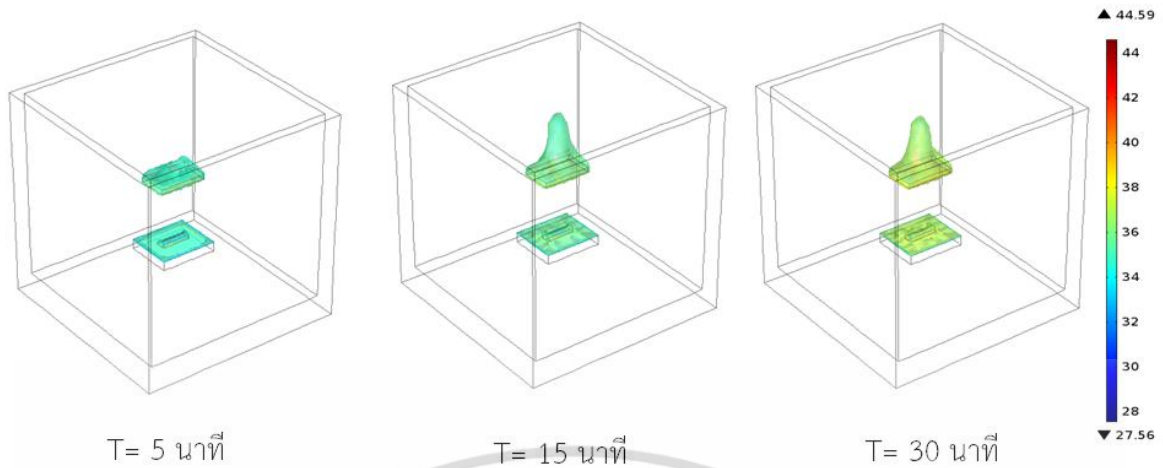
ข.ภาพด้านข้าง



ค. ภาพแบบ 3 มิติ

รูปที่ 4.2 แสดงผลการจำลองการกระจายความร้อนภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดที่เวลา 30 นาทีมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

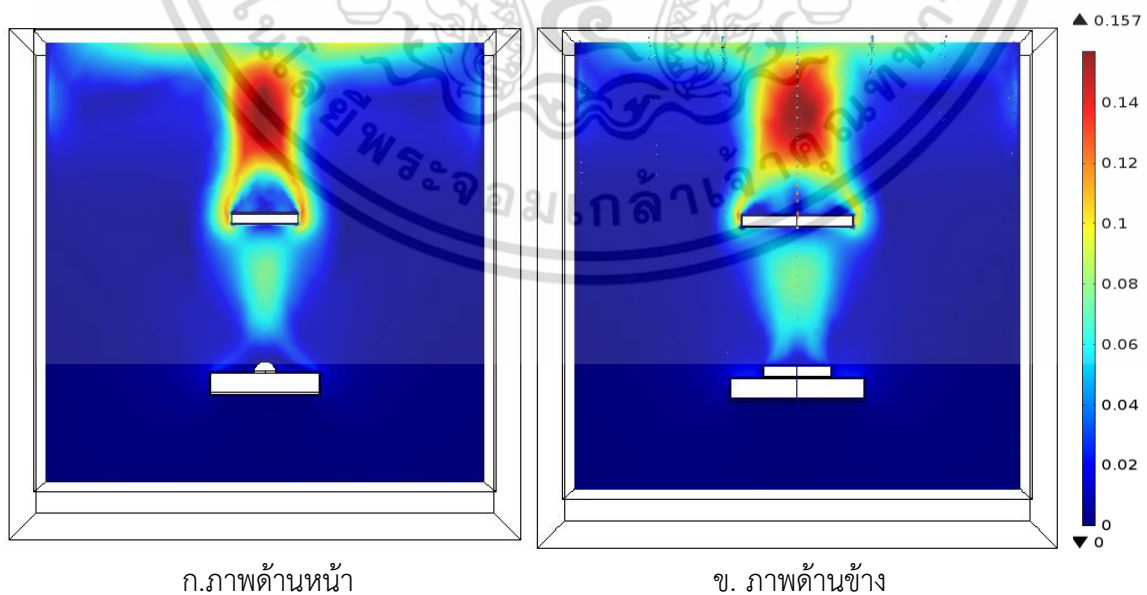
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงผล Isosurface of Temperature ภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดที่เวลา 5, 15 และ 30 นาที มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่า พลังงานความร้อนที่พื้นที่เบาะนอนของทารกจะได้รับจากกระบวนการแผ่รังสีความร้อนเป็นหลัก เนื่องจากไม่ต้องผ่านตัวนำความร้อนที่เป็นอากาศ ส่วนปรากฏการณ์อื่นเช่น การพาและการนำความร้อนนั้น มีผลไม่มากนัก ส่วนมากจะถูกแรงลอยตัวอากาศพาให้ลอยสูงขึ้นด้านบนของโมเดล แต่ตัวโมเดลทารก ยังได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน จึงยังสามารถรักษาอุณหภูมิที่ประมาณ 37 องศาเซลเซียสได้

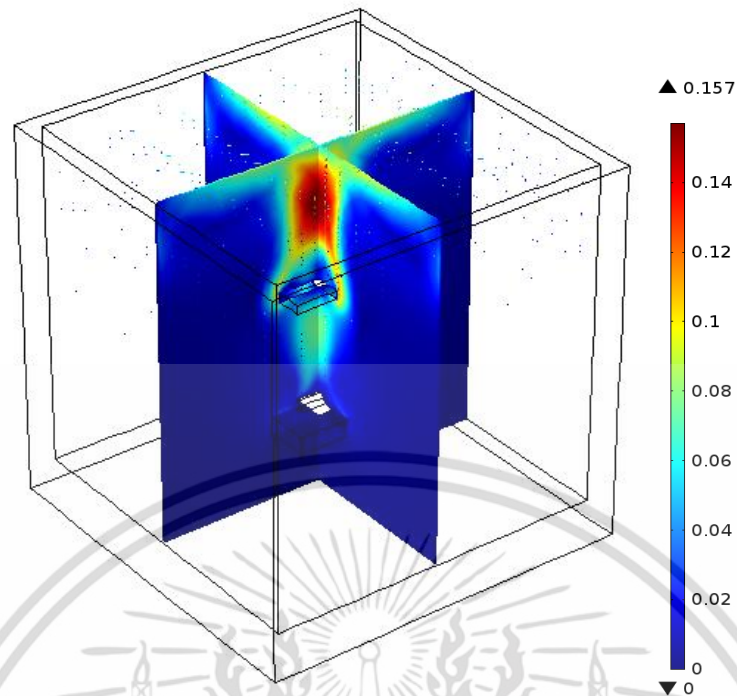
4.1.2 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด



ก. ภาพด้านบน

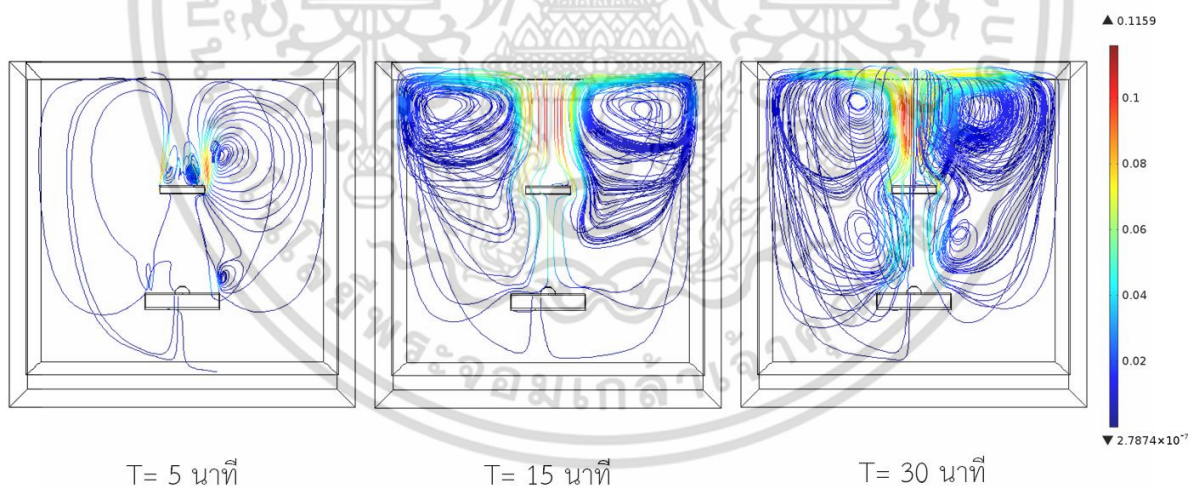
ข. ภาพด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



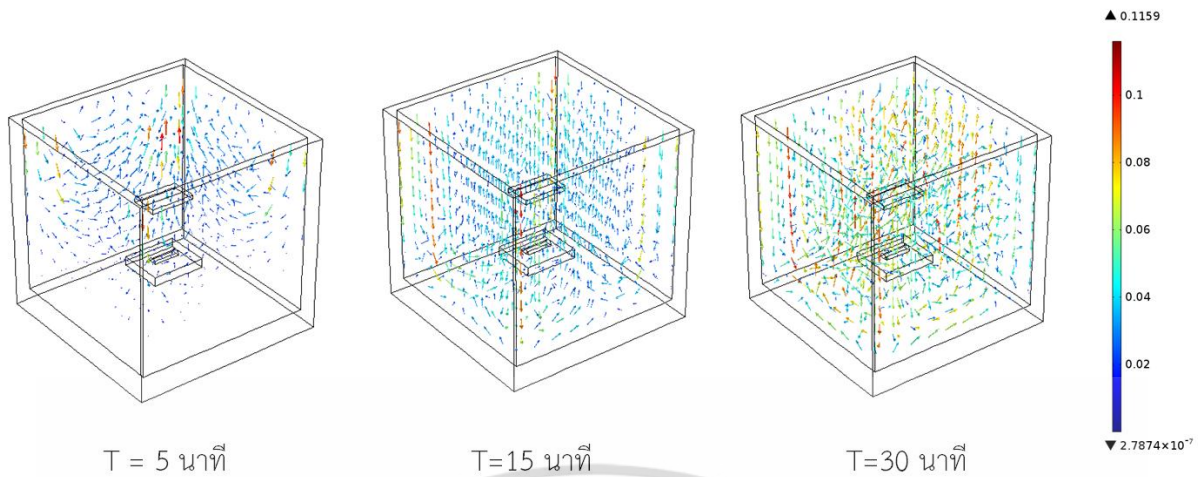
ค. ภาพแบบ 3 มิติ

รูปที่ 4.4 แสดงผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ที่เวลา 30 นาที มีหน่วยเป็น m/s



รูปที่ 4.5 แสดงภาพ Streamline Velocity Field เพื่อแสดงลักษณะการไหลของอากาศในช่วงเวลาที่ 5, 15 และ 30 นาที มีหน่วยเป็น m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงภาพ Arrow Volume Velocity Field เพื่อแสดงทิศทางการไหลของอากาศในช่วงเวลาที่ 5, 15 และ 30 นาที มีหน่วยเป็น m/s

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 เป็นการแสดงผลการจำลองการกระจายความร้อนภายในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส จะมีการลอยตัวขึ้นสวนทางกับแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการนำความร้อนจากหลอดอินฟาเรดไปด้วย จึงทำให้อุณหภูมิความร้อนที่ทารกจะมาจากการแผ่รังสีเป็นส่วนใหญ่ และเป็นการแสดงทิศทางการไหลของอากาศที่ไหลผ่านตัวเครื่องในช่วงเวลาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน

ผลจากการจำลองจะถูกยืนยันด้วยการทดลองจริง ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบการทดลองจริงที่มีองค์ประกอบที่มีความใกล้เคียงกันกับการจำลองด้วยโปรแกรม เพื่อเป็นการยืนยันผลที่มีความเป็นไปได้ และเป็นการใช้อ้างอิงผลของการจำลองด้วยโปรแกรมอีกด้วย

4.2. ผลการวัดจริง

การทดลองนี้เพื่อวัดอุณหภูมิภายในระบบ โดยในการวัดอุณหภูมิภายในเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารก จะทำการตั้งอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ใช้งานจริงที่ 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการวัดทั้งหมด 1,800 วินาที โดยในมาตรฐานการใช้งานเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารก ก่อนนำเด็กทารกแรกเกิดเข้าไปรักษาภายในเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกได้นั้น ต้องจะต้องผ่านการเตรียมความพร้อมใช้และเปิดเครื่องตั้งอุณหภูมิในช่วงที่ใช้งานประมาณ 35 องศาเซลเซียส ก่อนเสมอ และต้องใช้เวลาในการเตรียมเครื่องนานประมาณ 1,800 วินาทีขึ้นไปเพื่อให้อุณหภูมิมีความคงที่เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการรักษาเด็กทารกแรกคลอด

จากการทดลองวัดอุณหภูมิจากเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดโดยใช้เครื่องยี่ห้อ NATUS SM-401 ประเทศสหรัฐอเมริกา พิสัยการใช้งานของการตั้งค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-37 องศาเซลเซียส ค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแม่นยำอยู่ที่ ± 1 องศาเซลเซียส ตั้งเริ่มต้นการทำงานของอุณหภูมิในอากาศทั่วไปที่ 25 องศาเซลเซียส และใช้ตัววัดอุณหภูมิยี่ห้อ Fluke รุ่น 289 ใบสอบเทียบเลขที่ MT15-4443 เพื่อเป็นตัวยืนยันค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมให้ถูกต้องมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.7

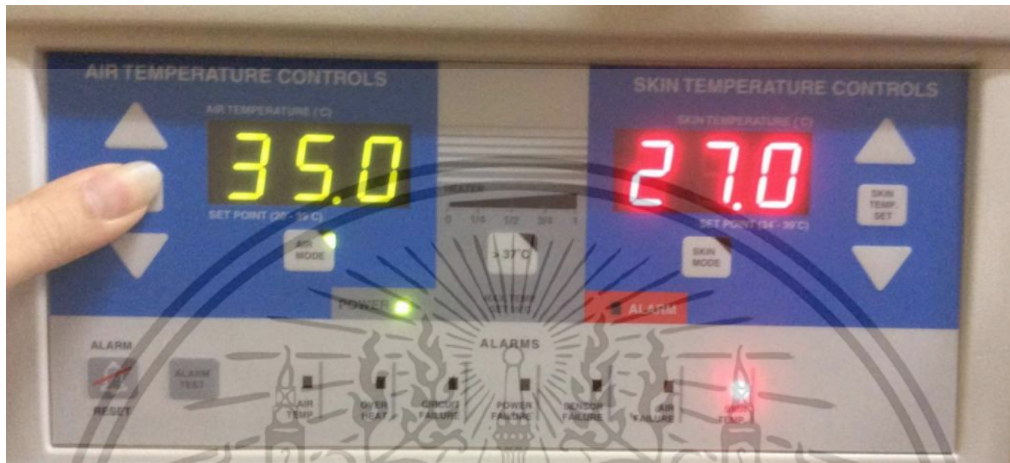


รูปที่ 4.7 แสดงการวางระบบการวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ INCU Analyzer และเครื่องวัดอุณหภูมิยี่ห้อ Fluke 289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการทดลองจากตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

โดยดูจากหน้าจอของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดซึ่งจะจับเวลาเป็นช่วงเพื่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในระบบในช่วงเวลาที่ นาทิ ซึ่งในช่วงเวลานี้เป็นจุด 30 และ 25 ,20 ,0 สนใจของการทดลองนี้



รูปที่ 4.8 แสดงการตั้งค่าเริ่มต้นของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด

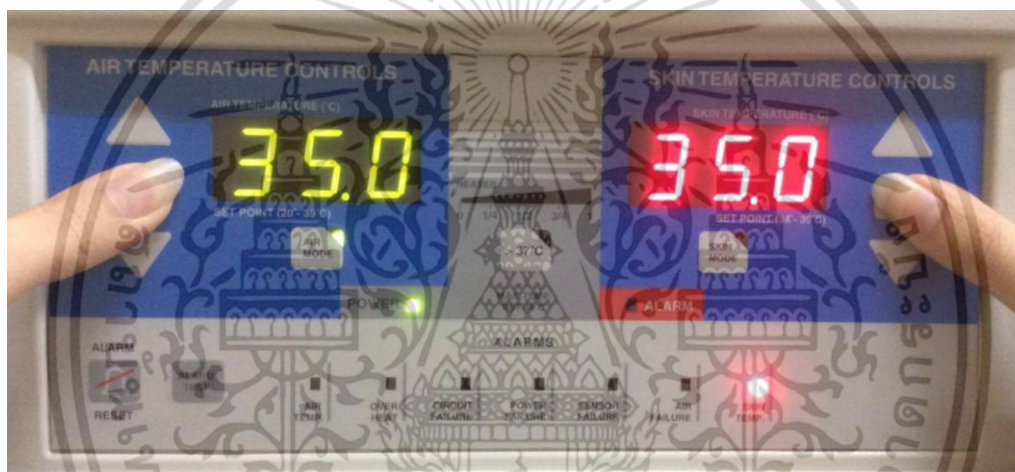


รูปที่ 4.9 แสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด เมื่อทำงานไปแล้ว 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด เมื่อทำงานไปแล้ว 25 นาที



รูปที่ 4.11 แสดงค่าอุณหภูมิของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด เมื่อทำงานไปแล้ว 30 นาที

4.2.2 ผลการทดลองจากตัวเครื่องวัดอุณหภูมิ INCU Analyzer

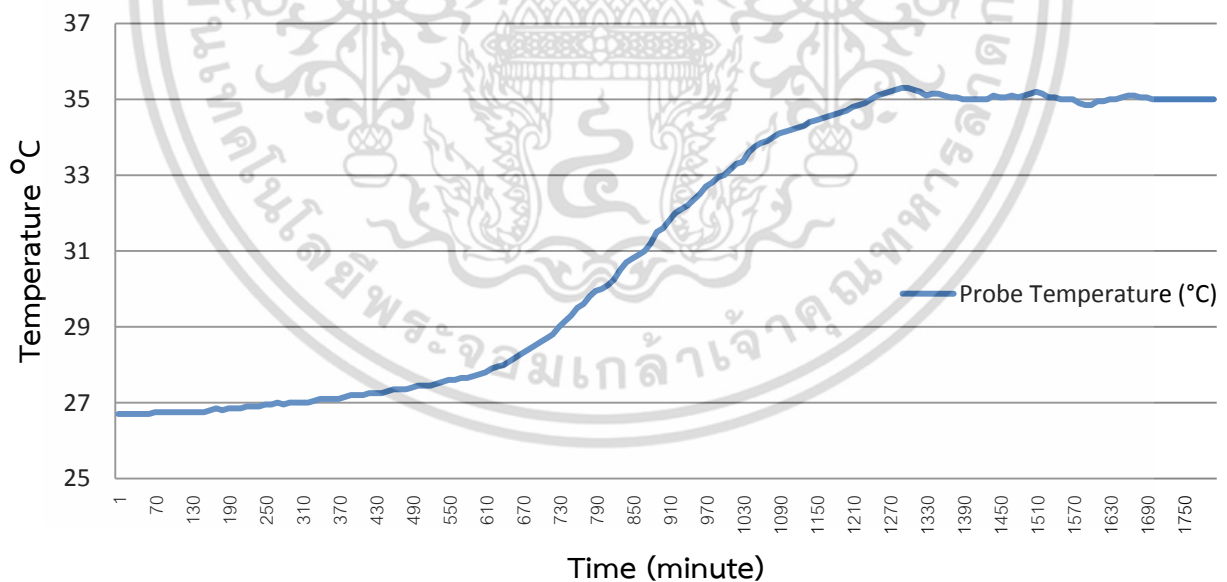
ผลการทดลองภาพในระบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด โดยใช้เครื่อง INCU Analyzer ยี่ห้อ Fluke รุ่น INCU IP30 S/N 6050903. พิสัยในการวัดอุณหภูมิในช่วง 20 – 40 องศาเซลเซียส ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ ± 0.1 องศาเซลเซียสที่เวลาในการทดสอบที่ 30 นาที ตั้งค่าการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ไว้ที่ 35 องศาเซลเซียส เท่ากับเวลาในการเตรียมความพร้อมในการใช้งานกับทารกแรกคลอด ซึ่งผลจากการวัดอุณหภูมิจำนวน 1 จุด ตำแหน่งบริเวณสำคัญคือตรงกลางตัวของทารก จะสามารถอธิบายให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าอุณหภูมิและเวลา ดังในรูปที่ 4.14 เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟผลการทดลองการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิระหว่างการจำลองโดยไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลองจริง

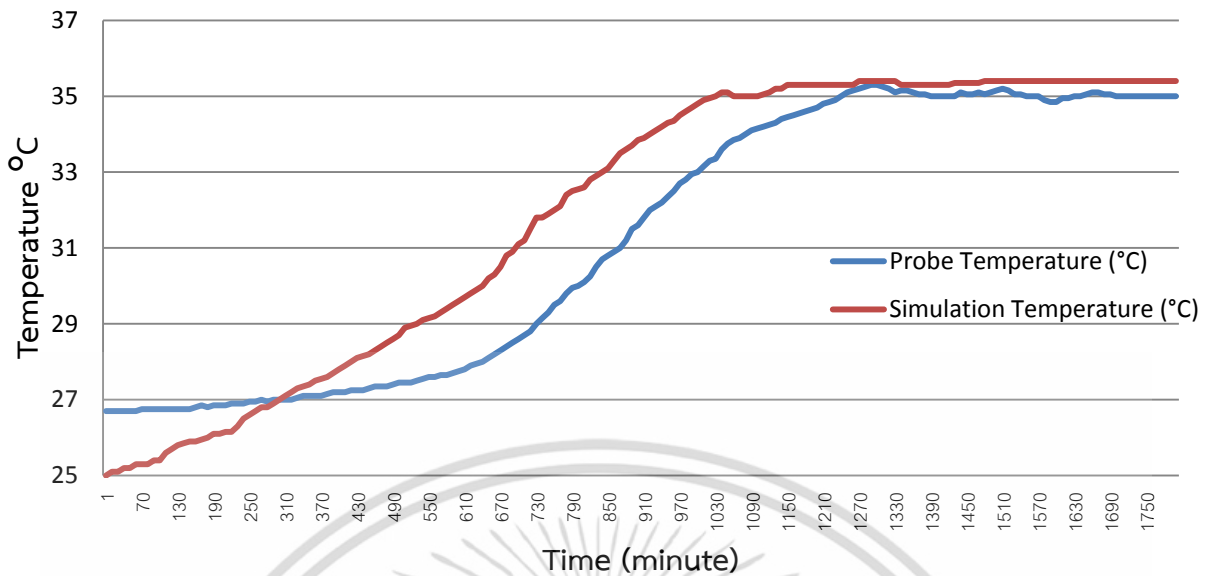


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะการวางเครื่อง INCU Analyzer เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟการวัดอุณหภูมิ ภายใต้โหลดอินฟาเรดที่เวลา 30 นาที โดยใช้โปรแกรมวัดอุณหภูมิของเครื่อง INCU Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิ ระหว่างการทดลองจริงด้วยเครื่อง INCU Analyzer และการจำลองจากโปรแกรม COMSOL MULTIPHYSICS

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า จุดเริ่มต้นของอุณหภูมินั้นไม่เท่ากันเนื่องจาก การตั้งค่าอุณหภูมิ เริ่มต้นในการทดลองจริงนั้น ไม่สามารถตั้งค่าเริ่มต้นที่ 25.0 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากสถานะแวดล้อมนั้น ควบคุมได้ยาก แต่ในการจำลองผลด้วยโปรแกรมนั้น เราสามารถตั้งค่าที่ 25.0 องศาเซลเซียสได้เลย จึงทำให้ จุดเริ่มต้นมีความแตกต่างกันประมาณ 1.6 องศาเซลเซียส และเมื่อถึงช่วงเวลาประมาณ 5-15 นาที ผลการ จำลองด้วยโปรแกรมและการทดลองด้วยเครื่อง INCU Analyzer จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณ 2 องศา เซลเซียส แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20 นาที การทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกคลอด และผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าผิดพลาดประมาณ 0.2 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ มาทำการสร้างแบบจำลองเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยให้เราสามารถวางแผนการทดลองได้ถูกต้องทำให้ประหยัดเวลา ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด เพื่อที่จะต้องการทราบผลการทำงานและการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากหลอดอินฟาเรด โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะช่วยให้เห็นปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นก่อนการสร้างเครื่องจริง และนำผลการจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์โดยไฟไนต์เอลิเมนต์ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในทางการแพทย์

เป้าหมายของการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดที่ใช้งานอยู่ในโรงพยาบาลทั่วไป ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติตามมาตรฐานการพยาบาลผู้ป่วยในห้องวิกฤตหรือในห้องผ่าตัด โดยทั่วไปแล้วเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดจะถูกตั้งค่าการใช้งานในช่วง 35-36 องศาเซลเซียส ในเวลา 30 นาที เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมก่อนการใช้งานกับผู้ป่วย ซึ่งเป็นเด็กทารกที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง ในเรื่องของอุณหภูมิกาย จึงทำให้การใช้เครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด มีความจำเป็นต่อชีวิตผู้ป่วยทารก เป็นอย่างมาก ในการจำลองผลนี้มีข้อจำกัดในการวิจัยบางอย่างที่ไม่สามารถจำลองสภาพแวดล้อมหรือสถานการณ์ ที่เสมือนจริงได้ทั้งหมด แบบจำลองที่ได้จึงมีความไม่ซับซ้อน และถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลที่มีความเป็นไปได้เท่านั้น

ในการจำลองการทำงานโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีการกำหนดเงื่อนไขในการจำลองการทำงาน โดย กำหนดอุณหภูมิอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการจำลองประมาณ 1,800 วินาที ซึ่งการจำลองนี้เป็นการศึกษาการกระจายตัวของความร้อนภายในเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ที่ออกแบบให้มีลักษณะเหมือนเครื่องที่มีใช้อยู่จริง โดยใช้โปรแกรม Solid Works สร้างแบบจำลองของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด จากนั้นนำแบบจำลองของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ที่สร้างขึ้นไปประมวลผลการวิเคราะห์ในโปรแกรม COMSOL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multiphysics version 3.5 a โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยสมการการถ่ายเทความร้อนและสมการนาเวียร์-สโตกส์

ผลจากการจำลอง แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการไหลจากอากาศภายในห้อง เนื่องจากตัวเครื่องเป็นระบบเปิด จึงทำให้การควบคุมสภาวะแวดล้อมนั้น มีความจำเป็นอย่างมากในการทำงานของตัวเครื่อง แม้ว่าหลักการของการใช้รังสีความร้อนจะไม่ใช้ตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน แต่การเกิดปรากฏการณ์ อย่างอื่น เช่น การนำ และการพาความร้อนก็ยังเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งไม่สามารถควบคุมปรากฏการณ์เหล่านี้ได้ สังเกตได้จากรูปที่ 4.2 ถึง 4.3 แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ส่งมาจากหลอดอินฟราเรด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของของไหล และมีการเคลื่อนของของไหลที่เป็นไปตามตามหลักแรงโน้มถ่วงของโลก โดยที่จุดที่มีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นก็จะมี การเคลื่อนหมุนวนขึ้นไปตามแรงโน้มถ่วงเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ และจุดที่มีอุณหภูมิต่ำก็จะไหลมาแทนที่ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลตามผลการจำลอง

ผลการทดลองจริง แสดงให้เห็นถึงการทำงานของตัวเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอดที่ใช้อยู่ทั่วไป โดยได้ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่จำเป็นเพื่อความแม่นยำในการทดลอง แต่ก็ยังมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้จากสภาวะแวดล้อมภายนอกที่มีผลต่อการจัดวางระบบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถวัดได้แค่อุณหภูมิเท่านั้น ไม่สามารถวัดอัตราการไหลของอากาศในห้องได้ และอุณหภูมิที่วัดได้นั้นก็เป็นเพียงอุณหภูมิเพียงจุดเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จากผลการทดลองพบว่า สามารถนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยโปรแกรมทางด้าน ไฟไนท์เอลิเมนต์ได้ เนื่องจากผลในจุดที่สนใจในช่วงเวลาที่ 20-30 นาทีนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ต้องการสังเกตการทำงานในช่วงเวลาประมาณ 30 นาทีนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต

เครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกแรกคลอด จัดเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีความสำคัญ การช่วยในการรักษาอาการที่เกิดจากความผิดปกติทางร่างกายและระบบการเจริญเติบโตของเด็กทารกแรกเกิด ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยในอีกหลายส่วนประกอบกันเช่น ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอัตราการไหลของลมจากเครื่องระบายอากาศในห้องผู้ป่วย และการใช้ไมเดิลเด็กทารกที่มีความเสมือนจริงมากยิ่งขึ้น การจำลองนี้เป็นเพียงการเสนอแนวคิดในการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนช่วยใน

การวิเคราะห์การไหลและการกระจายความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ และการใช้ค่าคุณลักษณะที่มีความเสมือนจริงในเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางที่จะใช้ในการศึกษาโดยละเอียดต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] K.Roongprasert, P.Phasukkit, S.Airphaiboon, C.Pintavirooj, N.Thongpance, A.Sanpanich. Heat Transfer Efficiency Analysis of Infant RadiantWarmer by 3D Finite Element Method. Proceedings of Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON-2012). Paper ID BME-2012-78
- [2] A. Y. T. Leung, W. S. Tsui, J. N. Xu et al. Nasal airflow simulations in models derived from cone beam and spiral ct scans by using CFD. J. Applied Mathematics and Mechanics 3, pp. 49–6, 2007.
- [3] Anna M. Fic, “Heat and mass transfer under an infant radiant warmer—development of a numerical model” Centre for CFD, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK2010
- [4] D. Trevisanuto, “Effective temperature under radiant infant warmer”: Does the device make a difference; University of Padua, Azienda Ospedaliera Padova, Padua, Italy 1998.
- [5] K.Maciej, Ginalski, A combined analysis of heat and mass flow in an infant incubator, MSc Thesis, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, 2002.
- [6] L.Wiroj , Somporn R., Boonrat K , ‘Temperature prediction in anterior chamber of eye during ultrasonic phacoemulsification using nodeless finite element method’, Proc. 4th national meeting on biomedical engineering, Bangkok, Thailand, 2005, pp. 37.
- [7] M. K Ginalski, Numerical analysis of heat and mass transfer processes within an infant incubator. PhD Thesis,Silesian University of technology, Gliwice, Poland, 2007.
- [8] เกรียงศักดิ์ จีระแพทย์ และวิณา จีระแพทย์ , (2545). หลักการดูแลทารกแรกเกิดขั้นพื้นฐาน Principle of basic newborn care.กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [9] ฉนิชาภัทร ช่วยชูหนู, (2555). การวิเคราะห์การไหลของอากาศและการกระจายความร้อนภายในตู้อบเด็ก โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] พิมลรัตน์ ไทยธรรมยานนท์. การดูแลทารกแรกเกิด.กรุงเทพฯ: ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [11] ธนกร อยู่โต,เอกสารประกอบการสอนวิชาอุปกรณ์การแพทย์ 2, มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 2549
- [12] ปราโมทย์ เตชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 4.สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2550
- [13] มาลี เอื้ออำนวย เนตรทอง นามพรหม และปรีศนา สุนทรไชย, กลุ่มวิชาการพยาบาลกุมารเวชศาสตร์ กระบวนวิชา 555312: การพยาบาลเด็ก 2, การพยาบาลทารกแรกเกิดที่มีภาวะเสี่ยง, คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
- [14] กิตติพันธ์ รุ่งประเสริฐ เอกสารประกอบการสอนวิชาหลักการทดสอบและสอบเทียบอุปกรณ์ชีวการแพทย์, สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 2555
- [15] ธวัช แก้วกัณฑ์ เอกสารประกอบการสอนวิชาอุปกรณ์การแพทย์ 2: เรื่องเครื่องให้รังสีความร้อนสำหรับทารกคลอด, สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี, 2548
- [16] <http://www.medicalexpo.com/prod/atom-medical-corporation/product-67679-512120.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Heat and Mass transfer of infant radiant warmer by Computer simulation

K.Roongprasert¹, P.Phasukkit^{1*}, C.Pintavirooj¹, M.Sangworasil²,

¹Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

²Department of Biomedical Engineering, Faculty of Science, Rangsit University, Phatumthani, Thailand

*kppattar@kmitl.ac.th

Abstract— This paper presents an analysis of heat transfer from the surrounding area skin of newborn under using infant radiant warmer (IRW) by finite element three-dimensional software. And to compare the results of heat transfer measurements from experiments on the IRW in used everywhere. In this study, results are obtained for a simplified model. It is equipped with. Systems design, the properties of materials and processing methods using finite element three-dimensional software. The results of the simulation using COMSOL Multiphysics 3.5a programs will be compared with the experimental results of heat transfer in newborn skin mounted on the IRW. The criteria are in the form of a temperature graph that is installed in a location that is designed to provide a virtual environment as far as possible. To ensure the accuracy of the experimental verification of the simulation method, the finite element model at 3 D. In order to make the research more easily add features in the future.

Keyword: Heat and Mass Transfer, Infant Radiant Warmer, Computer Simulation

I. INTRODUCTION

Neonatal cold injury means to measure the temperature under the armpit or rectal 36.5 degrees Celsius [1]. The condition is very common in newborn babies, anyone who wants to help resuscitate neonatal morbidity and premature infants. If unprotected, the hypothermia causing many complications. Prevention of hypothermia in neonates is important. I would worsen this condition, the baby is ill with a disease that is more severe until death. Found a mortality rate as high as 25-50 percent [2]. Protection achieved by controlling the temperature of the environment to suit their gestational age. Radiant heat is an efficient way to heat baby. Since it can be used as a heat source for infants and can be managed quickly to prevent hazardous to a baby.

In educated and researched, in 1998 Jonathan R. Ek, Thermograph principle to find the property of newborn skin heat collecting [3]. And Daniele Trevisanuto was researched Effective temperature under radiant infant warmer: does the device make a difference [4]. In the 2004 Edward F. Bell makes difference of infant incubators and radiant warmers [5]. In 2006 Andrew Lyon applied physiology: Temperature control in the newborn infant [6].

Later to 2010 Anna M. Fic, used numerical method for reproduced heat transmission of radiant warmer to newborn's skin and dehydrate analyzed from radiant

warmer [7]. This research presented how to used the techniques, thermal radiation analysis of radiant warmer by finite element method 3D from COMSOL Multiphysics program that able to show the result of infant radiant warmer's thermal radiation have to similar result with the real machines and able to analysis the accurate result of thermal radiation.

This paper is presented as following. An introduction and finite element analysis implementation is presented in section 1 and 2 respectively. In section 2, radiant warmer design and the mashing model is described in detail. A FEM analysis protocol also mention in this section. Section 3 is our simulation results which compose of virtual simulation results. Discussion and conclusion is proposed finally in section 4.

II. FINITE ELEMENT ANALYSIS IMPLEMENTATION

The implementation of FEM was primarily performed to an applicator design then following by infant radiant warmer modeling and definition of governing control equation.

A. Infant Radiant Warmer Sysyems

Use the size of machine at present for received the right information of thermal radiation analysis to design the infant radiant warmer to be equal to real size at hospitals. In the picture1, the design of heating element canopy have semicircle character with a radius of 20 cm, 10 cm thick and 40 cm long and leave a space from newborn mattress 70 centimeters. The size of the infrared light designed is a cylinder of radius 1 cm and length 40 cm. and the size of air around infant radiant warmer's structure 2 mattress every side for able to clear the thermal radiation phenomenon from heater show from Table I and Fig. 1.

Table I Size of infant radiant warmer system model to designed.

Modeling	Size (cm)
1. Mattress	50 x 60 x 10
2. Air	200 x 200
3. heating element canopy	30 x 40
4. heating element canopy layer	10
5. Newborn model	Diameter 5 x 30
6. Distance of mattress and heater	70
7. Heating Element	Diameter 1 x 40

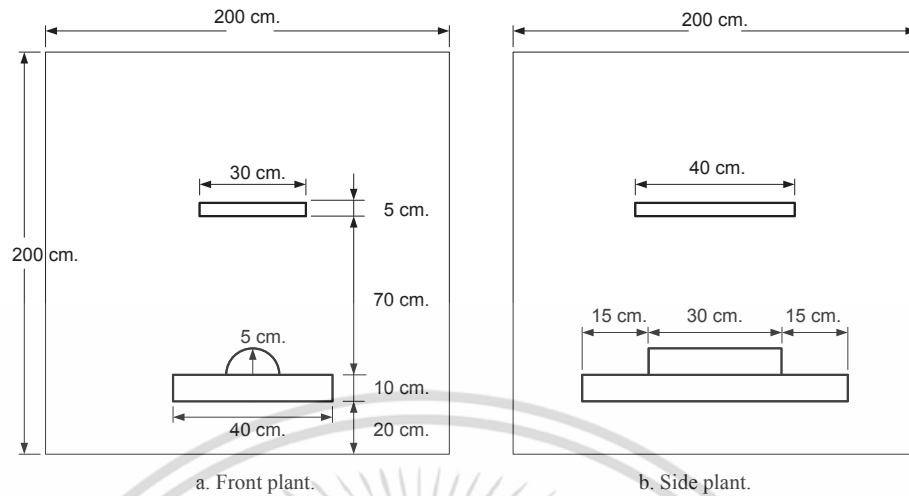


Figure 1. The front and side of infant radiant warmer system model.

B. Infant radiant warmer modeling and meshing refinement

In Fig. 2 shows subdomain of CAD model while meshing refinement is shown in Fig. 2. Table II shows main physical properties of materials for FEM simulation

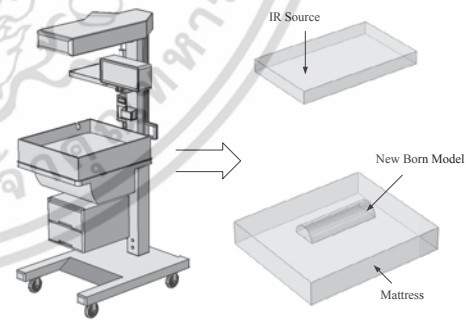
The components in Fig. 2 are contained in a chamber with temperature-controlled walls with a set point of 25 °C. This results in a closed cavity so you can omit the geometry of the chamber walls. Furthermore, the model assumes that this physical system is dominated by radiation and convection cooling. The convective cooling of the mattress and heating element canopy to the air (at 25 °C) is modeled using a heat transfer coefficient, h (in this model set to 500 W/(m²·K)).

The model simulates the lamp as a solid object with a volume heat source of 500W. It is insulated on all surfaces except for the bottom, which faces the mattress. At this surface, heat leaves the lamp as radiation only. In order to capture the lamp's transient startup time, the model uses a low heat capacity, C_p , for the solid (10 J/(kg K)). The lamp's other thermal properties are identical to those of copper metal.

In this case assume that the mattress dissipates energy via radiation and convection on all surfaces. The heating element canopy is insulated at all surfaces except the top, which is subjected to both convection and radiation. The thermal material properties are set to those of alumina.

Table II The parameter for use in variable specify to materials in the model designed.

Material	Thermal Conductivity	Density	Heat capacity
heater	400[W/(m*K)]	8700[kg/m ³]	10[J/(kg*K)]
heating element canopy	155[W/(m*K)]	2730[kg/m ³]	893[J/(kg*K)]
mattress	27[W/(m*K)]	2000[kg/m ³]	500[J/(kg*K)]



a. Infant radiant warmer modeling. b. Meshing refinement.

Figure 2. Infant radiant warmer system modeling.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. HEAT TRANSFERS EQUATIONS

A. The Heat Equation

In our case, radiation concept is concerned in this simulation. The problem is governed by the heat equation, given below together with its boundary conditions.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q \quad (1)$$

$$-n \cdot (-k \nabla T) = h(T_{inf} - T) + \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) (J_0 - \sigma T^4) \quad (2)$$

Here

- ρ Is the density of material.
- C_p Is the heat capacity of material.
- k Is the thermal conductivity of material.
- Q Is the volume heat source.
- n Is the surface normal vector.
- T_{inf} Is equals the temperature of the convection cooling gas.
- ε Is the surface emissivity.
- J_0 Is the expression for surface radiosity.
- σ Is the Stefan-Boltzmann constant.

B. FEM Analysis

In this research, we use COMSOL Multiphysics (version 3.5a) solver to implement FEM analysis. Simulation module was selected on heat transfer module with a heat transfer in solids and surface to surface radiation (ht) according to an industrial, scientific and medical (ISM) radio bands criteria. The simulation was truly performed in full 3D space on Core-i7 2.5 GHz desktop computer and 16 GB RAM.

IV. SIMULATION RESULTS

In this simulation, a number of meshing elements was compromisingly refined at 147,212 elements in tetrahedral shape with 202,312 degree of freedoms while the solution time is consumed about 30 minute 32 seconds. After heat source at 500 Watts was emitted for 30 minute radiation time, a post-processing of full 3D space model was analyzed and synthesized for an interested result. Simulation results of this study are shown in Fig. 3, 4, 5 and 6.

In the Fig. 3 temperature rate from heater, in the period on 30 minutes that time to pre-machine before use it with newborn. The result shows the temperatures near heater will high heat to a long distance. Mattress area has temperature about 34 - 37 degrees Celsius. In the Fig. 4 the surface that received thermal radiation from heater that testing shows power value at surface of materials near the heater. In the Fig. 5 the temperature 5 point in mattress by the 4 corners of the mattress both left and right received equal temperature therefore the center of mattress received temperature difference the side of mattress on the little equal period. Fig.6 Figure shows the design of a machine that is used to measure the physical. It is used to measure the temperature of the storage period of 10 seconds.

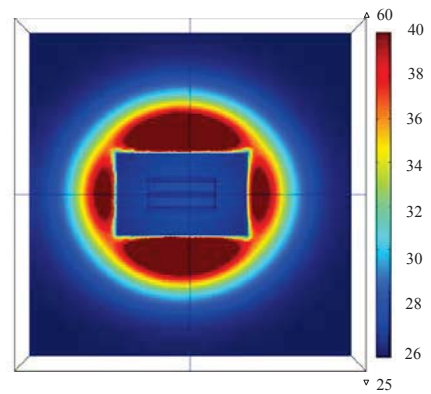


Figure 3. Top view slice plot: temperature (°C).

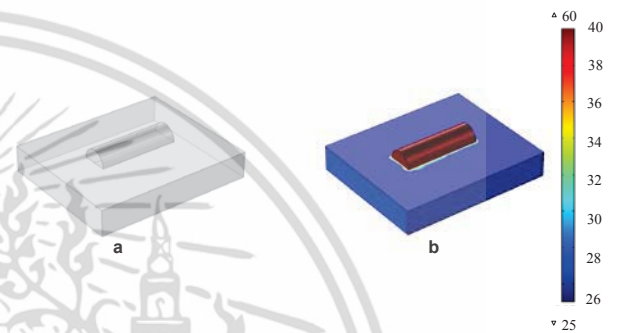


Figure 4. Newborn skin temperature (Degree Celsius).

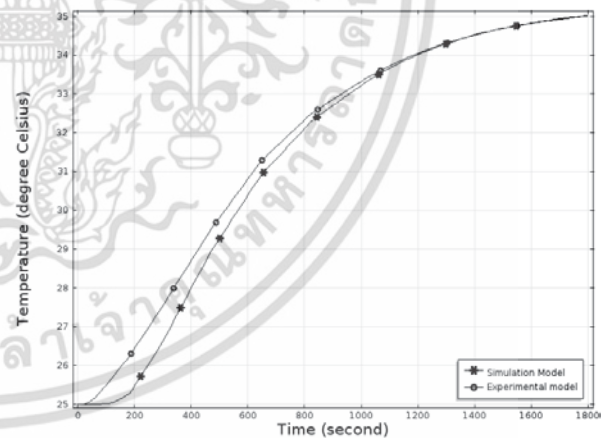


Figure 5. Point graph temperatures (°C) Temperature comparison chart between the model and the actual test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

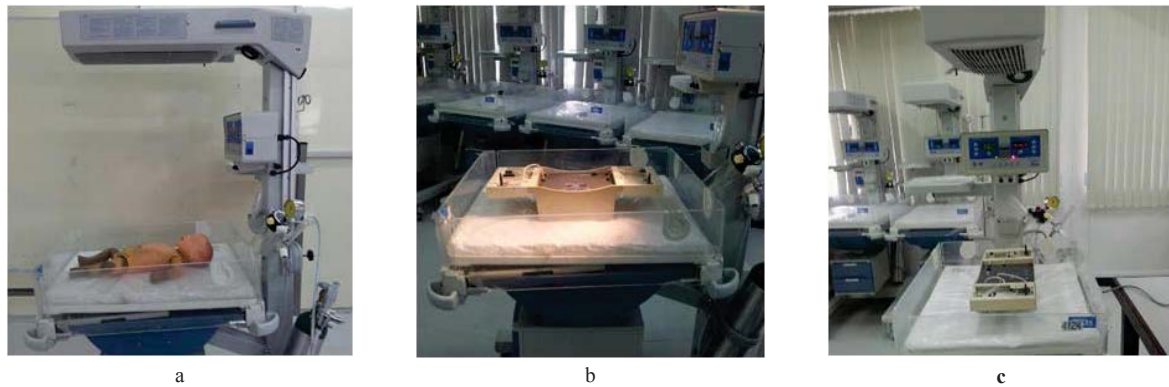


Figure 6. Shows the design of a machine that is used to measure the physical.

V. DISCUSSION AND CONCLUSION

In the researched about thermal radiation from infant radiant warmer by finite element 3D method, show thermal radiation from infant radiant warmer will have heat diffusion to mattress. The result observe heat quantity that pervaded in the same direction with real machines, able to test the heat result effect to newborn's skin and the best efficiency drainage thermal flight to newborn's skin.

For the future the authors would like to enter infant models put on a bed, to be able to analyze the thermal radiation of infrared light against baby's skin. It simulates the flow of air within the flow of air is close to that in ICU, in the hospital. To experiment with different parameter values as possible.

VI. REFERENCE

- [1] Jirapaet K, Jirapaet V, "Rewarming Hypothermic Infant With Siriraj Radiant Warmer Model-2." Department of pediatrics, Faculty of medicine siriraj Hospital, Mahidol university, Bangkok
- [2] Diane C. Crawford "Establishing an infant warming and phototherapy procurement framework" CEDAR3, Cardiff Medicentre, Heath Park, Cardiff CF14 4UJ, UK 2005
- [3] D. Trevisanuto, "Effective temperature under radiant infant warmer": Does the device make a difference; University of Padua, Azienda Ospedaliera Padova, Padua, Italy 1998
- [4] Jonathan R. Ek, "Infrared thermographic calorimetry applied to preterm infants under radiant warmers"; Department of Medical Research, Carle Foundation and Department of Internal Medicine, University of Illinois at Urbana- Champaign, Illinois, 61801, USA1998
- [5] Edward F. Bell, "Infant incubators and radiant warmers", Department of Pediatrics, University of Iowa, Iowa City, Iowa, U.S.A. 2004
- [6] Andrew Lyon, "Applied physiology: Temperature control in the newborn infant." Simpson Centre for Reproductive Health, Royal Infirmary of Edinburgh, Little France, Edinburgh EH16 4SA, UK ; 2006
- [7] Anna M. Fic, "Heat and mass transfer under an infant radiant warmer—development of a numerical model" Centre for CFD, University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK2010
- [8] A.T. Fiory, "Methods in Rapid Thermal Annealing," Proc. 8th Int'l Conf. Advanced Thermal Processing of Semiconductors (RTP2000),<http://web.njit.edu/~fiory/Papers/RapidThermalAnnealing00.pdf>, pp. 15–25.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ- นามสกุล	นายกิตติพันธ์ รุ่งประเสริฐ
วัน เดือน ปีเกิด	30 เมษายน พ.ศ. 2525
ที่อยู่	168/1 ซอยศุภราช1 ถนนพหลโยธิน 14 แขวงสามเสนใน เขต พญาไท กทม 10400
ประวัติการศึกษา	2549 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาอุปกรณ์ชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้