

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติสำหรับการใช้สายอากาศไมโครเวฟ 3 เส้น
เพื่อสอดผ่านผิวหนังไปทำลายเนื้อร้ายในปอด**

**3-D FINITE ELEMENT ANALYSIS OF MICROWAVE ABLATION
PERCUTANEOUS TRIPLE ANTENNA OF LUNG MALIGNANCIES**



T116787

อดิสรไชยพงศ์

ADISORN CHAIYAPONG

เลขทพ.....
เลขทะเบียน 116787
วัน,เดือน,ปี 15 ส.ย. 2554

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-EN-M-045-042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3-D FINITE ELEMENT ANALYSIS OF MICROWAVE ABLATION
PERCUTANEOUS TRIPLE ANTENNA OF LUNG MALIGNANCIES**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING PROGRAM IN BIOMEDICAL ELECTRONICS
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT.S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

KMITL-2010-EN-M-045-042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010





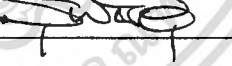
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติสำหรับการใช้สายอากาศไมโครเวฟ 3 เส้นเพื่อสอดผ่าน
ผิวหนังไปทำลายเนื้อร้ายในปอด
Thesis Title 3-D Finite Element Analysis of Microwave Ablation Percutaneous Triple Antenna of
Lung Malignancies
นักศึกษา นายอดิสร ไชยพงศ์
รหัสประจำตัว 50061409
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตังจิตกุลมณ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-045-042

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กิตติพล ชิตสกุล	
ผศ.ดร.ยุทธนา คิติใจเดียว	
รศ.ดร.สุริภณ สมคัวรพณิชย์	
ผศ.ดร.ชัยชนา ตั้งวงศ์สานต์	
ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตังจิตกุลมณ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพุธที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2553 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUI'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2553

สำเนา	1
วันที่	
วันที่ 14 เม.ย. 2553	
ลงชื่อ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติสำหรับการใช้สายอากาศไมโครเวฟ 3 เส้นเพื่อสอดผ่านผิวหนังไปทำลายเนื้อร้ายในปอด
นักศึกษา	นาย อศิคร ไชยพงศ์
รหัสนักศึกษา	50061409
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคในการทำลายเซลล์มะเร็งปอดในกลุ่ม NSCLC (non small cell lung cancer) ชนิด Squamous cell carcinoma โดยมะเร็งกลุ่มนี้พบได้มากถึง 40-45% ของมะเร็งปอดกลุ่ม NSCLC และส่วนมากจะเกิดกับผู้ป่วยที่มีกพบอยู่บริเวณซี่ปอด จากการทดลองกระจายอนุหภูมิในเนื้อเยื่อปอดด้วยสายอากาศแบบสล็อตจะมีปริมาณการทำลายประมาณ 2.7 cm^3 และการกระจายอนุหภูมิจะเป็นลักษณะเป็นวงกลม ซึ่งมะเร็งกลุ่ม NSCLC จะมีลักษณะมะเร็งที่หลากหลายจึงทำให้การทดสอบสายอากาศแบบสล็อต อาจจะทำให้สูญเสียเนื้อเยื่อปอดในส่วนที่ดีไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบสายอากาศเฉพาะ ซึ่งจะวางในลักษณะสามเหลี่ยม เพื่อให้เหมาะสมกับมะเร็งที่เกิดขึ้น โดยใช้สายอากาศสามแท่งในการทำลายที่ความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz ซึ่งใช้สายอากาศ แบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) เพื่อจำลองวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และศึกษาขนาดและรูปร่างของการทำลายเซลล์มะเร็งที่เกิดขึ้นโดยจะมีการเปรียบเทียบสายอากาศที่แตกต่างกัน ในเบื้องต้นพบว่าสายอากาศแบบสล็อตจะเหมาะสมกับก้อนมะเร็งที่มีลักษณะเป็นทรงกลม แต่สายอากาศแบบกึ่งสล็อตจะสามารถทำลายก้อนมะเร็งได้เฉพาะจุดที่ต้องการได้ดีกว่า โดยสายอากาศที่เหมาะสม เป็นสายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 3 มม. ความกว้างสล็อต 120° ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม. ซึ่งสามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด และสูญเสียเนื้อเยื่อปอดปกติน้อยมาก

Thesis Title	3-D Finite Element Analysis of Microwave ablation Percutaneous Triple Antenna of Lung Malignancies
Student	Mr. Adisorn Chaiyapong
Student ID.	50061409
Degree	Master of Engineering
Program	Biomedical Electronics
Year	2010
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Supan Tungjitkusolmun

ABSTRACT

This thesis presents the technique in lung cancer cell destruction in the non-small cell lung cancer (NSCLC) such as Squamous cell carcinoma, which can be found in 40-45 % of the NSCC lung cancer patients, mostly comprised of smokers. From previous experiments of microwave ablation using slot antenna, the extent of destruction zone covered 2.7 cm^3 , with a shape of a sphere. Cancer tissues found in patients suffering from NSCLC have a variety of geometrical characteristics, thus new methods for microwave ablation of lung cancer is needed. Simply using slot antenna for all cases of NSCLC would sometimes destroy normal tissue which is undesirable. Thus we investigated new techniques for lung microwave ablation in this study, using three antennas and placing them in triangle configurations. We performed analyses using finite element method and investigated temperature distribution as well as the specific absorption ratio. Preliminary results show that by adjusting the configuration and antenna design, we can achieve different types of destruction zone. Using three asymmetric slot antennas (1.25 mm diameter, 3 mm/120° slot) in triangular configuration with spacing distance of 20 mm was able to completely destroy a 3 cm diameter tumor while only minimal amount of normal tissue was destroyed.

กิตติกรรมประกาศ

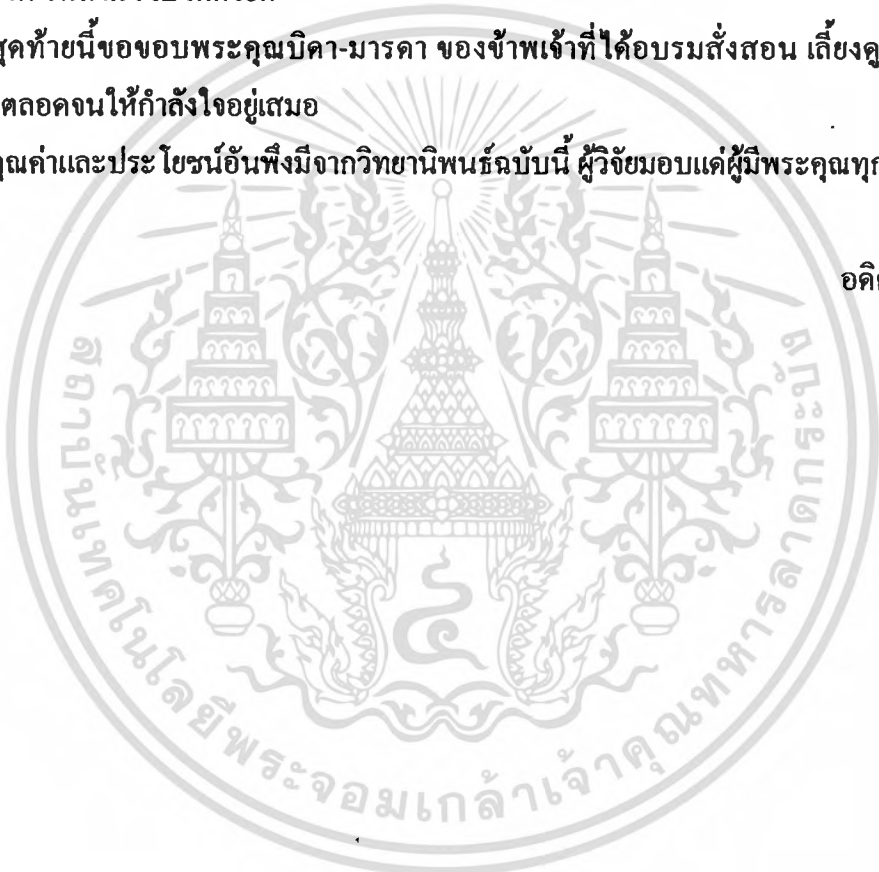
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาและความช่วยเหลือจาก
เกี่ยวกับรูปแบบการทดลอง การทำวิจัย อีกทั้งได้ตรวจสอบเนื้อหา ตลอดจนการเป็นห่วงเป็นใยใน
การทำวิทยานิพนธ์นี้จาก ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ทำวิจัย
รู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ นายกุลชาติ เย็นฉ่ำ นายธีรวัฒน์ สุพารตปรียากรณ์ เพื่อนๆ ที่ช่วยทำการทดลอง
และถ่ายภาพ จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา ของข้าพเจ้าที่ได้อบรมสั่งสอน เลี้ยงดู สนับสนุน
การศึกษาตลอดจนให้กำลังใจอยู่เสมอ

คุณค่าและประ โยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อศิสร ไชยพงศ์



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การวิเคราะห์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
2.2.1 สมการแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equations).....	5
2.2.2 สมการของแมกซ์เวลล์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา.....	6
2.2.3 สมการของคลื่นในตัวนำกลาง.....	8
2.2.4 ศิวนำและไดอิเล็กตริก.....	9
2.2.5 การเดินทางของคลื่นในตัวกลางที่เป็นเนื้อเยื่อ.....	10
2.3 โหมดสำหรับการเดินทางของคลื่น (Wave Propagation Modes).....	11
2.4 สายส่งไมโครเวฟและท่อนำคลื่น.....	14
2.4.1 สายส่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้นำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากที่หนึ่ง ไปยังอีกที่หนึ่ง โดยสายส่งมีโครงสร้างที่ไว้กันทั่วไป.....	15
2.5 ส่วนกำเนิดคลื่น (Magnetron)	16
2.6 สมการความร้อนในทางชีววิทยา (The Bioheat Equation).....	19
2.6.1 สมการการดูดซับความร้อน.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 โรคมะเร็งปอด.....	20
2.8 พื้นฐานการกระจายความร้อนภายในเนื้อเยื่อ.....	25
2.9 หลักการของเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง.....	26
2.9.1 เงื่อนไขขอบเขตของพอร์ต (Port condition).....	27
2.9.2 เงื่อนไขขอบเขตของความต่อเนื่อง (Continuity).....	27
2.9.3 เงื่อนไขขอบเขตของตัวนำ (Perfect Electric Conductor).....	28
2.9.4 เงื่อนไขขอบเขตของเนื้อเยื่อ (Scattering condition).....	29
บทที่ 3 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	30
3.1 บทนำ.....	30
3.2 วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	30
3.2.1 องค์ความรู้ที่จะนำไปสู่ความเข้าใจ.....	34
3.3 พื้นฐานสมการทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า.....	35
3.4 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูง.....	36
3.5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอนุภาค.....	37
บทที่ 4 หลักการและวิธีการที่การทดลอง.....	39
4.1 บทนำ.....	39
4.2 หลักการวิเคราะห์.....	39
4.3 เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการแก้ปัญหา.....	40
4.3.1 เงื่อนไขทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	40
4.3.2 เงื่อนไขปัญหาทางด้านความร้อน.....	41
4.4 สายอากาศโคแอกเชียล(Coaxial Line).....	41
4.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator).....	41
4.6 รูปแบบของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	42
4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	43
4.8 คุณสมบัติของสายอากาศ.....	44
4.9 แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	48
4.10 ขั้นตอนการทดลอง.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการจำลองและผลการทดลอง.....	53
5.1 บทนำ.....	53
5.2 การเปรียบเทียบขนาดของสล็อตกับการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบ Symmetric Slot เสาเดี่ยวที่เกิดกับเนื้อเยื่อปอด.....	54
5.2.1 การกระจายอุณหภูมิที่ได้จากสายอากาศแบบ Symmetric Slot เสาเดี่ยว.....	55
5.3 การเปรียบเทียบสายอากาศแบบ Symmetric Slot กับ Asymmetric Slot เสาเดี่ยวที่เกิดกับเนื้อเยื่อปอด.....	56
5.3.1 การกระจายอุณหภูมิที่ได้จากสายอากาศแบบ Symmetric Slot และสายอากาศแบบ Asymmetric Slot เสาเดี่ยว.....	63
5.3.2 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในการเปิดสล็อตรอบแกนที่ต่างกันและกำลังงาน.....	67
5.4 การเปรียบเทียบสายอากาศแบบ Symmetric Slot กับ Asymmetric Slot สามเสาที่เกิดกับเนื้อเยื่อปอด.....	71
5.4.1 การกระจายอุณหภูมิที่ได้จากสายอากาศแบบ Symmetric Slot และสายอากาศแบบ Asymmetric Slot (120°) สามเสา ตำแหน่งประจิดก้อนมะเร็ง.....	72
5.4.2 วิเคราะห์ระยะห่างของเสาอากาศเพื่อทำลายก้อนมะเร็งและสูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยที่สุด.....	75
5.5 ผลการทดลองในเนื้อเยื่อปอดหมู <i>in vitro</i>	81
5.5.1 ลักษณะรอยแผลที่เกิดจากสายอากาศเมื่อเทียบกับผลการจำลอง.....	84
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
6.1 สรุปผลงานวิจัย.....	87
6.2 ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต.....	88
เอกสารอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	92
ภาคผนวก ข การคำนวณหาพื้นที่รอยแผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	93

เอกสารประวัติผู้เขียนที่สงวนไว้ส่วนหนึ่งสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่มอบยกตให้ไปใช้ประโยชน์ด้วย 95 คำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 รายละเอียดของขนาดของสายอากาศ.....	43
4.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อ.....	48
5.1 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C	57
5.2 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปกค.....	59
5.3 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C.....	63
5.4 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปกค.....	66
5.5 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศสลัด 4 มม. ที่มีความกว้างองศา ขนาดต่างๆ	69
5.6 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C	73
5.7 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปกค.....	74
5.8 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศ ขนาดสลัด 4 มม.	76
5.9 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปกคของสายอากาศขนาดสลัด 4 มม.	77
5.10 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศขนาด	78
5.11 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปกคของสายอากาศขนาดสลัด 3 มม.	79
5.12 ขนาดรอยแผลที่เกิดจากสายอากาศเมื่อเทียบกับผลการจำลอง	84
5.13 ผลการเปรียบเทียบขนาดรอยแผลของผลการทดลองกับผลการจำลอง.....	84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพแสดงลักษณะของมะเร็งปอด.....	1
2.1 คลื่น TEM, TE และ TM	12
2.2 ตัวอย่างสายส่งสัญญาณแบบต่างๆ	14
2.3 ท่อนำคลื่นแบบต่างๆ	16
2.4 ส่วนประกอบต่างๆของหลอดแมกนีตรอน	16
2.5 หลอดแมกนีตรอน	17
2.6 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแมกนีตรอน ซึ่งเพิ่มแรงดันเป็นสองเท่า	18
2.7 ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จะจ่ายให้กับแมกนีตรอน	18
2.8 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแมกนีตรอนจะมีค่าคงที่เท่ากับ -4000 โวลต์	18
2.9 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์มะเร็ง.....	26
2.10 แสดงลักษณะของสายอากาศแบบโคแอกเซียลในเนื้อเยื่อทดสอบ	26
2.11 สายอากาศแบบสล็อต โคแอกเซียล.....	27
2.12 แสดงจุดจ่ายกำลังงานคลื่น ไมโครเวฟให้กับสายอากาศ	27
2.13 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตต่อเนื่อง.....	28
2.14 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตตัวนำ.....	28
2.15 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตสะท้อน	29
3.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์.....	30
3.2 รูปแบบจำลองชิ้นงานและรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	31
3.3 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในป้ายบอกทางบนทางด่วน.....	32
3.4 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในเท้าขงเทียม	34
4.1 Flow chart แสดงถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา	40
4.2 แสดง โครงสร้างของเครื่อง Generator.....	41
4.3 โครงสร้างของสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) และสล็อต (Symmetric Slot).....	42
4.4 แสดงรูปสายอากาศแบบ สล็อต (Asymmetric Slot) และสล็อต (Symmetric Slot).....	44
4.5 แสดงเครื่องมือวัดคุณสมบัติสายอากาศ ยี่ห้อ Bird รุ่น SA-6000.....	45
4.6 สายอากาศที่ใช้ในระบบ MWA	45
4.7 แสดงค่า VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) ของสายอากาศแบบสล็อต และกึ่งสล็อต ในย่านความถี่ 2300-2600 MHz	46

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงค่า Return Loss ในหน่วย dB ของสายอากาศแบบสล็อต และกึ่งสล็อต ในย่านความถี่ 2300-2600 MHz	46
4.9 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทดลองบริเวณการกระจายสูงสุด.....	47
4.10 แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์	48
4.11 ลักษณะการทำลายเซลล์มะเร็งในปอด.....	50
4.12 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสายอากาศแบบสามด้าน	50
4.13 Flow chart แสดงขั้นตอนการทดลอง	52
5.1 ลักษณะการนำภาพจาก โปรแกรมมาแสดง	54
5.2 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะภาพตัดขวาง	56
5.3 การวัดขนาดการกระจายอุณหภูมิที่บริเวณแกน X, Y และ Z	56
5.4 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะ 3 มิติ	58
5.5 บริเวณที่มีการกระจายอุณหภูมิ	60
5.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างสลอตบน และสลอตล่าง	60
5.7 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) กับสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะภาพตัดขวาง.....	63
5.8 ลักษณะทิศทางการกระจายของอุณหภูมิ	64
5.9 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) และสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายในในลักษณะ 3 มิติ.....	65
5.10 อกศาของสายอากาศ	67
5.11 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศที่มีความกว้างอกศาของสลอต.....	68
5.12 แสดงถึงลักษณะการวางสายอากาศแบบสามเสา.....	70

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) และ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเสาในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก่อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะ ภาพมุมสูง.....	72
5.14 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) และ สายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเสาในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก่อน มะเร็งอยู่ภายใน	73
5.15 แสดงถึงลักษณะการวางสายอากาศแบบสามเสา	75
5.16 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเสา ความกว้างของ สล็อต 4 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก่อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะภาพมุมสูง.....	76
5.17 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเสา ความกว้างของสล็อต 4 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก่อนมะเร็งอยู่ภายใน ลักษณะ 3 มิติ.....	77
5.18 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเสา ความกว้าง ของสล็อต 3 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก่อนมะเร็งอยู่ภายใน จากลักษณะภาพมุมสูง ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม.	78
5.19 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเสา ความกว้างของสล็อต 3 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก่อนมะเร็งอยู่ภายใน ลักษณะ 3 มิติ ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม.	79
5.20 ปอดหนูแบบ <i>in vitro</i>	80
5.21 สายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz.....	81
5.22 ลักษณะการขีดสายอากาศ	82
5.23 ลักษณะสายอากาศเมื่อแทงเข้าไปในเนื้อเยื่อปอดแบบ <i>in vitro</i>	82
5.24 แสดงรอยแผลที่เกิดจาก	84

บทที่ 1

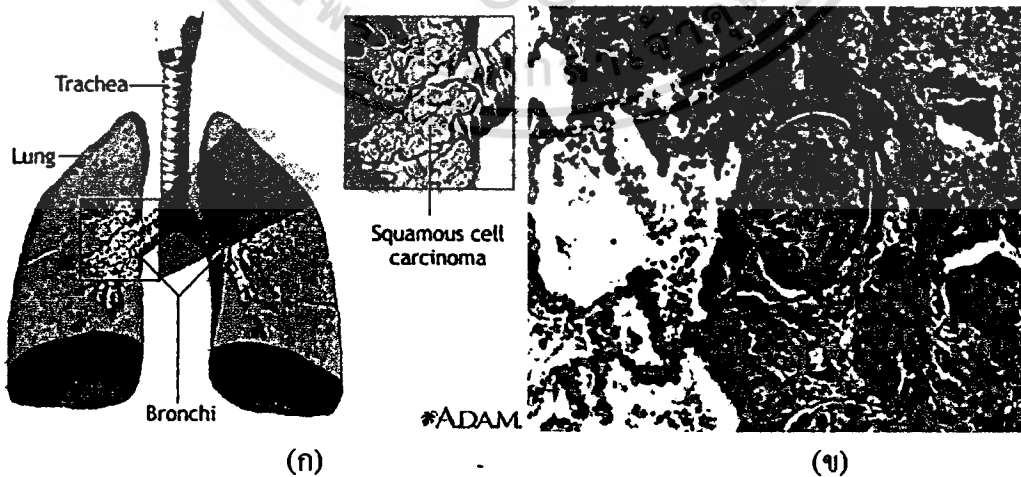
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศไทยมะเร็งปอด (lung cancer) เป็นโรคที่เป็นสาเหตุการตายในอันดับต้นๆ ทั้งในเพศชายและหญิง สถิติจากสถาบันมะเร็งแห่งชาติ พบว่าคนไทยเป็นโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุหลักเกิดจากการสูบบุหรี่โดยที่ 4 ใน 5 ของผู้ป่วยมีประวัติการสูบบุหรี่อย่างหนัก และผู้ได้รับควันจากผู้สูบบุหรี่ มะเร็งปอดเกือบทั้งหมดมักจะเริ่มต้นที่หลอดลมบริเวณขั้วปอด และมะเร็งปอดที่เกิดขึ้นมีมากกว่า 20 ชนิด ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่เรียกว่า SCLC (small-cell lung cancer) และ NSCLC (non small cell lung cancer) ซึ่งจะพบในปอดที่ตำแหน่งต่างๆ และมีวิธีการรักษาที่ไม่เหมือนกัน

SCLC นั้นถึงจะมีขนาดเล็กแต่แพร่กระจายได้เร็วมากและยังแพร่กระจายไปยัง ตับ และสมองโดยแม้จะตอบสนองต่อเคมีบำบัดได้ แต่ยากมากที่จะรักษาให้หายขาด เพราะกว่าจะตรวจพบก็แพร่กระจายไปทั่วแล้ว

NSCLC ในงานวิจัยนี้เราให้ความสนใจมะเร็งปอดชนิด Squamous cell carcinoma ด้วย ส่วนใหญ่มักจะเริ่มเกิดที่ขั้วปอด และพบได้บ่อยทั้งในคนที่สูบบุหรี่และไม่สูบบุหรี่ และสามารถตรวจพบได้จากเสมหะ [1] และเป็นชนิดที่ประสบความสำเร็จในการรักษามากที่สุดเนื่องจากการแพร่กระจายค่อนข้างช้า



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงลักษณะของมะเร็งปอด (ก) แสดงตำแหน่งที่เกิดมะเร็งปอดชนิด Squamous cell carcinoma และภาพ (ข) เซลล์ที่มองผ่านกล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้รังสีหรือเคมีบำบัด อาจจะมีผลข้างเคียงซึ่งจะทำให้ผมหรือขนร่วง และการผ่าตัดนั้นเป็นการรักษาที่ดี แต่บางกรณีผู้ป่วยมะเร็งสภาพร่างกายไม่พร้อมและต้องเสี่ยงต่อการเสียชีวิตมาก อีกทั้งยังมีแผลที่เกิดจากการผ่าตัดซึ่งจะมีขนาดใหญ่ การรักษาด้วยคลื่นวิทยุมีกำลังการแพร่กระจายความร้อนน้อย เนื่องจากปอดมีขนาดใหญ่และมีโครงสร้างที่เป็นถุงลมความร้อนจึงกระจายไปยังเนื้อเยื่อปอดได้ไม่ดีเท่าที่ควรแต่ก็ยังคงมีการทดลองและศึกษาวิจัยอยู่ตลอด[2-3]

การบำบัดรักษาโรคด้วยคลื่นไมโครเวฟ MCT (Microwave coagulation therapy) นั้นมีผู้ที่วิจัยกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการรักษามะเร็งตับ จากผลงานการวิจัยของ Kazuyuki Saito [4] โดยใช้สายอากาศแบบโคแอกเซียล เป็นตัวส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟไปยังเนื้อเยื่อตับ ผลที่ได้คือผู้ป่วยมะเร็งในระยะเริ่มแรกมีอาการดีขึ้นเป็นลำดับและหายในที่สุด งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรักษา เช่น L. Hamada [5] Toshihito Saki [6] W. Hurter [7] ซึ่งคลื่นไมโครเวฟมีการแพร่กระจายความร้อนได้มากและเพิ่มอุณหภูมิได้เร็วจึงเหมาะกับการรักษาโรคมะเร็งปอด [8] การทำลายเซลล์มะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นทำได้โดยใช้คลื่นไมโครเวฟผ่านสายอากาศเข้าไป เมื่อคลื่นผ่านสายอากาศไปยังสล็อตจะทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกทางสล็อตไปยังเนื้อเยื่อที่เป็นมะเร็งเมื่อความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อที่เป็นมะเร็งสูงถึง 50 °C ก็จะทำให้ก้อนมะเร็งตายไป [9]

โดยวิธีการดังกล่าวนี้จะทำให้ก้อนเซลล์มะเร็งที่ได้รับความร้อนตายไป ในกรณีที่มะเร็งลุกลามมาก การรักษาจะช่วยไม่ให้มะเร็งลุกลามได้เร็ว อาการจะทุเลาลง แต่อาจจะไม่หายขาด ซึ่งวิธีการนี้ก็ใช้ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการรักษาเซลล์มะเร็งตับ โดยลักษณะบาดแผลที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก ซึ่งจะใช้เวลาพักฟื้นสั้นและผู้ป่วยมีอัตราการรอดสูง อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการรักษาค่า ซึ่งเป็นข้อดีของการรักษาแบบการใช้ความร้อน การทำลายเซลล์มะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ก็เป็นรูปแบบการรักษาหนึ่งของการรักษาแบบการใช้ความร้อน

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงคุณลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ ขอบเขตการทำลายก้อนมะเร็ง และผลกระทบที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปอดที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่เดินทางผ่านสายอากาศโคแอกเซียล โดยพิจารณาผลทางความร้อนที่เกิดขึ้นกับก้อนมะเร็งในเนื้อเยื่อปอดเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ในการนำไปรักษามะเร็งปอดในอนาคต โดยได้นำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ เช่น คุณสมบัติการกระจายของสนามไฟฟ้า รูปแบบการกระจายอุณหภูมิ ลักษณะการเกิดรอยแผล ทำให้เราสามารถทราบคุณสมบัติต่างๆ นี้ได้จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพราะว่าคุณสมบัติบางประการก็ไม่สามารถทราบได้จากการทดลองกับเนื้อเยื่อจริง เช่น ลักษณะเนื้อเยื่อปอดที่มีหลอดลมขนาดต่างๆ อยู่ภายในทำให้การกระจายอุณหภูมิผิดปราดจากการจำลอง ซึ่งค่าที่หามาได้นั้นเป็นเพียงค่าที่เป็นส่วนของเนื้อเยื่อปอด และข้อจำกัดของแบบจำลองที่ไม่สามารถจำลองหลอดลมขนาดเล็กๆ ได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเกิดมะเร็งปอดและการกระจายอุณหภูมิของคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นกับปอด
2. เพื่อออกแบบสายอากาศให้เหมาะสมกับก้อนมะเร็งที่เกิดขึ้น
3. เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิ ปริมาณความร้อน ขนาดการทำลายก้อนมะเร็งและผลกระทบกับเนื้อเยื่อปอด
4. เพื่อเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิระหว่างสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) และกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot)
5. เพื่อทราบปริมาณเนื้อเยื่อปอดที่สูญเสียไประหว่างสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) และกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot)

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ที่ผ่านมามีการทดลองโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio frequency) ซึ่งผลที่ได้ก็แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิ บริเวณที่ทำลายเซลล์มะเร็ง และการกระจายตัวของความร้อน ดังนั้นจึงนำเสนอการรักษามะเร็งปอดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งมีพลังงานผ่านเนื้อเยื่อได้สูงกว่าโดยนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ของแบบจำลองที่สร้างขึ้น และแบบจำลองจะมีคุณสมบัติเหมือนเนื้อเยื่อปอดและมะเร็ง โดยอาศัยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆลงในแบบจำลอง พารามิเตอร์จะถูกนำไปใช้สมการทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์เพื่อใช้ในการคำนวณ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ค้นคว้าหารูปแบบของสายอากาศและศึกษาการกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นในปอดจากสายอากาศที่คิดค้นขึ้นมา ศึกษาข้อดีและข้อเสียและการนำไปประยุกต์เพื่อใช้งานจริง การใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านความร้อน เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของความร้อน หรืออุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อปอดจะเป็นไปตามสมการความร้อนทางชีวภาพ (Bio-heat Equation) และศึกษาดูการทำลายก้อนมะเร็งและผลกระทบกับเนื้อเยื่อปอดปกติ ของสายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) และกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) 1 เส้น และ 3 เส้น โดยการวางแบบตามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยจะเป็นการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า การกระจายตัวของอุณหภูมิ ขอบเขตการทำลายก้อนมะเร็ง และผลกระทบที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปอด เมื่อส่งคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45GHz ผ่านสายโคแอกเซียล จากนั้นทำการทดลองกับเนื้อเยื่อแบบภายนอกร่างกาย (*In Vitro*) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทในแต่ละบทจะมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงการศึกษาโครงสร้างของปอดและมะเร็งที่เกิดขึ้นในปอด ความหมายและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐาน แนวคิดของงานวิจัย และขอบเขตของงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องซึ่งจะประกอบไปด้วย การวิเคราะห์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โหมดสำหรับการเดินทางของคลื่น สายส่งไมโครเวฟและท่อนำคลื่น ส่วนกำเนิดคลื่น สมการความร้อนในทางชีววิทยา พื้นฐานการกระจายความร้อนภายในเนื้อเยื่อ โรคมะเร็งปอด วิธีการรักษา และหลักการรักษาด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ และพื้นฐานสมการทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการและวิธีการทดลอง ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย โปรแกรม COMSOL Multiphysics โดยอธิบายถึงโครงสร้างของสายอากาศที่นำมาใช้ รูปแบบการจำลองค่าพารามิเตอร์ของเนื้อเยื่อ และขั้นตอนการทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการจำลองและผลการทดลองโดยจะวิเคราะห์ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิ ขอบเขตการทำลายก้อนมะเร็ง และผลกระทบที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปอด ที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์และผลที่ได้จากการทดลองจริงกลับเนื้อเยื่อปอดแบบ *in vitro*

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะถึงแนวทางในงานวิจัยต่อไป

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา โดยกล่าวถึงสมการแมกซ์เวลล์ [10] การเดินทางของคลื่นในตัวกลางชนิดต่างๆ พื้นฐานการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อ การหาค่าการดูดซับความร้อน และสมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio-heat Equation)

2.2 การวิเคราะห์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปทั่วไปแล้วจะเป็นคลื่นซึ่งเป็นสัญญาณที่มีฮาร์โมนิก (Time - Harmonic Field) หรืออีกนัยหนึ่งคือ เป็นสัญญาณที่มีคาบการแกว่งที่แน่นอน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะแทนด้วยผลรวมของสัญญาณรูปไซน์ที่สามารถใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เขียนได้ทั้งฟังก์ชันโคไซน์ ฟังก์ชันไซน์ หรือฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียลเชิงซ้อน ถ้าพิจารณาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณโคไซน์ก็จะได้ $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = j\omega \mathbf{E}$ ในกรณีที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณรูปไซน์นั้น สามารถวิเคราะห์ผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อตัวกลางได้ง่ายโดยพิจารณาการตอบสนองของช่วงเวลาที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณไซน์คงตัว (Steady - state) ซึ่งสามารถอนุมานอัตราการเปลี่ยนแปลงกับเวลา $\frac{\partial}{\partial t}$ คือ การเฉลี่ยด้วยค่า $j\omega$ ทำให้ได้สมการแมกซ์เวลล์ตามหัวข้อที่ 2.2.1 ซึ่งเป็นการเขียนในลักษณะเฟสเซอร์

2.2.1 สมการแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equations)

$$\nabla \times \vec{H} = -j\omega \epsilon \vec{E} + \sigma \vec{E} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.4)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.5)$$

เมื่อ \vec{E} = สนามไฟฟ้า

\vec{D} = ความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า

\vec{H} = ความเข้มสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ = ความหนาแน่นของประจุเชิงปริมาตร

\vec{B} = ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

ϵ = ค่าความยินยอมทางไฟฟ้า

μ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก

2.2.2 สมการของแมกซ์เวลล์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

ปฏิบัติแหล่งกำเนิดส่วนมากจะให้ความแตกต่างและกระแสไฟฟ้ารวมทั้งสนามไฟฟ้า และ สนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนตามเวลาเป็นเส้นโค้งรูปไซน์ ตัวอย่างเช่น

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos \omega t = \vec{E}_0 \cos 2\pi f t$$

หรือ

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega t = \vec{E}_0 \sin 2\pi f t \quad (2.6)$$

เมื่อเป็นความถี่ของการแปรเปลี่ยน จากสมการ (2.6) แสดงว่ามีแฟกเตอร์ (factor) ของเวลาที่ เป็นเส้นโค้งรูปไซน์ปรากฏในทุกพจน์ในสมการใดๆ

เมื่อกำหนดให้ $\vec{E}(r, t)$ เป็นสนามไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

$\vec{E}(r)$ เป็นสนามไฟฟ้าที่จุดๆหนึ่งในปริภูมิ (space)

จะได้สนามไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนตามเวลามีรูปแบบดังนี้

$$\vec{E}(r, t) = \text{Re} [\vec{E}(r)e^{j\omega t}] \quad (2.7)$$

เมื่อ $\vec{E}(r)$ เป็นจำนวนเชิงซ้อน (complex number) ในทำนองเดียวกัน จะได้การขจัดไฟฟ้า ความเข้มของสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลาดังนี้

$$\vec{D}(r, t) = \text{Re} [\vec{D}(r)e^{j\omega t}] \quad (2.8)$$

$$\vec{H}(r, t) = \text{Re} [\vec{H}(r)e^{j\omega t}] \quad (2.9)$$

$$\vec{B}(r, t) = \text{Re} [\vec{B}(r)e^{j\omega t}] \quad (2.10)$$

เมื่อ $\vec{D}(r)$, $\vec{H}(r)$, $\vec{B}(r)$ และเป็นจำนวนเชิงซ้อน

พิจารณาจากสมการของแมกซ์เวลล์ เกร็ดของสนามแม่เหล็ก เมื่อมีการแปรเปลี่ยนตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (2.11)$$

แทนค่า $\vec{D}(\mathbf{r}, t)$ และ $\vec{H}(\mathbf{r}, t)$ จากสมการ (2.8) และ (2.9) ในสมการ (2.11) จะได้

$$\nabla \times [\text{Re}\vec{H}(\mathbf{r})e^{j\omega t}] = \frac{\partial}{\partial t} [\text{Re}\vec{D}(\mathbf{r})e^{j\omega t}] + \text{Re}[\vec{J}(\mathbf{r})e^{j\omega t}]$$

$$\text{Re}[\nabla \times \vec{H}(\mathbf{r})] = \text{Re}[j\omega\vec{D}(\mathbf{r}) + \vec{J}(\mathbf{r})]$$

ถ้าความสัมพันธ์นี้เป็นจริงทุกค่าของ t จะได้

$$\nabla \times \vec{H} = j\omega\vec{D} + \vec{J} \quad (2.12)$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการของแมกซ์เวลล์ เวิร์ดของสนามไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนตามเวลาจะ
ได้

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.13)$$

แทนค่า $\vec{E}(\mathbf{r}, t)$ และ $\vec{B}(\mathbf{r}, t)$ จากสมการ (2.8) และ (2.9) ในสมการ (2.13) จะได้

$$\nabla \times [\text{Re}\vec{E}(\mathbf{r})e^{j\omega t}] = -\frac{\partial}{\partial t} [\text{Re}\vec{B}(\mathbf{r})e^{j\omega t}]$$

$$\text{Re}[\nabla \times \vec{E}(\mathbf{r})] = -\text{Re}[j\omega\vec{B}(\mathbf{r})]$$

$$\nabla \times \vec{E} = j\omega\vec{B} \quad (2.14)$$

ดังนั้น สมการของแมกซ์เวลล์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาเป็นเส้นโค้งรูปไซน์ จึงมีรูปแบบดัง
สมการทั้งสี่ (2.15) ข้างล่าง โดยจัดในรูปแบบอนุพันธ์

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\vec{B}$$

$$\nabla \times \vec{H} = j\omega\vec{D} + \vec{J}$$

(2.15)

2.2.3 การเดินทางของคลื่นในตัวกลางที่เป็นตัวนำ

สำหรับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลาเป็นเส้นโค้งรูปไซน์ สามารถหาผลเฉลยของสมการคลื่นในตัวกลางที่เป็นตัวนำได้ สมการคลื่นสามารถเขียนในรูปแบบสมการของเฮล์มโฮลทซ์ ได้ดังนี้

$$\nabla^2 \vec{E} - \gamma^2 \vec{E} = 0 \quad (2.16)$$

เมื่อ

$$\gamma^2 = j\omega\mu\sigma - \omega^2\mu\epsilon = j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon) \quad (2.17)$$

เรียก γ ว่าคงตัวการแผ่ (propagation constant) โดย γ เป็นจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งมีส่วนจริง (real) คือ α โดยมีหน่วยเป็น Neper/m และส่วนจินตภาพ (imaginary part) มีหน่วยเป็น radian/m คือ β

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

เมื่อ

$$\alpha = \text{Re}\sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)}$$

และ

$$\beta = \text{Im}\sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)}$$

เรียก α ว่า ค่าคงที่ของการลดทอน (Attenuation constant) ตามความเป็นจริงแล้ว รากที่สองของ γ^2 มี 2 ค่า คือ ค่าที่เป็นบวกค่าที่เป็นลบ แต่เพื่อความสะดวกจะต้องใช้ค่าที่เป็นบวก เมื่อพิจารณาคลื่นระนาบสม่ำเสมอที่เคลื่อนที่ในทิศ z สนามไฟฟ้าต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขดังนี้

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \gamma^2 \vec{E} \quad (2.18)$$

ผลเฉลยที่เป็นไปได้คือ

$$E(z) = E_0 e^{\gamma z} \quad (2.19)$$

ในรูปแบบการแปรเปลี่ยนตามเวลา จะได้

$$\vec{E}(z, t) = \text{Re} \left[\vec{E}_0 e^{j(\omega t - \gamma z)} \right] \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.20) คือ ผลเฉลยของสมการของคลื่นที่ในทิศ z และมีสนามไฟฟ้าลดลงโดยแฟกเตอร์ $e^{-\alpha}$ ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกรณีของตัวกลางที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานค่าคงตัวของ การเลื่อนเฟส และความเร็วเฟสของคลื่นมีค่าดังนี้

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ และ } v = f\lambda = \frac{\omega}{\beta}$$

นอกจากนี้ยังสามารถเขียน α และ β เป็นพจน์ของ σ, μ และ ϵ ดังนี้

$$\alpha = \text{Re}\sqrt{(j\omega\mu)(\sigma + j\omega\epsilon)}$$

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2\epsilon^2}} - 1 \right]} \quad (2.21)$$

$$\beta = \text{Im}\sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)}$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2\epsilon^2}} + 1 \right]} \quad (2.22)$$

2.2.4 ตัวนำและไดอิเล็กตริก

ในทางแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุถูกแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ ตัวนำ และ ไดอิเล็กตริก หรือ ฉนวน (Insulator) เส้นแบ่งระหว่าง 2 พวกนี้ไม่ชัดเจน ในช่วงของความถี่วิทยุจัดเป็นตัวนำแต่ช่วยอื่นจัดเป็น ไดอิเล็กตริก พิจารณาสมการของแมกซ์เวลล์ที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา

$$\vec{V} \times \vec{H} = \vec{j} \times j\omega\vec{D}$$

แทนค่า $\vec{j} = \sigma\vec{E}$ และ $\vec{D} = \epsilon\vec{E}$

$$\vec{V} \times \vec{H} = \sigma\vec{E} + j\omega\epsilon\vec{E}$$

พจน์แรกทางขวาของสมการคือ ความหนาแน่นกระแสการนำไฟฟ้า (conduction current density) และพจน์ที่สองคือ ความหนาแน่นกระแสการขจัด (displacement current density) อัตราส่วน $\frac{j}{\omega D} = \frac{\sigma}{\omega\epsilon}$ คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นกระแสการนำ และความหนาแน่นกระแสการขจัดในตัวกลางเรียกอัตราส่วนนี้ว่า แฟกเตอร์การกระจาย (dissipation factor) คำนึง $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} = 1$

คือ เส้นแบ่งระหว่างตัวนำและ ไดอิเล็กตริก สำหรับตัวนำ $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} > 1$ ส่วน ไดอิเล็กตริก $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} < 1$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวนำที่ดี เช่น โลหะ ในช่วงสเปกตรัมความถี่วิทยุ $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \gg 1$ จากสมการ (2.21) และ (2.22) จะได้

$$\alpha = \beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\sigma}{2\omega}} = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าพิจารณาทองแดงที่มีความถี่สูงถึง 30,000 เมกะเฮิร์ตซ์ $\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$ มีค่าประมาณ 3.5×10^8

สำหรับไดอิเล็กตริกหรือฉนวนที่ดี ในช่วงความถี่วิทยุ $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \ll 1$ ตัวอย่างเช่น ไมกาในช่วงความถี่วิทยุที่คนได้ยิน $\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$ อยู่ในช่วง 0.0002

สำหรับตัวนำที่ดี σ และ ϵ เกือบจะไม่ได้ขึ้นกับความถี่ แต่สำหรับไดอิเล็กตริก σ และ ϵ เป็นฟังก์ชันของความถี่ แต่อัตราส่วน $\sigma/\omega\epsilon$ เป็นค่าคงที่ในช่วงความถี่ที่พิจารณา ด้วยเหตุนี้ คุณสมบัติของไดอิเล็กตริกถูกกำหนดด้วยพจน์ของค่าไดอิเล็กตริก σ และอัตราส่วน $\sigma/\omega\epsilon$

2.2.5 การเดินทางของคลื่นในตัวกลางที่เป็นเนื้อเยื่อ

เนื้อเยื่อปอดจัดเป็นตัวกลางที่มีค่าคงที่ประจำตัวกลาง เป็นตัวกลางชนิดกึ่งไดอิเล็กตริกกึ่งตัวนำ จากสมการของเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz) ในปริศนเปชความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าจะได้ดังสมการที่ (2.18)

$$\nabla^2 \vec{E} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{E} = 0 \quad (2.23)$$

ในกรณีที่ตัวกลางมีสภาพความนำไฟฟ้าจำกัดที่ค่าๆ หนึ่ง เช่น คลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นเนื้อเยื่อจะให้ความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าดังสมการที่ (2.19)

$$\nabla^2 \vec{E} + \omega^2 \mu \epsilon [1 + j \frac{\sigma}{\omega \epsilon}] \vec{E} = 0 \quad (2.24)$$

และสมการหาสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อให้คลื่นเดินทางในทิศทาง +Z

$$\vec{E} = E_0 e^{-j\gamma z} \quad (2.25)$$

เมื่อกำหนดให้ γ มีค่าดังสมการที่ (2.26)

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \sqrt{1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}} \quad (2.26)$$

โดยที่ γ เป็นค่าคงที่ในการเดินทางของคลื่น

$\alpha = \text{Re}(\gamma)$ สัมประสิทธิ์ในการลดทอนของคลื่น

$\beta = \text{Im}(\gamma)$ ค่าคงที่ทางเฟส

สามารถหาสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ได้ดังสมการที่ (2.27)

$$\vec{H} = \frac{\gamma}{j\omega\mu} (E_0 e^{-\gamma z}) \quad (2.27)$$

2.3 โหมดสำหรับการเดินทางของคลื่น (Wave Propagation Modes)

ในฟรีสเปซคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายออกไปในลักษณะครึ่งวงกลม (Spherical configuration) ตามที่เราได้ทราบกันมาแล้ว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดการแพร่กระจายออกสู่ฟรีในลักษณะกระแสไฟฟ้าแปรตามเวลาเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลาที่เหนี่ยวนำ สร้างสนามไฟฟ้าเช่นกัน ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปเรื่อยๆ และค่อยๆ ถูกลดทอนด้วยตัวกลางจนหมดไป (ซึ่งในอุดมคติคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องแพร่กระจายออกไปในฟรีเปซได้เรื่อยๆ ไม่มีที่สิ้นสุด โดยไม่ถูกลดทอนด้วยตัวกลางเลย) โดยทั่วไปแล้วสายส่งได้จำแนกตามประเภทของโหมดการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจำแนกออกเป็นโหมดพื้นฐานได้สามแบบ คือ

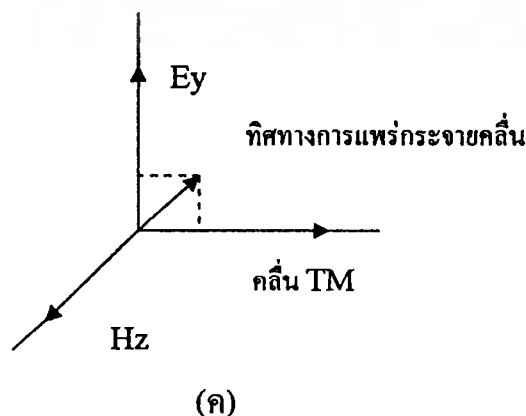
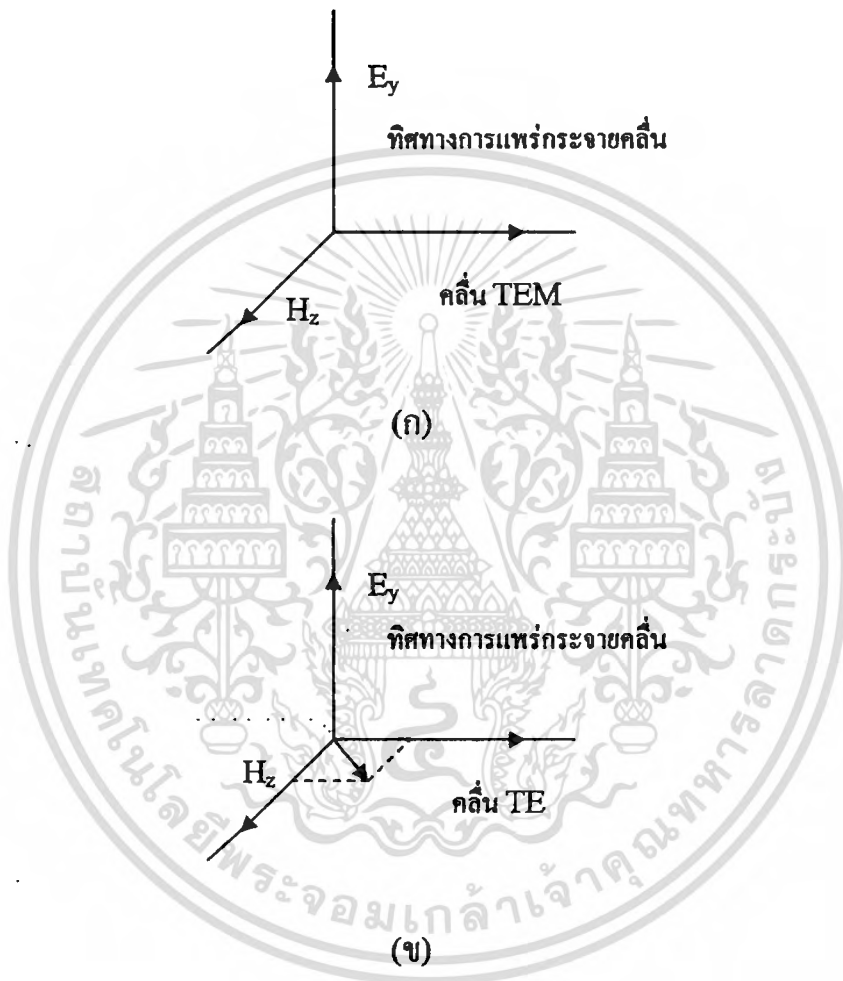
ก) โหมดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดขวาง (Transverse Electromagnetic Mode : TEM mode) เป็นโหมดที่คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยมีส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับทิศการเดินทางของคลื่นในสายส่งนั้น หรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในทิศทางการเดินทางของคลื่นในสายส่งเลย

ข) โหมดสนามไฟฟ้าตัดขวาง (Transverse Electric Mode : TE mode) เป็นโหมดที่คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยมีส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าเท่านั้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นในสายส่งนั้นหรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามไฟฟ้าในทิศการเดินทางของคลื่นในสายส่งเลย

ค) โหมดสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Transverse Magnetic Mode : TM mode) เป็นโหมดที่คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยมีส่วนประกอบของสนามแม่เหล็กเท่านั้นที่ตั้งฉากกับทิศการเดินทางของคลื่นในสายส่งนั้นหรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามแม่เหล็กในทิศทางการเดินทางของคลื่นในสายส่ง

ของคลื่นในสายส่งนั้นหรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามไฟฟ้าในทิศทางการเดินทางของคลื่นในสายส่งเลย

ค) โหมดสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Transverse Magnetic Mode : TM mode) เป็นโหมดที่คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามตัวกลาง โดยมีส่วนประกอบของสนามแม่เหล็กเท่านั้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นในสายส่งนั้นหรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามแม่เหล็กในทิศทางของคลื่นในสายส่ง



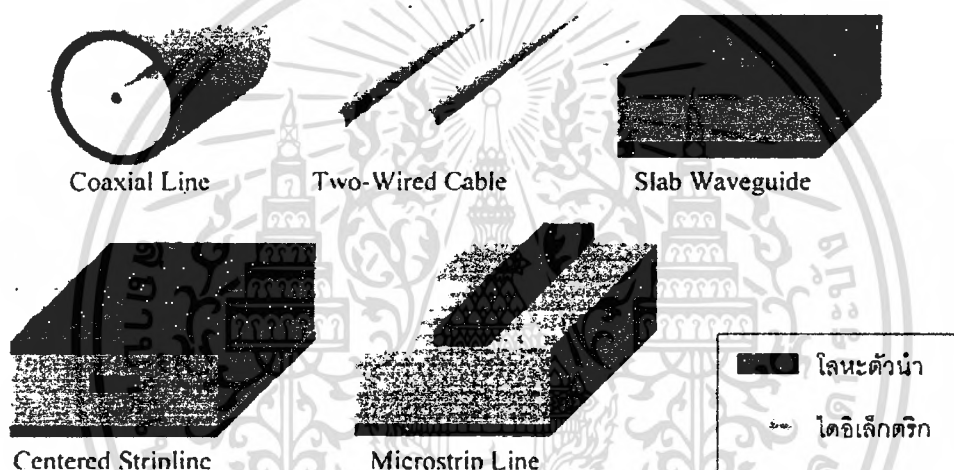
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 2.1 (ก) คลื่น TEM (ข) คลื่น TE (ค) คลื่น TM** ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมาเป็นรูปทรงกลม (Spherical wave) เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นมากๆ พื้นที่ผิวทรงกลมสมมติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นพื้นที่ระนาบแบน การพิจารณาสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H บนพื้นผิวระนาบนี้จะทำมุมฉากซึ่งกันและกัน ฉะนั้น คลื่นรูปทรงกลมระยะห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดมากๆ จะกลายเป็นคลื่นระนาบ (Plane wave) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นรูปทรงระนาบนี้จะ ได้สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กทำมุมซึ่งกันและกัน โดยระนาบของสนามทั้งสองจะตั้งฉากกับทิศทางการแพร่กระจายคลื่นเองด้วย

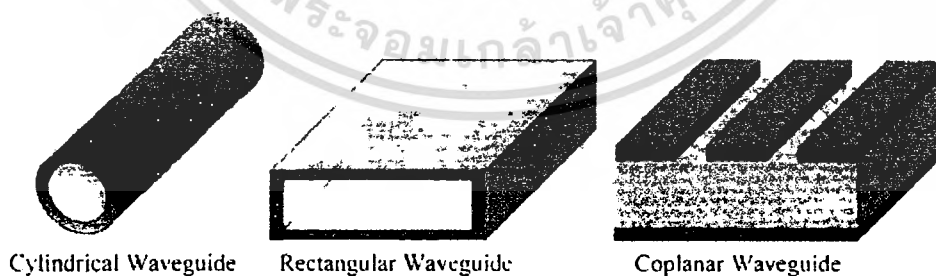
ขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายไปตามสายนำสัญญาณนั้น กลุ่มประจุ กระแสไฟฟ้าบนพื้นผิวของตัวนำสัญญาณจะมีรูปแบบเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขต สำหรับโหมดในการแพร่กระจายคลื่นแบบสายนำสัญญาณแบบคู่ขนานที่เป็นโหมดหลัก (Principal mode) ก็คือทรานสเวอร์สอิเล็กโตรแมกเนติกเวฟ (Transverse electromagnetic wave) หรือจะเรียกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวางก็ได้ โดยที่โหมด (Mode) เป็นคำที่บอกลักษณะการเดินทางหรือการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่น TEM นี้จะเป็นคลื่นที่มีระนาบของคลื่นสนามแม่เหล็ก และคลื่นสนามไฟฟ้ารูปไซน์วางอยู่ในลักษณะตามขวางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (ก) กรณีที่ขนาดความยาวคลื่นของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าใกล้เคียงกับขนาด (Dimension) ของสายหรือโถงจะทำให้เกิดโหมดการแพร่กระจายคลื่นที่แตกต่างกันมากขึ้น ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นต่างๆ กันนี้รวมเรียกว่า โหมดที่สูงกว่า หรือไฮเออร์โหมด (Higher mode) ไฮเออร์โหมดเป็นรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น ซึ่งมีความถี่สูงกว่าค่าความถี่เฉพาะที่มีชื่อเรียกว่า ความถี่คัทออฟ (Cutoff frequency) ของสายนำสัญญาณ หรือท่อนำคลื่นที่ใช้งาน สำหรับความถี่ต่ำสุด (Lowest frequency) และความยาวคลื่นสูงสุด (Higher frequency) หรือยาวที่สุด (Longest wavelength) ที่สามารถแพร่กระจายไปได้ในสายนำหนึ่งๆ จะเป็นความถี่คัทออฟ (Cutoff frequency : f) และความยาวคลื่นคัทออฟ (Cutoff wavelength : λ_{cutoff}) ของสายนำสัญญาณนั้น รูปแบบการส่งคลื่นในลักษณะดังกล่าวจะเป็น โหมดต่ำสุด (Lowest mode) ในการส่งโดยมีชื่อเรียกโหมดนี้ว่า โหมดหลักของการแพร่กระจาย (Principal propagation mode) ส่วนไฮเออร์โหมด จะเป็นรูปแบบการส่งในโหมดที่สูงกว่า (เทียบกับโหมดหลัก) คลื่นที่แพร่กระจายในท่อนำคลื่นจะมี 2 โหมด คือ ทรานสเวอร์สอิเล็กตริกเวฟ (Transverse Electric wave : TE) หรือเรียกว่าคลื่นที่มีแนวสนามไฟฟ้าวางตามขวาง และทรานสเวอร์สแมกเนตริกเวฟ (Transverse Magnetic wave : TM) หรือเรียกว่าคลื่นที่มีสนามแม่เหล็กวางตามขวาง ทรานสเวอร์สอิเล็กตริกเวฟ (สนาม H มีส่วนประกอบหรือเวกเตอร์ย่อยอยู่ในแกน x และ z ของสนาม E) ตามรูปที่ 2.1 (ข) ส่วนทรานสเวอร์สแมกเนตริกเวฟ (สนาม E มีส่วนประกอบหรือเวกเตอร์ย่อยอยู่ในแกน x และ y ของสนาม H) ในรูปที่ 2.1 (ค)

2.4 สายส่งไมโครเวฟและท่อนำคลื่น (Microwave Transmission Line and Wave Guides)

ในการส่งสัญญาณไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังโหลดหรือแหล่งที่ใช้พลังงานทางไฟฟ้านั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพึ่งตัวกลางส่งผ่านสัญญาณหรือพลังงานทางไฟฟ้านั้น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วสำหรับในทางไฟฟ้านั้นมักจะใช้สายตัวนำไฟฟ้าสองเส้นเป็นตัวกลางนำส่งสัญญาณหรือกระแสไฟฟ้านั้นๆ โดยทั่วไปคู่สายตัวนำที่ใช้ในการนำกระแสไฟฟ้านั้นเรียกว่า สายส่งสัญญาณไฟฟ้า (Transmission Lines)



ก) สายส่งสัญญาณโหมด TEM (TEM transmission lines)



ข) สายส่งสัญญาณโหมด (Multi-mode transmission lines)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสายส่งสัญญาณแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายส่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีอยู่ด้วยกันหลายประเภทขึ้นอยู่กับความถี่และลักษณะการเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายส่งนั้นๆ โดยที่ความถี่ต่ำมักจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของสัญญาณคล้ายกับการไหลของกระแสน้ำตามท่อน้ำทั่วไป แต่สำหรับที่ความถี่สูงแล้วมักจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของสัญญาณคล้ายกับการเคลื่อนที่ของคลื่นสัญญาณที่ประกอบด้วยสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง

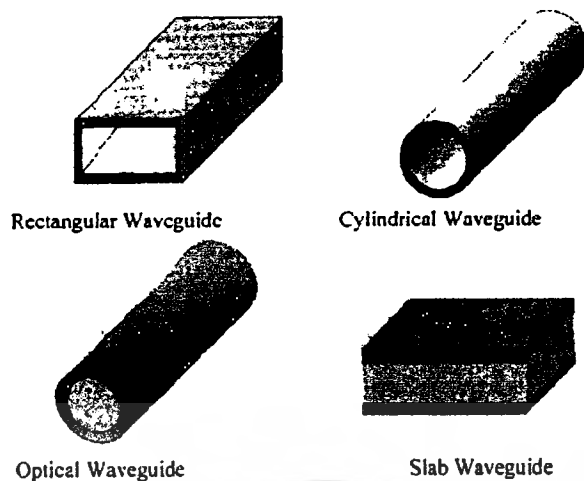
เนื่องจากว่าสายสัญญาณความถี่สูงนั้นจะมีรูปแบบต่างๆที่ได้รับการวิเคราะห์มาแล้วมากมายต่างลักษณะ โครงสร้างของภาคตัดขวางต่างๆที่แน่นอน โดยทั่วไปแล้วในการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าในสายส่งต่างๆนั้นมักจะสมมติให้สายส่งเหล่านี้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าตามแนวความยาวที่แน่นอน โดยกำหนดให้มีการกระจายค่าทางไฟฟ้าเหล่านี้ได้อย่างสม่ำเสมอจนตลอดทั้งเส้น ดังนั้นจึงมักเรียกสายส่งเหล่านี้ว่าสายส่งสัญญาณไฟฟ้าแบบราบเรียบสม่ำเสมอ (Uniform transmission lines) โดยมีตัวอย่างของสายส่งประเภทนี้ดังรูปที่ 2.2

2.4.1 สายส่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้นำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

สายตัวนำคู่ขนานมักใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟช่วงความถี่ต่ำเท่านั้น ข้อจำกัดหลักนี้ได้มาจากการสูญเสียในการกระจายคลื่นซึ่งเป็นการสูญเสียเนื่องมาจากสารไดอิเล็กตริกและปรากฏการณ์ความลึกผิว (Skin depth) ที่ย่านความถี่เหนือ 200 MHz สายโคแอกเซียลจะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ความถี่สูงกว่านี้

สายโคแอกเซียลมีการพัฒนาในเรื่องการลดการสูญเสียพลังงานในการเคลื่อนที่ของคลื่นจากโครงสร้างการฉลิดของสายที่เป็นตัวนำทรงกระบอกหุ้มรอบแกนตัวนำด้านใน แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากฉนวนไดอิเล็กตริกภายในและปรากฏการณ์ความลึกผิวอยู่ดี

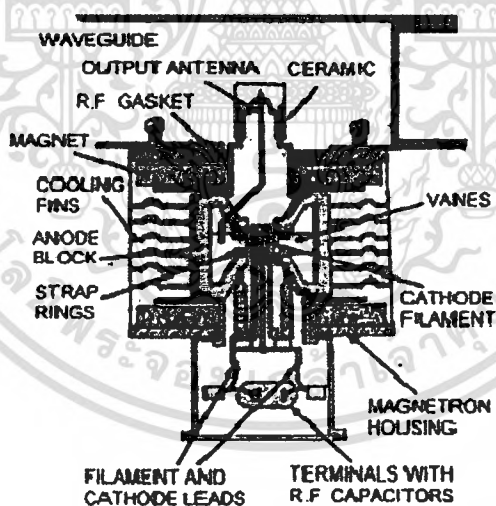
ท่อนำคลื่นหรือเวฟไกด์จัดเป็นสายส่งย่านความถี่ไมโครเวฟหรือเป็นท่อนำคลื่นในย่านความถี่สูงที่ดีที่สุดสำหรับโครงสร้างทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว ท่อนำคลื่นที่ใช้งานได้มีการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมกับย่านความถี่ที่ใช้งาน โครงสร้างตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.3 แต่เนื่องจากคลื่นเดินทางท่อนำคลื่นทั้งไปนั้นไม่อาจจะเป็นเพียงแค่มอดพื้นฐาน TEM บริสุทธิ์เท่านั้นแต่มีโหมดการเคลื่อนที่แบบอื่นๆอีกที่สามารถเคลื่อนที่อยู่ในท่อนำคลื่นนั้นๆได้ ดังนั้นการวิเคราะห์คลื่นบนท่อนำคลื่นจะต้องคำนึงถึงโหมดการเดินทางของเคลื่อนที่โหมดอื่นๆที่สามารถจะเป็นไปได้คือโหมด TM กับ TE



รูปที่ 2.3 ท่อนำคลื่นแบบต่างๆ

2.5 Magnetron (ส่วนกำเนิดคลื่น)

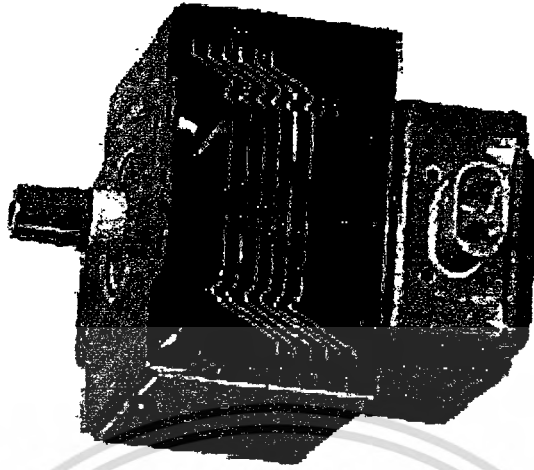
หลอดแมกนีตรอนซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ในโครงงานนี้จะมีลักษณะ โดยทั่วไปแสดงดังรูป 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบต่างๆของหลอดแมกนีตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

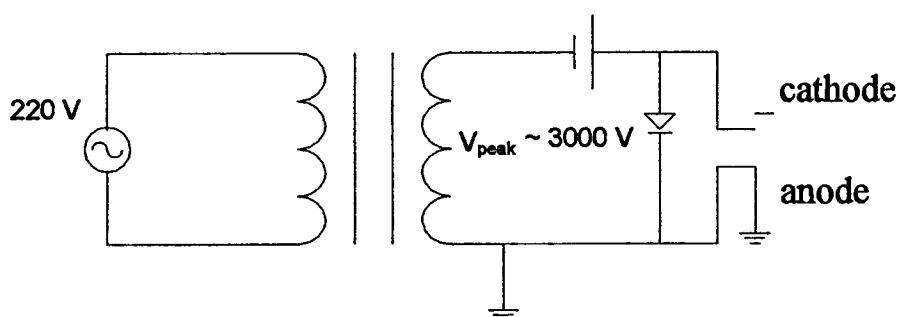
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



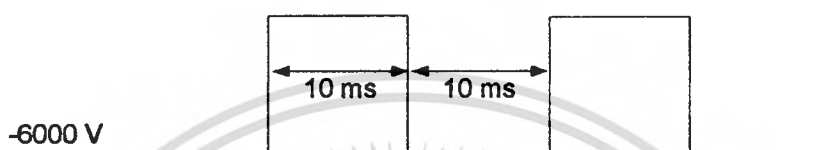
รูปที่ 2.5 หลอดแมกนีตรอน

โครงสร้างภายในของหลอดแมกนีตรอนประกอบด้วยไส้หลอด (Filament) คาโทด (Cathod) ซึ่งเป็นขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอด และถูกบรรจุอยู่ในช่องสุญญากาศซึ่งส่วนของผนังรอบๆ จะทำหน้าที่เป็นขั้วแอนอด (Anode) คลื่นไมโครเวฟที่ถูกกำเนิดขึ้นจะถูกส่งออกมาภายนอกโดยผ่านสายอากาศที่มีลักษณะเป็นโพรบ (Probe Antenna) ในการทำงานของหลอดแมกนีตรอนนั้น หลอดแมกนีตรอนจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ ให้กับไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของหลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับขั้วแอนอด ก็จะทำให้อิเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร และเมื่อความต่างศักย์มีค่าสูงจนถึงค่าหนึ่งก็จะทำให้หลอดแมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในของช่องสุญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วแอนอด ซึ่งทำให้มีความเหมาะสมที่จะทำให้หลอดแมกนีตรอนสามารถกำเนิดคลื่นออกมาที่ความถี่ 2.45 GHz ออกมาในขณะที่จ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ให้กับไส้หลอดอยู่นั้น แรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายให้อานอดกับคาโทดจะต้องมีค่าสูงประมาณ -4000 โวลต์ จึงจะทำให้หลอดแมกนีตรอนปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ เตาไมโครเวฟโดยทั่วไป จะมีชุดจ่ายชุดจ่าย-แรงดันไฟฟ้าแรงสูงซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลงแบบแปลงขึ้น (Step up transformer) ซึ่งมีแรงดันด้านขดทุติยภูมิสูงสุด (V_{peak}) ประมาณ 3,000 โวลต์ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ 220 โวลต์ และต่อเข้ากับไดโอดและตัวเก็บประจุในลักษณะวงจรทวิแรงดัน 2 เท่าดังรูปที่ 2.6 โดยใช้ไดโอดและตัวเก็บประจุไฟฟ้าแรงสูงในขณะที่ยังไม่ต่อชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้านี้ให้แก่แมกนีตรอน จะวัดค่าแรงดันสูงสุดตรงขาออกได้เท่ากับ -6,000 โวลต์ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของวงจรทวิแรงดัน โดยจะมีลักษณะเป็นพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

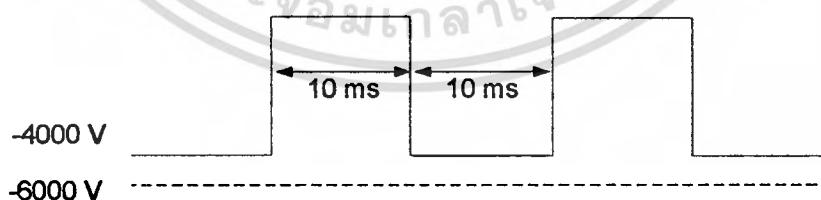


รูปที่ 2.6 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแมกนีตรอน ซึ่งเพิ่มแรงดันเป็นสองเท่า



รูปที่ 2.7 ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จะจ่ายให้กับแมกนีตรอน

การทำงานของวงจรทวีแรงดันในรูปที่ 2.6 จะมีลักษณะคือ ขณะที่แรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงมีค่าเป็นบวก ($V_{\text{peak}} = 3,000$ โวลต์) ไดโอดก็จะนำกระแสและตัวเก็บประจุจะทำการประจุกระแสไว้ ในขณะที่แรงดันที่ตกคร่อมคาโทดและอานอดมีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงเปลี่ยนเป็นลบ ไดโอดก็จะหยุดนำกระแส ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมคาโทดและอานอดเป็นแรงดันไฟฟ้ารวมของแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแลแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงซึ่งเท่ากับ $-6,000$ โวลต์เมื่อต่อวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้างดกล่าว ดังรูปที่ 2.6 เข้ากับแมกนีตรอนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม อานอดและคาโทดจะลดเหลือ $-4,000$ โวลต์ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าผลต่างประมาณ $-2,000$ โวลต์ จะเปลี่ยนเป็นกำลังของคลื่นไมโครเวฟสูงสุดที่ถูกส่งออกมา ซึ่งคลื่นไมโครเวฟที่ถูกส่งออกมาก็จะมีลักษณะเป็นพัลส์เช่นเดียวกับรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแมกนีตรอนจะมีค่าคงที่เท่ากับ -4000 โวลต์

2.6 สมการความร้อนในทางชีววิทยา (The Bio-heat Equation)

ในการวิเคราะห์ด้วยความถี่ไมโครเวฟได้พิจารณาถึงสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปอด การดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปอด ซึ่งรูปแบบของสมการ หรือตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อน [13-14] ในปอดแสดงดังสมการที่ (2.28)

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(k \cdot \nabla T) - h_b c_b \omega_b (T_b - T) + Q_m + Q_{ext} \quad (2.28)$$

เมื่อ $h_b = \rho_b c_b \omega_b$

ρ	=	ความหนาแน่นจำเพาะของเนื้อเยื่อ (kg/m^3)
c	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเนื้อเยื่อ ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
k	=	ค่าความนำความร้อนของเนื้อเยื่อ ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)
h_b	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากเลือดที่ไหลซึมอยู่ในเนื้อเยื่อ
ρ_b	=	ความหนาแน่นเลือด (kg/m^3)
c_b	=	ค่าความร้อนจำเพาะของเลือด ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)
ω_b	=	อัตราฉีดเลือด (ml/s)
z	=	ค่าอุณหภูมิเลือด (37°C)
Q_m	=	ค่าความร้อนจากกระบวนการเมตาโบลิซึมของเม็ดเลือด (W/m^3)
Q_{ext}	=	ค่าความร้อนจากภายนอก (W/m^3)

จากสมการความร้อนทางชีวภาพ (2.28) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ละทิ้งค่าตัวแปรจำนวน 2 ตัว คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากเลือดที่ไหลซึมอยู่ในเนื้อเยื่อ (h_b) และพลังงานที่สร้างขึ้นโดยกระบวนการเมตาโบลิซึมของเม็ดเลือด (Q_m) ซึ่งค่าตัวแปรทั้ง 2 นี้ จะถือว่ามีย่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณ Q_{ext}

เนื่องจากการทดลองจริงจะใช้เนื้อเยื่อปอดหมูภายนอกร่างกาย (*in vitro*, deflated) ดังนั้นค่า $h_b c_b \omega_b$ ของเลือดจึงไม่นำมาคิด

2.6.1 สมการการดูดซับความร้อน

พิจารณาจาก สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก ที่มีการแพร่กระจายลงเนื้อเยื่อปอด จะเกิดการสูญเสียพลังงานในเนื้อเยื่อปอด [15] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสมการ ดังสมการที่ (2.29) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SAR = \frac{1}{\rho} Q_{ext} = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 \quad (2.29)$$

เมื่อ

SAR	=	Specific absorption rate (W/kg)
Q_{ext}	=	ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกเนื้อเยื่อ (W/m ³)
σ	=	สภาพความนำไฟฟ้าของเนื้อเยื่อ (S/m)
ρ	=	ความหนาแน่นจำเพาะ (kg/m ³)

2.7 โรคมะเร็งปอด

ปอดมีอยู่สองข้าง วางอยู่ในทรวงอก มีรูปร่างคล้ายกรวย มีปลายหรือยอดชี้ขึ้นไปข้างบน และไปสวมพอดีกับช่องเปิดแคบๆของทรวงอก ซึ่งช่องเปิดแคบๆนี้ประกอบขึ้นด้วยซี่โครงบนของกระดูกสันอกและกระดูกสันหลัง ฐานของปอดแต่ละข้างจะใหญ่และวางแนบสนิทกับกระบังลม ระหว่างปอด 2 ข้าง จะพบว่ามีหัวใจอยู่ ปอดข้างขวาจะโตกว่าปอดข้างซ้ายเล็กน้อย และมีอยู่ 3 ก้อน ส่วนข้างซ้ายมี 2 ก้อน หน้าที่ของปอดคือ การนำก๊าซ CO₂ ออกจากเลือด และนำออกซิเจนเข้าสู่เลือด ปอดจึงมีรูปร่างใหญ่ มีลักษณะยืดหยุ่นคล้ายฟองน้ำ

ในประเทศไทยมะเร็งปอด (lung cancer) เป็นโรคที่เป็นสาเหตุการตายในอันดับต้นๆ ทั้งในเพศชายและหญิง สถิติจากสถาบันมะเร็งแห่งชาติ พบว่าคนไทยเป็นโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว องค์การอนามัยโลกประมาณการณ่ว่า ในแต่ละปีทั่วโลกมีผู้ป่วยใหม่เพิ่มขึ้น 1.2 ล้านคน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้ข้อมูลทั่วโลกยังพบว่า มะเร็งปอดเป็นโรคที่มีจำนวนผู้ป่วยและเสียชีวิตมากที่สุดอันดับ 1 ใน 5 ทุกประเทศ โรคมะเร็งปอดพบมากในคนอายุ 50-75 ปี เพศชายพบมากกว่าเพศหญิง พบมากในภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งนิยมสูบบุหรี่พื้นเมือง ชีโย หรือยาหมวน ซึ่งมีปริมาณ ทาร์และสารก่อมะเร็งอื่นๆ สูง ผลการวิจัยของคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบชาวบ้านในพื้นที่อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ ป่วยเป็นโรคมะเร็งปอดจากหมอกควันพิษและเสียชีวิตมาก เป็นอันดับหนึ่งของประเทศ สาเหตุเพราะสภาพพื้นที่เป็นแอ่งกระทะ และความกดอากาศสูง ทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กต่ำกว่า 2.5 ไมครอน กระจายอยู่ในพื้นที่ราบแอ่งกันกระทะ รวมทั้งสูดดมก๊าซเรดอน จากแร่ธาตุยูเรเนียม ที่มีอยู่มากผิดปกติกระจายตัวได้พื้นดินสู่ผิวดิน ซึ่งชาวบ้านส่วนใหญ่ปลูกบ้านติดกับผิวดิน ทำให้สูดดมก๊าซเรดอน โดยไม่รู้ตัว ผลการวิจัยพบผู้ป่วยมะเร็งปอดสูงถึง 80-90 ต่อแสนประชากร และเสียชีวิตถึง 40 ต่อแสนประชากร ซึ่งสูงเป็น 5 เท่าของค่าเฉลี่ยทั้งประเทศ

สาเหตุ

1. การสูบบุหรี่จัดเป็นเวลานาน ๆ

2. มีส่วนสัมพันธ์กับการเป็นมะเร็งปอด กล่าวคือ 80% ของผู้ที่เป็นมะเร็งปอดสูบบุหรี่จัด ซึ่งเกณฑ์ที่ถือว่าสูบบุหรี่จัด ได้แก่ การสูบบุหรี่ อย่างน้อยวันละ 20 มวน ติดต่อกัน 20 ปี ขึ้นไป หรือ อย่างน้อย วันละ 10 มวน สูบติดต่อกันประมาณ 30 ปีขึ้นไป ผู้ป่วยส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80 จะเป็นผู้ที่สูบบุหรี่ และประมาณร้อยละ 5 จะเป็นผู้ที่ต้องสูดดมควันบุหรี่จากผู้อื่น การสูบบุหรี่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมะเร็งปอด ในบุหรี่ 1 มวนจะมีสารซึ่งเป็นส่วนประกอบประมาณ 4,000 ชนิด และในจำนวนนี้จะมีประมาณ 60 ชนิดที่เป็นสารพิษหรือสารก่อมะเร็ง สารเหล่านี้เมื่อผ่านเข้าปอด จะทำลายเซลล์ปอดทำให้เกิดความผิดปกติของเซลล์ เมื่อระยะเวลาผ่านไปเซลล์เหล่านี้จะกลายเป็นเซลล์มะเร็ง โอกาสในการเกิดมะเร็งปอดในผู้สูบบุหรี่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุที่เริ่มสูบบุหรี่ ระยะเวลาที่สูบบุหรี่ จำนวนบุหรี่ที่สูบในแต่ละวัน และความลึกในการสูบบุหรี่เข้าปอด จากข้อมูลพบว่าผู้ที่สูบบุหรี่จะมีความเสี่ยงในการเกิด โรคมะเร็งมากกว่าผู้ไม่สูบบุหรี่ถึง 10 เท่า และถ้าสูบบุหรี่วันละ 1 ซอง หรือ 20 มวน โอกาสเสี่ยงในการเกิดมะเร็งปอดจะเพิ่มเป็น 20 เท่า การหยุดสูบบุหรี่จะช่วยลดการเสี่ยงในการเกิด โรคมะเร็งปอดได้และจะเห็นผลชัดเจนเมื่อหยุดสูบบุหรี่ได้นานมากกว่า 5 ปี ขึ้นไปการสูบบุหรี่หรือ ไปปีมีความเสี่ยงต่อการเกิด โรคมะเร็งปอดมากกว่าคนปกติเช่นกัน ระยะเวลาที่สูบ ปริมาณแต่ละวัน และความลึกของการสูบ ล้วนมีผลต่อการเกิด โรคมะเร็งปอดมากน้อยต่างกัน สำหรับผู้ที่ไม่ได้สูบบุหรี่เข้าปอดก็ยังมีความเสี่ยงต่อการเกิด โรคมะเร็งปอดในช่องปาก ได้อีกด้วย

3. ผู้ที่สูบบุหรี่และเป็น โรคปอดอุดกั้นเรื้อรังจะยิ่งเพิ่มปัจจัยเสี่ยงต่อมะเร็งปอด ผลเป็นในปอด อันเป็นผลมาจากการเป็น โรคเรื้อรังมานาน เช่น วัณโรคปอด อาจจะเป็นจุดก่อให้เกิดมะเร็งได้

4. ผู้ป่วยส่วนน้อยอีก 10-15% ที่ไม่สูบบุหรี่อาจมีประวัติได้รับสารก่อมะเร็งบ่อยๆ

5. มลภาวะในอากาศจากอุตสาหกรรม โลหะหนัก ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับเหมืองแร่ เช่น แอสเบสตอส แร่เรดอน เชื้อหิน (asbestos) พบได้ในเหมืองหรือ โรงงานที่ผลิตหรือใช้สารนี้ เช่น โรงงานที่ผลิตหรือใช้สารนี้ เช่น โรงงานผลิตผ้าเบรค คลัทช์ ฉนวนกันความร้อน และโรงงานทอผ้า ละอองของสารเชื้อหินสามารถลอยในอากาศ เมื่อสูดดมเข้าไปสารจะไปตกค้างในปอด ทำอันตรายต่อเซลล์ปอด ทำให้เกิด โรคมะเร็งปอดตามมา ผู้ที่สูดดมสารนี้จำนวนมากมีโอกาสเกิด โรคมะเร็งปอดได้มากกว่าคนปกติถึง 3 – 4 เท่า ผู้ที่สูดดมเอาสารแอสเบสตอส ซึ่งพบในฉนวนกันความร้อนในบ้าน ผ้าเบรค และคลัทช์ ก๊าซเรดอน (radon) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส เป็นก๊าซธรรมชาติที่พบในดินและก้อนหิน ก๊าซชนิดนี้สามารถทำอันตรายต่อปอดและทำให้เกิด โรคมะเร็งปอดได้ ผู้ที่ทำงานในเหมืองอาจได้รับอันตรายจากก๊าซนี้ได้แอสเบสตอส นิเกิล และสารกำมันตรังสี

6. ควันมลภาวะในสิ่งแวดล้อม ความสกปรกของอากาศในเมืองใหญ่ ๆ ทำให้ภาวะอากาศเป็นพิษ เกิดจากควันดำของท่อไอเสีย ควันพิษจาก โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

7. ปัจจัยทางพันธุกรรมมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็งปอด ปัจจุบันเชื่อว่าเป็นผลร่วมกันจากลักษณะเสี่ยงทางพันธุกรรม กับ สารที่ระคายต่อเซลล์ของปอดจากภายนอก ที่สำคัญคือ สารพิษจากควันบุหรี่ สารกัมมันตภาพรังสี และอาจจะเกี่ยวข้องกับการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ

8. การรับประทานอาหารเสริมวิตามินอีในปริมาณมากๆ เพิ่มความเสี่ยงเป็นมะเร็งปอด การรับวิตามินอีเพิ่มขึ้นทุกๆ 100 มิลลิกรัม/วัน จะเพิ่มความเสี่ยงเป็นมะเร็งปอด ร้อยละ 7

เซลล์มะเร็งปกติเซลล์ต่างๆ ในร่างกายเมื่อเสื่อมและตาย ร่างกายก็จะสร้างเซลล์ใหม่มาทดแทนภายใต้การควบคุมของร่างกาย แต่เมื่อไม่สามารถควบคุมได้ ร่างกายจะสร้างเซลล์ให้เติบโตขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นก้อนเนื้อที่ผิดปกติ หรือเนื้องอก แต่หากเนื้อส่วนนั้นเข้าไปแทรกแซง ทำลายอวัยวะอื่นๆ ก็จะเรียกว่า เนื้อร้ายหรือมะเร็ง

ข้อมูลทางการวิจัยพบว่า ความผิดปกติแรกเริ่มจะเกิดในระดับ โครโมโซมของเซลล์ ซึ่งในเซลล์ที่เป็นปกติอยู่จะสามารถแก้ไขความผิดปกตินั้นได้เอง แต่เมื่อใดก็ตามที่เกิดความผิดปกติบ่อยครั้งขึ้น หรือเซลล์นั้นไม่สามารถแก้ไขความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ก็จะทำให้เกิดเซลล์ที่ผิดปกติอย่างถาวร ซึ่งจะเจริญเติบโตแบ่งตัวได้อย่างรวดเร็วกลายเป็นเซลล์มะเร็งในที่สุด

โรคมะเร็งปอดแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้สองกลุ่มคือ non-small cell lung cancer (NSCLC) และ small cell lung cancer (SCLC) ซึ่งมะเร็งปอดทั้งสองกลุ่มนี้จะมีการเจริญเติบโต และแพร่กระจายของโรคแตกต่างกัน วิธีที่ใช้รักษาจึงมีความแตกต่างกัน

non-small cell lung cancer (NSCLC) เป็นมะเร็งปอดที่พบได้บ่อยกว่า small cell lung cancer (SCLC) แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 3 ชนิด คือ squamous cell carcinoma (epidermoid carcinoma) , adenocarcinoma และ large cell carcinoma

small cell lung cancer (SCLC) เป็นกลุ่มมะเร็งที่พบได้น้อยกว่า non-small cell lung cancer (NSCLC) แต่มะเร็งกลุ่มนี้จะมีการเจริญเติบโตได้เร็วและมีการแพร่กระจายไปยังอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายได้บ่อยกว่ากลุ่ม non-small cell lung cancer (NSCLC)

ชนิดของมะเร็งปอด

ในส่วนของมะเร็งปอด มักเกิดจากเซลล์ของเยื่อหุ้มหลอดลม แบ่งได้ 2 กลุ่ม

1. กลุ่มมะเร็งชนิดที่มีเซลล์ขนาดเล็ก พบได้ร้อยละ 15-20 เป็นก้อนเล็กที่มักจะใช้ยาเคมีบำบัดในการรักษา

2. กลุ่มมะเร็งชนิดเซลล์ขนาดใหญ่ พบสูงถึงร้อยละ 80 ของมะเร็งปอด ก้อนเนื้ออยู่ได้นานกว่าชนิดแรก มักจะพบในปอดส่วนกลางใกล้ขั้วปอด ในผู้ที่สูบบุหรี่จัด ถัดไปมักพบที่ปอดส่วนนอก ของคนที่ไม่ได้สูบบุหรี่ บางครั้งเป็นผลจากการเป็นแผลที่ปอด เช่น แผลวัณโรค แผลปอดบวม

อาการ

มะเร็งปอดส่วนใหญ่จะเริ่มค้นที่เยื่อผนังหลอดลม ทำให้อาจมีอาการไอ หายใจลำบาก ไอ เป็นเลือด ปอดอักเสบบ่อยๆ เจ็บลึกที่หน้าอก และอาการเสียงแหบ เป็นต้น ผู้ป่วยในระยะเริ่มแรก อาจไม่แสดงอาการใดๆ ทำให้ผู้ป่วยมาพบแพทย์ในระยะ โรคตุ่มและ โอกาสรักษาหายขาดลดลง ผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดบางราย อาจมีอาการแรกเริ่ม คือ ไอเรื้อรัง มีไข้โดยไม่ทราบสาเหตุ น้ำหนักตัว ลด เสียงแหบ เสมหะมีเลือดปน และหายใจหอบเหนื่อย เจ็บหน้าอก เพลีย เบื่ออาหาร น้ำหนักลด ส่วนใหญ่เมื่อผู้ป่วยมีอาการข้างต้นก็ยังไม่ยอมพบแพทย์เพื่อตรวจ จนทำให้ร้อยละ 85 เสียชีวิตในเวลาต่อมา ผู้ป่วยเป็นมะเร็งปอดในระยะเริ่มแรกมักไม่แสดงอาการ ต้องมีอาการรุนแรงหรือรู้ตัวอีกทีมะเร็งก็อยู่ในระยะลุกลามและแพร่กระจายแล้ว ดังนั้น ผู้ป่วยมะเร็งปอดกว่า 90 % จึงเสียชีวิตภายใน 1 - 2 ปี ระยะเริ่มแรกของโรค ไม่มีอาการใดๆ ที่บ่งชี้ได้อย่างชัดเจนว่าเป็นมะเร็งปอด แต่อาจพบอาการ ไอเรื้อรัง

การวินิจฉัย

1. ถ่ายภาพเอกซเรย์ปอด

2. ตรวจเสมหะที่ไอออกมาเพื่อหาเซลล์มะเร็ง การตรวจเสมหะเพื่อหาเซลล์มะเร็งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการวินิจฉัย โรคมะเร็งปอดและเมื่อต้องการยืนยันผลการวินิจฉัยในกรณีที่ยังไม่ทราบแน่ชัด จะต้องมีการตัดเนื้อเยื่อมาตรวจเพิ่มเติม

3. ต่อกิ่งกล้องตรวจภายในหลอดลม แพทย์จะทำการต่อกิ่งกล้องซึ่งมีขนาดเล็ก ผ่านทางช่องปาก หรือจมูกเข้าไปในท่อหลอดลมลงไปยังหลอดลมย่อย และสามารถเก็บเสมหะหรือตัดก้อนเนื้อออกผ่านทางกล้องนี้ได้เพื่อนำไปตรวจวินิจฉัย

4. ใช้เข็มเจาะปอดแทงผ่านผนังทรวงอก โดยการแทงเข็มผ่านผิวหนังที่บริเวณทรวงอกไปยังก้อนที่ปอดเพื่อตัดชิ้นเนื้อมาตรวจ การเจาะน้ำในช่องปอดในกรณีที่มือน้ำในช่องปอด สามารถใช้เข็มแทงผ่านเข้าไปในช่องปอด เพื่อนำน้ำในช่องปอดมาตรวจหาเซลล์มะเร็งได้

5. ขลิบชิ้นเนื้อจากหลอดลม หรือต่อมน้ำเหลืองเหนือไหปลาร้า เพื่อการวินิจฉัยทางพยาธิวิทยา บางรายอาจต้องทำการผ่าตัดทรวงอกเป็นการผ่าตัดเปิดเข้าไปในช่องทรวงอก เพื่อตัดเนื้อเยื่อที่สงสัยมาตรวจ ซึ่งเป็นการผ่าตัดใหญ่ วิธีนี้จะทำก็ต่อเมื่อไม่สามารถทำด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นได้ เมื่อปี พ.ศ. 2550 นักวิทยาศาสตร์จากเมืองไทเป ได้ค้นพบ ประสิทธิภาพสำเร็จในการพัฒนาชุดตรวจมะเร็งปอด โดยได้วิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อเยื่อปอดที่นำมาจากผู้ป่วยมะเร็งปอด 125 ราย ซึ่งอยู่ระหว่างการรักษา และแยกเอาชิ้นที่เกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็งปอด มาใช้พัฒนาวิธีตรวจวินิจฉัย โดยใช้เทคโนโลยีไมโครอาร์เรย์ (DNA Microarray) ด้วยเทคโนโลยีนี้ ทำให้ทีมวิจัยวินิจฉัยชิ้นที่เกี่ยวข้องกับมะเร็งปอดได้ถึง 672 ชิ้น ในจำนวนนี้มีชิ้นสำคัญ 4 ชิ้นที่เกี่ยวข้องกับโอกาสของการหายจากโรค และชิ้นสำคัญอีก 12 ชิ้น ที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงในการเกิดโรค ความรู้ที่ได้จากการศึกษาชิ้นที่เกี่ยวข้องกับโรค นำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับชุดตรวจวินิจฉัยมะเร็งปอดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเซอร์viceขอให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีทำให้แพทย์วินิจฉัยว่าผู้ป่วยมะเร็งปอด เป็นมะเร็งในระยะใด แม้กระทั่งในระยะที่ยังไม่มีอาการ ซึ่งเชื่อมโยงไปสู่วิธีการรักษาด้วยวิธีต่างๆ อย่างเหมาะสม

การรักษาโรคมะเร็งปอดมีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

การผ่าตัด

การผ่าตัดเอาเนื้อปอดออกจนกว่าจะหมดแล้ว แต่จริง ๆ แล้วไม่ได้ยุ่งยาก จนเกินไป สามารถทำได้ด้วยความปลอดภัย ถ้าศัลยแพทย์นั้นมีความชำนาญ เนื้อปอดมีถึง 2 ซ้ำ และแต่ละซ้างยังมีหลายส่วน ถ้าบางส่วนถูกตัดออกไปหรือ แม้แต่ตัดออกไปทั้งซ้าง ผู้ป่วยก็สามารถดำรงชีพอยู่ได้อย่างปกติหลังจาก ที่แผลผ่าตัดหายดีแล้ว และไม่ถือว่าเป็นความพิการแต่อย่างใด

ความร้อน

วิธีการทำลายก้อนมะเร็งด้วยคลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟ ทำได้โดยใช้เข็มแบบพิเศษ ขนาดเท่ากับ ไม้ปากกาถูกคลื่น ความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร แทะผ่านผิวหนังเข้าไปใน ก้อนมะเร็งโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์หรือเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่วยนำทาง ต้องวางจรวดกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า(generator)เมื่อปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(generator) ผ่าน เข้าไปในเข็ม ซึ่งส่วนปลายเข็มเป็นขั้วไฟฟ้า (Electrode) และใช้การเหนี่ยวนำไฟฟ้าจากเครื่อง ทำให้ เกิดคลื่นความถี่สูงประมาณ 375-500 KHz ในคลื่น วิทยุ และ 2.45 GHz ในคลื่น ไมโครเวฟ จะทำให้ โมเลกุลของเนื้อเยื่อรอบๆ เข็มสั่นสะเทือนและเสียดสีกันจนเกิดความร้อน (Friction heat) ซึ่งจะแผ่ กระจายออกไปรอบๆจนครอบคลุมก้อนมะเร็งทั้งก้อน จากการศึกษาพบว่าความร้อนที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสสามารถทำให้เซลล์ตายได้

การรักษาด้วยรังสีบำบัด

จะต้องใช้เวลาประมาณ 1 - 2 เดือน หรือ ประมาณ 20 - 30 แสง ระหว่างการรักษาผู้ป่วยจะ มีอาการไอบ้าง เพราะแสงจากรังสี ที่ฉายไปยังปอด ทำให้ปอดได้รับความระคายเคืองจึงทำให้ไอได้ แต่เรื่องนี้ ไม่ต้องกังวลเพราะแพทย์จะให้ยาบรรเทาอาการ ไอ เพียงให้บอกแพทย์ผู้รักษา ทราบ การ รักษาด้วยรังสีนี้จะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย คอแห้ง เมื่ออาหาร โลหิตจาง เพราะรังสีที่ฉายไปทำลาย ไชกระดูกทำให้การสร้างเม็ดเลือดน้อยลง การพยายามรับประทานอาหารจะช่วยให้ร่างกายมีกำลังที่ จะต่อสู้กับโรค ขน หรือผมบริเวณที่ถูกแสงจะร่วง แต่ถ้าไม่ได้ฉายรังสีที่บริเวณศีรษะ ก็จะไม่ทำให้ ศีรษะล้าน ซึ่งผู้ป่วยส่วนมากจะกังวลเรื่องนี้ ผิวบริเวณที่ถูกรังสีจะมีอาการปวดแสบ ปวดร้อน เสมือนถูกแดดเผา หรือตากแดดนาน ๆ อาการนี้พอหยุด ฉายรังสีไม่นานก็จะเป็นปกติ

การรักษาด้วยเคมีบำบัด

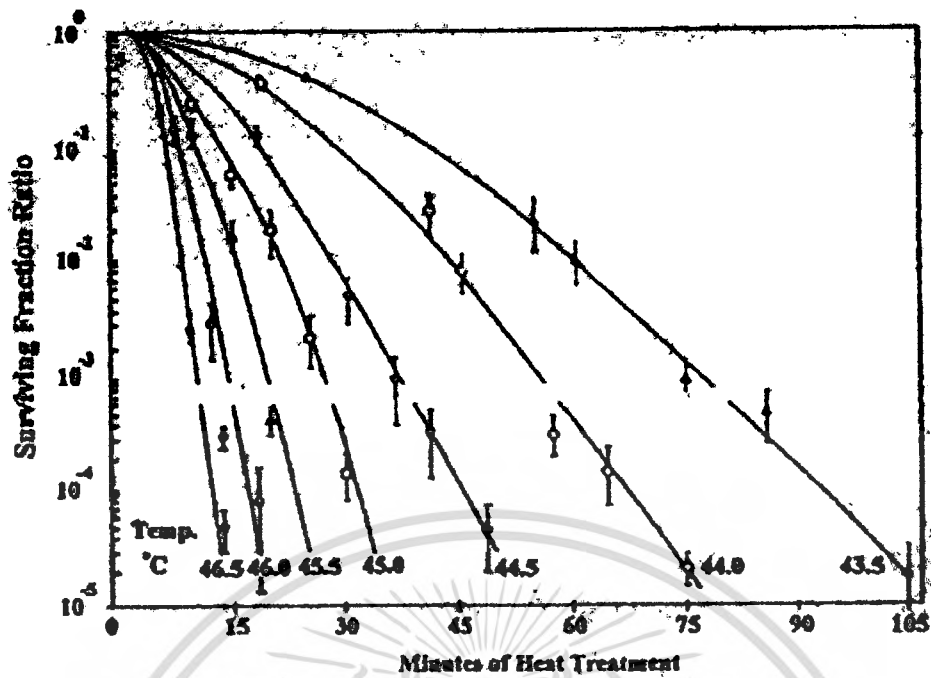
การรักษาด้วยวิธีนี้ จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก เพราะยาเคมีเป็นยาที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่ละชนิดมีราคาแพง การรักษา จะต้องให้ยาอยู่หลาย ๆ ครั้ง หรือ 3 ครั้งเป็นอย่างน้อย ส่วนมากจะ ให้ 6 ครั้ง โดยจะให้ในช่วง ๆ เช่น 3 - 4 สัปดาห์ ให้หนึ่งครั้ง ๆ ละ 4 - 5 วัน อาการข้างเคียงก็มีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น การอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน และผรุ่วง อาการคลื่นไส้ อาเจียน สมัยก่อน ผู้ป่วยจะกลัวมาก ขนาดเห็นแพทย์และ ยังไม่ทัน จะได้รับยา ก็มีอาการแล้ว แต่ในปัจจุบันนี้มียาระงับอาการคลื่นไส้ อาเจียน ที่มีประสิทธิภาพสูง แพทย์จะให้ก่อนที่จะได้รับยาเคมีบำบัด ดังนั้นเรื่อง การอาเจียนจึงไม่ต้องเป็นห่วง สำหรับผรุ่วง เมื่อหยุดการรักษาเพียง 1 - 2 เดือน ผมงก็จะขึ้นและมักจะสวยกว่าเดิมอีก จึงไม่น่าเป็นห่วง แต่ในระหว่าง ที่ให้การรักษาอยู่สามารถแก้ไขได้โดยการใส่ผมปลอม

2.8 พื้นฐานการกระจายความร้อนภายในเนื้อเยื่อ

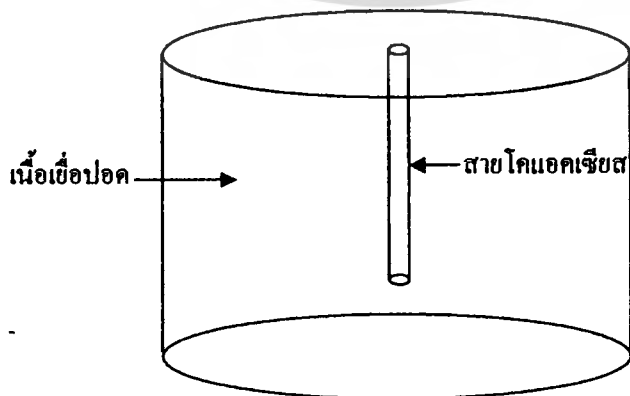
การใช้ความร้อนในการรักษาโรค เป็นการรักษาที่ทำให้อุณหภูมิ ณ บริเวณนั้น สูงขึ้นอยู่ในช่วง 41–46 องศาเซลเซียส [11–12] เซลล์ที่อยู่บริเวณนั้นๆ จะได้รับผลกระทบ และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับอุณหภูมิ การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง ได้มีการพัฒนาเทคนิค ที่เรียกว่า Hyperthermal cancer therapy ซึ่งมีการเริ่มใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 โดยการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อน เป็นรูปแบบการรักษาโรคมะเร็งแบบใหม่ ซึ่งมีพื้นฐาน และหลักการทางชีววิทยาที่สามารถพิสูจน์ ทดลอง และสามารถอธิบายได้ ซึ่งในปัจจุบันการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อนนี้สามารถรักษาโรคมะเร็งชนิดต่างๆ ได้ทั่วร่างกาย และได้ผลการรักษาที่น่าสนใจ การรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน อาศัยหลักการให้ความร้อนกับเซลล์มะเร็งอยู่ในช่วง 41–46 องศาเซลเซียส และรักษาระดับของอุณหภูมิไว้ให้คงที่ พื้นฐานของปรากฏการณ์ทางชีววิทยาสำหรับการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน จะมีอยู่สองปริมาณที่มีความสำคัญในการรักษา คือ อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งตาม รูปที่ 2.9 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่ส่งผลต่อปริมาณเซลล์มะเร็งที่ตายจากการให้ความร้อน รูปที่ 2.9 เมื่อให้อุณหภูมิสูงแก่เซลล์มะเร็งในช่วงเวลาเริ่มต้นเซลล์มะเร็งจะสูญเสียเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อมีการลดอุณหภูมิที่ให้แก่เซลล์มะเร็งผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ ต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้เซลล์มะเร็งตายในการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงๆ แก่ เซลล์ จำนวนเซลล์จะเกิดการสูญเสียมาก และจะทำให้เซลล์ปกติที่อยู่รอบๆ เซลล์มะเร็งได้รับความเสียหายได้เช่นกัน ดังนั้นในการเพิ่มอุณหภูมิให้เหมาะสมนั้นสามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้จำนวนมาก และไม่เป็นอันตรายแก่เซลล์ปกติ



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์มะเร็ง[15]

2.9 หลักการของเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง

จากรูปที่ 2.10 เป็นการแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองของการรักษาด้วยคลื่น ไมโครเวฟโดยใช้สายอากาศแบบโคแอกเซียลแบบสล็อต โดยทรงกระบอกกลมแทนเนื้อเยื่อทดสอบโดยสายอากาศโคแอกเซียลถูกแทงเข้าไปในเนื้อเยื่อทดสอบ และสายอากาศจะถูกจ่ายกำลังงานคลื่น ไมโครเวฟที่จุดบนตรงส่วนของชั้นฉนวน (Feed) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกปล่อยออกมาบริเวณสล็อต จากนั้นเนื้อเยื่อจะถูกทำให้เกิดความร้อนซึ่งเป็นไปตามสมการของซาร์ (SAR) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเดินทางในสายโคแอกเซียลอยู่ในโหมดของ TEM



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของสายอากาศแบบโคแอกเซียลในเนื้อเยื่อทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 สายอากาศแบบสล็อตโคแอกเซียล

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านสายโคแอกเซียลจะมีกระบวนการจะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้กับแบบจำลอง โดยตัวอย่างต่อไปนี้จะเป็นการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของสายอากาศแบบหนึ่งสล็อต

2.9.1 เงื่อนไขขอบเขตของพอร์ต (Port condition)

ใช้เงื่อนไขนี้สำหรับใส่ค่ากำลังของคลื่นไมโครเวฟที่จ่ายให้กับสายอากาศโดยกำหนดเป็นค่ากำลัง เช่น 5 W. โดยจะจ่ายให้กับชั้นไดอิเล็กตริกตามรูปเนื่องจากคลื่นจะเดินทางในชั้นนี้



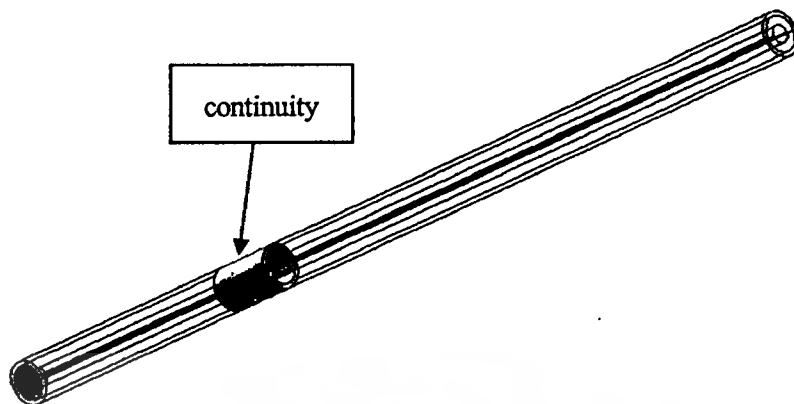
รูปที่ 2.12 แสดงจุดจ่ายกำลังงานคลื่นไมโครเวฟให้กับสายอากาศ

2.9.2 เงื่อนไขขอบเขตของความต่อเนื่อง (Continuity)

เงื่อนไขนี้เป็นเงื่อนไขที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติที่แสดงถึงความต่อเนื่องขององค์ประกอบในแนวเส้นสัมผัสของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

$$\begin{aligned} n \times (\vec{H}_1 - \vec{H}_2) &= 0 \\ n \times (\vec{E}_1 - \vec{E}_2) &= 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตต่อเนื่อง

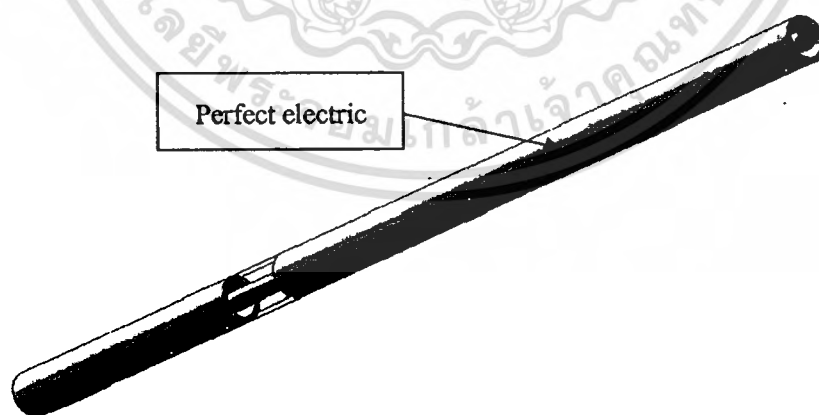
จากรูปบริเวณที่เป็นความต่อเนื่อง (continuity) จะเป็นบริเวณที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านจากตัวกลางหนึ่ง ไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง

2.9.3. เงื่อนไขขอบเขตของตัวนำ (Perfect Electric Conductor)

เป็นกรณีของเงื่อนไขที่กำหนดให้องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวขนานกับผิวตัวนำมีค่า เป็นศูนย์

$$n \times E = 0$$

(2.31)



รูปที่ 2.14 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตตัวนำ

จากสมการแสดงให้เห็นว่าไม่มีความต่างศักย์บริเวณผิวตัวนำหรือเรียกได้ว่าไม่มีเวกเตอร์

เอกสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางขนานกับผิวตัวนำ ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์

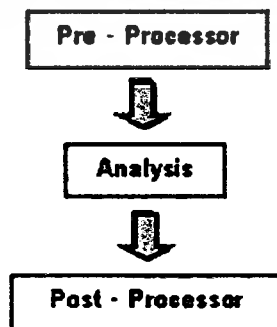
3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปเมทริกซ์สมการพื้นฐานทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่ความถี่สูง และสมการความสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิต

3.2 วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สิ่งแรกที่เริ่มเรียนรู้การใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมคือ ขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนในการใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้แก่ ขั้นตอน Pre-Processor, Analysis และ Post-Processor

1. Pre-Processor คือการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยเริ่มจากการสร้างรูปแบบจำลองของชิ้นงาน เพื่อจำลองรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์ลงในคอมพิวเตอร์โปรแกรม จากนั้นจึงสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) โดยแบ่งย่อยรูปร่างของแบบจำลองขนาดใหญ่ให้เป็นเอลิเมนต์ (Element) เล็กๆ คล้ายกับการนำเอาแผ่นกระจกชิ้นเล็กๆ มาติดลงบนโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น รูปปั้นยักษ์ตามวัดสำคัญๆ ในประเทศไทย ซึ่งทำให้มองเห็นโดยภาพรวมได้ว่าเป็นยักษ์ แต่เมื่อเข้าไปมองใกล้ๆ จะเห็นว่าเป็นกระจกแผ่นเล็กๆ ที่เรียงต่อกันอย่างเป็นระเบียบ

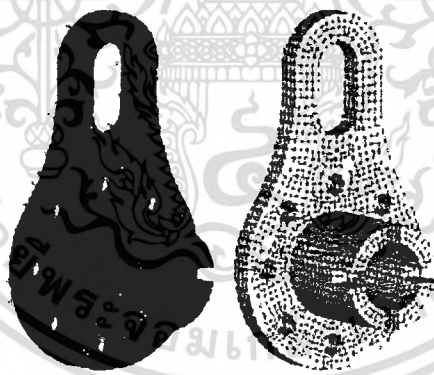


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบียบ ในลักษณะเดียวกันนี้เอง การวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ก็จะแทนรูปแบบจำลองชิ้นงานที่เราสร้างขึ้นด้วย เอลิเมนต์ขนาดต่างๆ ตามที่เรากำหนด โดยจุดมุมของแต่ละเอลิเมนต์ซึ่งเรียกว่าจุดต่อ (Node) จะเป็นจุดเชื่อมต่อของแต่ละ เอลิเมนต์เข้าด้วยกัน กลายเป็นรูปร่างตามแบบจำลองที่เราต้องการวิเคราะห์ นอกจากการเตรียมรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์แล้ว ขั้นตอน Pre-Processor ยังรวมถึงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา (Boundary Conditions) เช่น การกำหนดขอบของรูปแบบจำลองที่ไม่มีการเคลื่อนที่ แต่สามารถหมุนรอบตัวเองได้ในแกนใดๆ รวมถึงการกำหนดขนาดและ ทิศทางของแรงกระทำต่อชิ้นงานที่เราจะทำการวิเคราะห์ เป็นต้น สิ่งที่ต้องจำคือกำหนดลักษณะปัญหา และเขียนสิ่งที่ต้องทำอย่างคร่าวๆ ให้เรียบร้อยอยู่บนกระดาษเสมอก่อนจะทำในคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิธีนี้ใช้ได้ผลดี เพราะทำให้รู้ว่า สิ่งที่เราต้องการคืออะไร เราต้องทำอะไร และสามารถตรวจสอบได้ทุกขณะว่าตอนนี้เราทำงานถึงขั้นตอนไหน เป็นการป้องกันข้อผิดพลาดของคน (Human error)

2. Analysis คือ การสั่งให้คอมพิวเตอร์โปรแกรมวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งในช่วงแรกผู้เขียนก็เพียงทำความเข้าใจว่าเป็นกระบวนการที่สั่งให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ เพื่อหาคำตอบที่เราต้องการ แต่สิ่งที่ผู้เขียนไม่ค่อยจะให้ความสนใจคือรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคำถามอีกมากมายในเวลาต่อมา)



รูปที่ 3.2 รูปแบบจำลองชิ้นงานและรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

3. Post - Processor เป็นขั้นตอนการแสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ส่วนมากจะแสดงค่าที่เราสนใจด้วยแถบสีหลายระดับสี เช่น ถ้าเป็นปัญหาที่วิเคราะห์เกี่ยวกับ โครงสร้าง สิ่งที่เราสนใจก็คือบริเวณที่เกิดความเค้นสูงซึ่งบริเวณนั้นก็จะมีสีแดง และค่าความเค้นที่ต่ำลงมา ด้วยการเรียงสีจากสีส้ม สีเหลือง ไปจนถึงสีชมพูที่แสดงค่าความเค้นที่น้อยที่สุด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราก็จะได้คำตอบของผลการวิเคราะห์ปัญหาในงานวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมเข้ามาช่วยในการคำนวณ เริ่มจากการสร้างรูปแบบจำลองของชิ้นงานที่จะวิเคราะห์ แล้วนำรูปแบบจำลองนั้นมาเป็นต้นแบบในการสร้างรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งการสร้างแบบจำลองมีผลต่อการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการสร้างรูปแบบจำลองให้ได้คุณภาพ เพื่อสามารถนำไปสร้างรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ต่อไป เนื่องจากรูปร่างของแต่ละเอลิเมนต์มีผลต่อการคำนวณวิเคราะห์ปัญหาที่เราสนใจ ก็เหมือนกับการคิดแผ่นกระงกกลางบนตัวอักษรดังได้กล่าวไว้ข้างต้น หรือคล้ายกับการปูกระเบื้องบนพื้นในบริเวณต่างๆ ลักษณะการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ดีจึงมิใช่เพียงการกำหนดเอลิเมนต์ที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมด้านเท่าหรือสามเหลี่ยมด้านเท่า เท่านั้น แต่ยังคำนึงถึงการเรียงตัวของแต่ละเอลิเมนต์ที่เป็นระเบียบอีกด้วย



รูปที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในป้ายบอกทางบนทางด่วน

นอกจากการสร้างรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แล้ว ในขั้นตอน Pre-Processor ยังหมายถึงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการวิเคราะห์ปัญหาที่เราสนใจ จึงต้องเข้าใจธรรมชาติและสถานะของแรงกระทำ โดยจะเกี่ยวข้องกับขนาดและทิศทางของแรงกระทำต่อชิ้นงานที่เราสนใจ ซึ่งมีผลต่อผลการคำนวณโดยตรง ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาที่ถูกต้อง จึงต้องอาศัยประสบการณ์และความเข้าใจในปัญหาที่เรากำลังจะวิเคราะห์ จึงจะได้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างแท้จริง

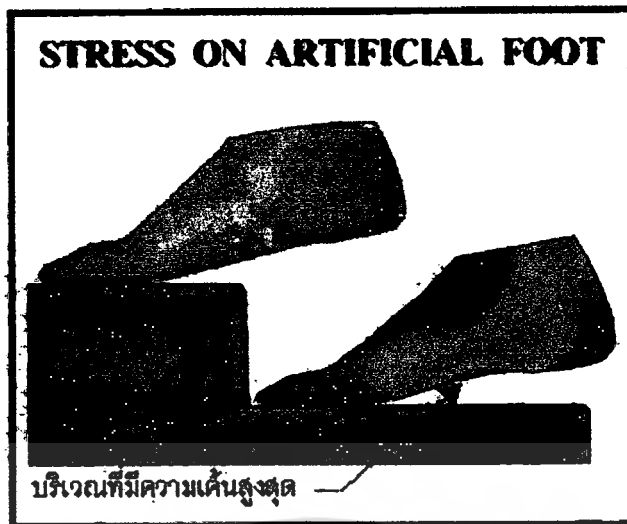
คอมพิวเตอร์โปรแกรมได้คำนวณอะไรจากรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เราส่งเข้าไปในคอมพิวเตอร์โปรแกรม รูปร่างและการจัดเรียงตัวของแต่ละเอลิเมนต์มีผลต่อการคำนวณอย่างไร ทำไมผลการวิเคราะห์จึงแสดงออกมาในรูปแบบที่ไม่เป็นไปตามผลลัพธ์ที่คาดไว้ล่วงหน้า เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดและทิศทางแรงกระทำ แล้วเหตุใดจึงได้ผลการวิเคราะห์ที่มีลักษณะต่างไปจากเดิม แล้วเราจะรู้ได้อย่างไรว่าในขั้นตอน Pre - processor นั้น เราสร้างรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้อย่างถูกต้องหรือไม่ รวมไปถึงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาได้ใกล้เคียงกับปัญหาจริงหรือไม่ เพราะนอกจากเราจะสนใจผลการเสียรูปของชิ้นงานแล้ว (สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากความเสียหายที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจริง) เรายังสนใจบริเวณที่เกิดความเค้นสูง เพราะในความเป็นจริงบริเวณที่เกิดความเค้นสูงในชิ้นงานจริงไม่ได้แสดงผลเป็นระดับสีดังเช่นการแสดงผลของคอมพิวเตอร์โปรแกรม แต่จะส่งผลให้เราเห็นก็ต่อเมื่อชิ้นงานนั้น ไม่สามารถทนต่อสภาวะการรับแรงกระทำที่มากเกินไปได้

3.2.1 องค์ความรู้ที่จะนำไปสู่ความเข้าใจ

ดังได้กล่าวมาแล้วนั้น องค์ประกอบความรู้ที่จำเป็นในการทำงานด้านการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม คือ

1. ความเข้าใจในคณิตศาสตร์ขั้นสูงทางวิศวกรรม
2. ความเข้าใจในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
3. ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข
4. ความเข้าใจในขั้นตอนของการคำนวณของคอมพิวเตอร์โปรแกรม
5. ประสบการณ์การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ และคอมพิวเตอร์ โปรแกรม

องค์ความรู้เหล่านี้จะนำเราไปสู่คำตอบของคำถามที่มีมากมายในการเริ่มต้นใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทางวิศวกรรม นอกจากจะทำให้สามารถนำองค์ความรู้ต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมได้แล้ว ยังช่วยเราทำนายพฤติกรรมของชิ้นงานที่เราสนใจได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยตรง โดยลดความเสี่ยงและการเสียเวลาสร้างชิ้นงานจริงเพื่อทดสอบดังเช่นในอดีตที่ผ่านมา นอกจากนี้ยังส่งผลไปถึงการดัดแปลงรูปร่างของชิ้นงาน เพื่อให้ได้ซึ่งรูปทรงที่ประหยัดเนื้อวัสดุแต่ยังคงความแข็งแรงในการใช้งานได้เท่าเดิม ซึ่งจะประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเราได้เรียนรู้และเข้าใจองค์ความรู้ดังกล่าว แล้วสามารถใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในเท้าเทียม

จากรูปที่ 3.4 จะเป็นผลการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในเท้าเทียม โดยใช้การไฟไนต์-เอลิเมนต์ โคนบริเวณที่มีความเค้นมากจะอยู่ปลายลูกศร แสดงออกด้วยสีแดงและสีส้มตามลำดับ

เราไม่เพียงแต่ต้องการจะสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีคุณภาพ และการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาที่ถูกต้องเท่านั้น แต่สิ่งที่ตามมาก็คือการหาความหมายว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คืออะไร สมการที่ทดแทนความเป็นจริงของปัญหาคือสมการอะไร ขึ้นตอนการคำนวณเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานที่เราสนใจเป็นอย่างไร

จะเห็นได้ว่า วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถ แสดงรายละเอียดต่างๆ ที่เราไม่สามารถมองเห็นด้วยตา หรือต้องใช้เครื่องวัดราคาแพง ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุน และค่าใช้จ่ายในการออกแบบ โครงสร้างที่เหมาะสมกับปัญหาต่างๆ ที่ต้องการแก้ปัญหา แล้วแสดงผลด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ในการคำนวณ จำเป็นต้องใช้ ประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่สูงมาก

3.3 พื้นฐานสมการทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

$$\nabla \times \{H\} = \{J\} + \left\{ \frac{\partial D}{\partial t} \right\} = \{J_s\} + \{J_e\} + \{J_v\} + \left\{ \frac{\partial D}{\partial t} \right\} \quad (3.1)$$

$$\nabla \times \{E\} = - \left\{ \frac{\partial B}{\partial t} \right\} \quad (3.2)$$

$$\nabla \cdot \{B\} = 0 \quad (3.3)$$

$$\nabla \cdot \{D\} = \rho \quad (3.4)$$

เมื่อ $\nabla \times$ = ตัวปฏิบัติการเคิร์ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\nabla \cdot$	=	ตัวปฏิบัติการ ไดเวอร์เจนซ์
$\{H\}$	=	เวกเตอร์ความเข้มของสนามแม่เหล็ก
$\{J\}$	=	เวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแสรวม
$\{J_s\}$	=	เวกเตอร์ความหนาแน่นของแหล่งกำเนิดกระแส
$\{J_e\}$	=	เวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ
$\{J_v\}$	=	เวกเตอร์ความหนาแน่นของความหนาแน่นของแส
$\{D\}$	=	เวกเตอร์ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า
$\{E\}$	=	เวกเตอร์ความเข้มของสนามไฟฟ้า
$\{B\}$	=	เวกเตอร์ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก
ρ	=	ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้า
t	=	เวลา

สมการที่ (3.5) เป็นสมการแสดงหาค่าเวกเตอร์ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

$$\{B\} = [\mu]\{H\} \quad (3.5)$$

เมื่อ $[\mu]$ = ค่าความซึมซับแม่เหล็กในรูปแบบของเมตริกซ์ (Magnetic permeability)

เมื่อสมการที่ (3.5) แสดงค่าความซึมซับแม่เหล็กในรูปแบบของเมตริกซ์

$$\{\mu\} = \mu_0 \begin{bmatrix} \mu_{rx} & 0 & 0 \\ 0 & \mu_{ry} & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{rz} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

เมื่อ μ_0 = ค่าความซึมซับแม่เหล็กในสุญญากาศ

μ_{rx} = ค่าความซึมซับแม่เหล็กสัมพัทธ์ในแนวแกน x

สมการที่ (3.7) แสดงการหาเวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแสรวม

$$\{D\} = [\sigma]\{E\} + \{V\} \times \{B\} \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.8) แสดงการหาเวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\{D\} = [\sigma][\{E\}] \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{rz} \end{bmatrix}$$

$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{rz} \end{bmatrix}$$

$$\{V\} = \begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{Bmatrix}$$

σ_{xx} = สภาพการนำไฟฟ้าในแนวแกน x มีหน่วยเป็น S/m

ε_{xx} = สภาพยินยอมทางไฟฟ้าในแนวแกน x มีหน่วยเป็น F/m

3.4 วิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่ความถี่สูง

จากสมการ (3.1) และสมการ (3.2) เป็นสมการแมกซ์เวลล์ถ้าพิจารณาในกรณีที่มีสัญญาณฮาร์โมนิกโดยเขียนในรูปของ $e^{j\omega t}$ จะได้เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในรูปสมการเฮล์มโฮลทซ์ดังสมการที่ (3.9)

$$\nabla \times [\bar{\mu}_r^{-1} \cdot (\nabla \times \bar{E})] - k_0^2 \bar{\varepsilon}_r \cdot \bar{E} = -j\omega\mu_0 \bar{J}_s \quad (3.9)$$

เมื่อ	\bar{E}	=	เวกเตอร์สนามไฟฟ้า
	$\bar{\varepsilon}_r$	=	ความยินยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์
	μ_0	=	ความซึมซับแม่เหล็กในฟริสเปซ
	$\bar{\mu}_r$	=	ความซึมซับแม่เหล็กในวัตถุ
	k_0	=	จำนวนคลื่น (vacuum wave number)
	ω	=	ค่าความถี่เชิงมุม
	\bar{J}_s	=	เวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแสแหล่งกำเนิด

จากสมการ (3.9) สามารถหาค่าของสนามไฟฟ้าได้จากสมการที่ (3.10) และหาค่าของสนามแม่เหล็กได้จากสมการที่ (3.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{W}_i E_i \quad (3.10)$$

$$\vec{H} = \frac{j}{\omega \mu_0} \vec{\mu}_r^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N \vec{W}_i E_i \quad (3.11)$$

เมื่อ	\vec{E}	=	เวกเตอร์ความเข้มของสนามไฟฟ้า
	\vec{H}	=	เวกเตอร์ความเข้มของสนามแม่เหล็ก
	E_i	=	สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเอลิเมนต์
	\vec{W}	=	รูปแบบฟังก์ชันเวกเตอร์ของเอลิเมนต์แต่ละแบบ

3.5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กับความร้อนที่ใช้ในวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ มีรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์แบบเมตริกซ์ซึ่งแสดงได้ดังสมการ 3.12

$$\begin{bmatrix} [C] & [0] \\ [0] & [0] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{T\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_c] & [0] \\ [0] & [K_v] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{T\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{Q\} \\ \{I\} \end{Bmatrix} \quad (3.12)$$

เมื่อ $\{Q\} = \{Q^{nd}\} + \{Q^g\} + \{Q^j\} + \{Q^c\}$

และ	$[C]$	=	เมตริกซ์ความร้อนจำเพาะ
	$\{T\}$	=	เอลิเมนต์ของการนำความร้อน
	$[K_c]$	=	เวกเตอร์อัตราการไหลของความร้อนที่โหนดนั้นๆ
	$[K_v]$	=	เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนภายใน
	$\{Q\}$	=	ความร้อนรวม
	$\{Q^{nd}\}$	=	เวกเตอร์อัตราการไหลของความร้อนที่โหนดนั้นๆ
	$\{Q^g\}$	=	เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนภายใน
	$\{Q^j\}$	=	เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนจากสมการด้านทานไฟฟ้า
	$\{Q^c\}$	=	เวกเตอร์การพาความร้อนที่ผิว
	$\{I\}$	=	โหนดเวกเตอร์อันเนื่องมาจากการไหลของกระแสที่โหนด

จากสมการที่ (3.12) เป็นสมการที่มีการใช้ลักษณะการคำนวณของเมตริกซ์ ที่มีความสัมพันธ์รูปแบบของอุณหภูมิ และกระแสไฟฟ้า ฟลักซ์แม่เหล็ก ในสมการค่าของพารามิเตอร์ Q' เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนจากสมการด้านทานไฟฟ้าดังสมการที่ (3.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q^J = \text{Re} \left(\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [\rho] \{U_{ti}\} \cdot \{U_{ti}\}^* \right) \quad (3.13)$$

เมื่อ	Q^J	=	ต้านทานไฟฟ้าต่อหน่วยปริมาตร
	n	=	จำนวนเอลิเมนต์ที่อินทิเกรต
	$[\rho]$	=	เมตริกซ์ของสภาพความต้านทาน
	Re	=	จำนวนจริงขององค์ประกอบ
	$\{U_{ti}\}$	=	ความหนาแน่นของกระแสรวมในแต่ละเอลิเมนต์
	$\{U_{ti}\}^*$	=	คอนจูเกตของความหนาแน่นของกระแสรวมในแต่ละเอลิเมนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

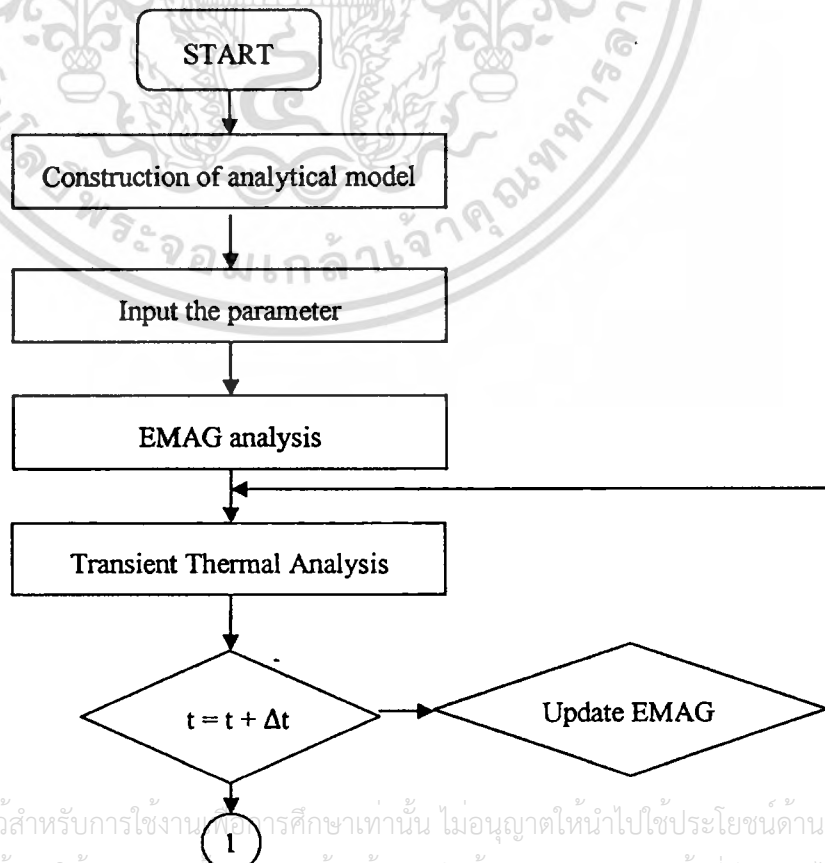
หลักการและวิธีการทดลอง

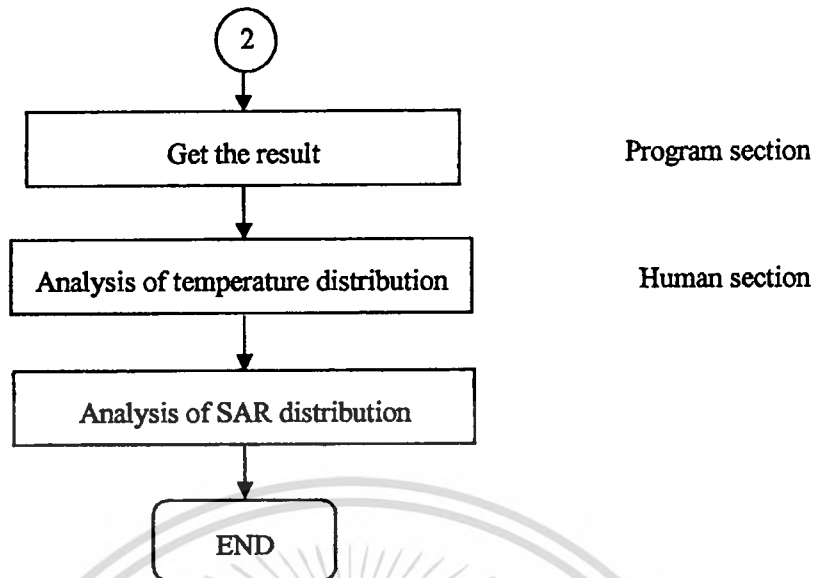
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและวิธีการที่ใช้ในการทดลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสายอากาศโคแอกเซียล ซอฟแวร์ที่ใช้ในการประมวลผล เส้นใยที่ใช้ในการจำลองคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการจำลอง ใส์เอลิเมนต์ และวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม คอมโซล (COMSOL Multiphysics)

4.2 หลักการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมโซลเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์การส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศโคแอกเซียลแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric slot) ไปยังเนื้อเยื่อปอด โดยมีหลักการวิเคราะห์ดังที่กล่าวถึงองค์ประกอบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ไปแล้วในตอนต้น ต่อไปจะแสดงถึงขั้นตอนทั้งหมดในการนำโปรแกรมคอมโซล ไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา





รูปที่ 4.1 Flow Chart แสดงถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

จากรูปเป็นกระบวนการในการวิเคราะห์ปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งปัญหาที่ทดลองเป็นปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและปัญหาทางด้านความร้อนซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ฉะนั้นเมื่อเราทำการคำนวณปัญหาจึงต้องมีการเพิ่มข้อมูลใหม่ๆ อยู่เสมอเพื่อกราฟผลลัพธ์ ณ เวลานั้นๆ จนกระทั่งครบเวลาที่เรที่ตั้งไว้จึงเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ปัญหาอย่างสมบูรณ์ จึงออกจากloopและทำการเก็บผลมาแสดงและตีความผลที่ได้

4.3 เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการแก้ปัญหา

4.3.1 เงื่อนไขทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. โหมดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางในสายโคแอกเซียลใช้เป็นโหมด Transverse Electric Mode: TEM (สนามไฟฟ้าและแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น)
2. กำลังที่จ่ายให้กับสายอากาศอยู่ในช่วงแตกต่างตามชนิดของสายอากาศ
3. เงื่อนไขขอบเขตตัวนำไฟฟ้า
 - มีสนามไฟฟ้าเฉพาะในทิศทางตั้งฉากกับผิวตัวนำเท่านั้น
 - สนามแม่เหล็กมีทิศทางขนานกับพื้นผิวของตัวนำเท่านั้น
4. อุณหภูมิเริ่มต้นที่เนื้อเยื่อปอดอยู่เริ่มที่ 37 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 เงื่อนไขปัญหาทางด้านความร้อน

เงื่อนไขปัญหาทางด้านความร้อน สนามไฟฟ้าที่ได้จากเงื่อนไขขอบเขตทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกนำมา Input ของเงื่อนไขปัญหาทางด้านความร้อน นั่นคือความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อจะมีสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามสมการ (2.22)

4.4 สายอากาศโคแอกเซียล (Coaxial Line)

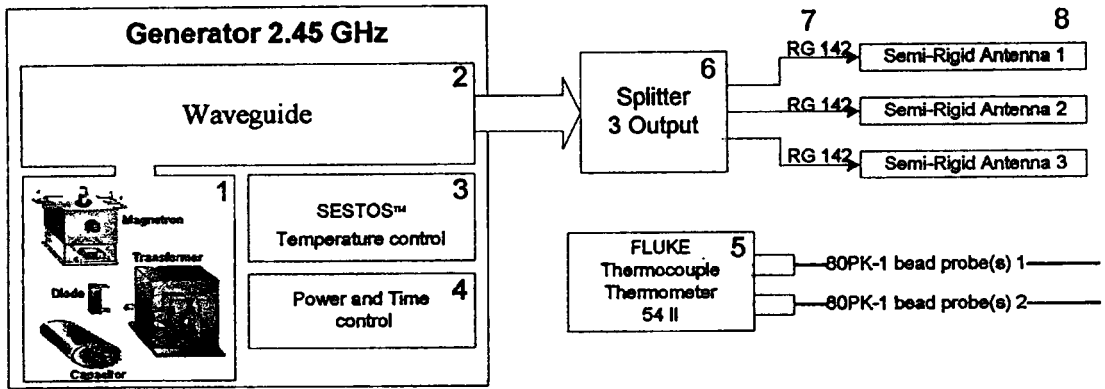
สายโคแอกเซียลมีการพัฒนาในเรื่องการลดการสูญเสียพลังงานในการเคลื่อนที่ของคลื่นจากโครงสร้างการซิดซ์ของสายที่เป็นตัวนำทรงกระบอกหุ้มรอบแกนตัวนำด้านใน แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากฉนวนไดอิเล็กตริกภายในปรากฏความลึกผิวอยู่ที่

ท่อนำคลื่นหรือเวฟไกด์จัดเป็นสายส่งย่านความถี่ไมโครเวฟหรือเป็นท่อนำคลื่นในย่านความถี่สูงที่สุดที่สุดสำหรับโครงสร้างทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว ท่อนำคลื่นที่ใช้งานได้มีการออกแบบโครงสร้างแล้วส่วนประกอบที่แตกต่างกับไปตามความเหมาะสมกับย่านความถี่ที่ใช้งาน แต่เนื่องจากคลื่นเดินทางท่อนำคลื่นทั้งไปนั้น ไม่อาจจะเป็นเพียงแค่โหมดพื้นฐาน TEM บริสุทธิ์เท่านั้น แต่มีโหมดการเคลื่อนที่แบบอื่นๆ อีกที่สามารถเคลื่อนที่อยู่ในท่อนำคลื่นนั้นๆ ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์คลื่นบนท่อนำคลื่นจะต้องคำนึงถึง โหมดการเดินทางของคลื่น โหมดอื่นๆ ที่สามารถจะเป็นไปได้คือโหมด TM กับ TE

สายอากาศแบบโคแอกเซียลประกอบด้วยตัวนำใน จะถูกหุ้มด้วยไดอิเล็กตริกและตัวนำนอกตามลำดับ คลื่นแม่เหล็กจะเดินทางในไดอิเล็กตริกโดยตัวนำนอกจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการแผ่รังสีทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานเมื่อคลื่นเดินทางผ่านสายโคแอกเซียล โดยความเข้มของสนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างตัวนำในและตัวนำนอกและระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสอง ส่วนความเข้มของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านตัวนำ ซึ่งการส่งคลื่นแม่เหล็กในงานวิจัยฉบับนี้ใช้เป็นโหมด TEM

4.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เราสร้างขึ้นและทำการวิจัยนั้นมีส่วนประกอบดังรูปด้านล่าง

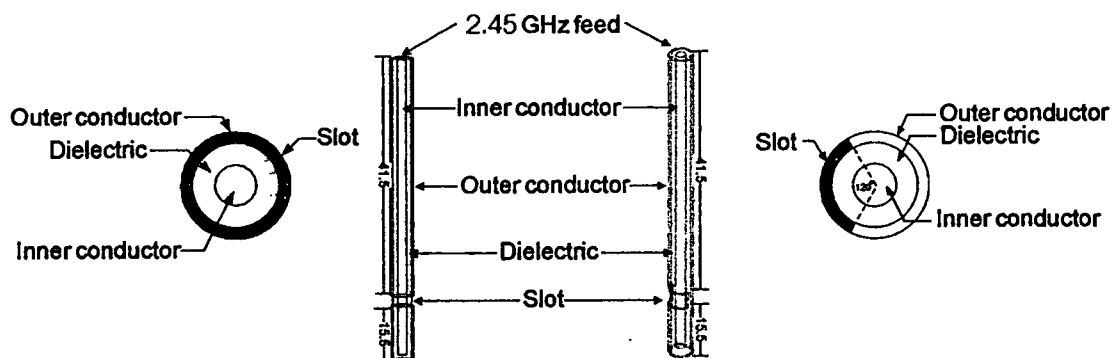


รูปที่ 4.2 แสดง โครงสร้างของเครื่อง Generator

- จากรูปที่ 4.2 จะให้เห็นถึง โครงสร้างของเครื่อง Generator โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้
1. ส่วนกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะมี หลอดแมกนีตรอน, ทรานฟอเมอร์, ไดโอด และ คาปาซิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของ เตาอบไมโครเวฟ Samsung รุ่น M181 (Thailand)
 2. ท่อนำคลื่น (Waveguide)
 3. ส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิ Digital Temperature Controller รุ่น D1S บริษัท SENTOS™ (Hong Kong).
 4. ส่วนวงจรควบคุมกำลังงานและเวลา
 5. ส่วนวัดอุณหภูมิภายนอก Thermometer รุ่น 45 II (สาย 80PK-1 bead probe) บริษัท FLUKE (China).
 6. ส่วน Splitter 3 Output
 7. ส่วนสายส่งคลื่น RG 142
 8. ส่วนเสาอากาศ Semi Rigid Coaxial

4.6 รูปแบบของสายอากาศที่ใช้ในการจำลอง

สายอากาศที่ใช้ในการทดลองเป็นสายอากาศแบบ โคแอกเซียล ซึ่งในการทดลองเราใช้ ทั้งหมดสามสายแบบเดียวกัน สายอากาศโคแอกเซียลจะประกอบไปด้วยชั้นสามชั้นด้วยกันชั้นแรก เป็นชั้นของตัวนำใน ชั้นถัดมาเป็นชั้นของ ไดอิเล็กตริก และชั้นสุดท้ายเป็นชั้นของตัวนำนอก



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) และ กึ่งสลีต (Asymmetric Slot)

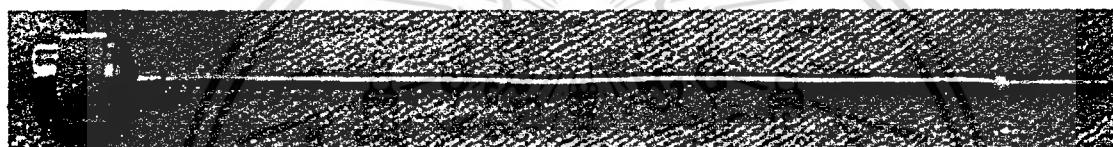
รูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า สายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) (ซ้าย) ตั้งเกตได้ว่าที่ปลายสายอากาศขึ้นมา 15.5 มม. นั้นจะเอาตัวนำนอก (Outer conductor) ออกให้เหลือแต่ตัวฉนวน (Dielectric) ซึ่งจะมีสลีตโดยรอบสายอากาศเพื่อให้คุณสมบัติกระจายรอบๆ สลีต ส่วนสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) (ขวา) จะคล้ายกับสายอากาศแบบสลีตเพียงแต่ จะมีสลีตเพียงด้านหน้าอย่างเดียว ซึ่งเปิดกว้าง 120 องศา เพื่อให้คุณสมบัติการกระจายแบบจำกัดแค่ส่วนหน้าของสลีตเท่านั้น

4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

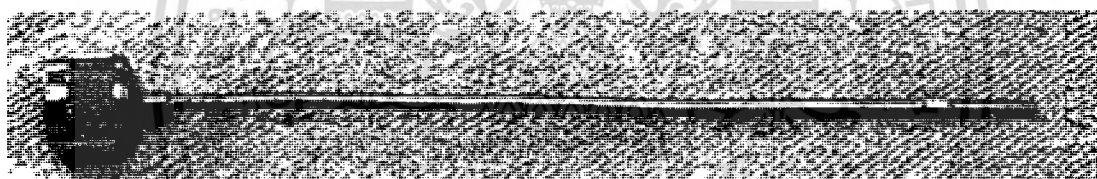
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น พารามิเตอร์ของสายอากาศและของเนื้อเยื่อ โดยค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศดังตารางที่ 4.1 โดยโครงสร้างของสายอากาศดูได้จากรูปที่ 4.6 โดยตารางนี้จะแสดงขนาดของสายอากาศที่ใช้ในการจำลองซึ่งอ้างอิงมาจากสายอากาศจริง โดยตัวนำจะกำหนดให้เป็นตัวนำ ค่าพารามิเตอร์ของเนื้อเยื่อใช้เป็นค่าที่ความถี่ 2.45 GHz ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของขนาดของสายอากาศ

พารามิเตอร์	สายอากาศ (มม.)	
	สล๊อต (Symmetric Slot)	กึ่งสล๊อต (Asymmetric Slot)
เส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำใน	0.5	0.5
เส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำนอก	1.5	1.5
เส้นผ่านศูนย์กลางโคอีเล็กทริก	1	1
ความยาวสล๊อต	1-5	4
ความยาวของสายอากาศ	60	60



(ก)



(ข)

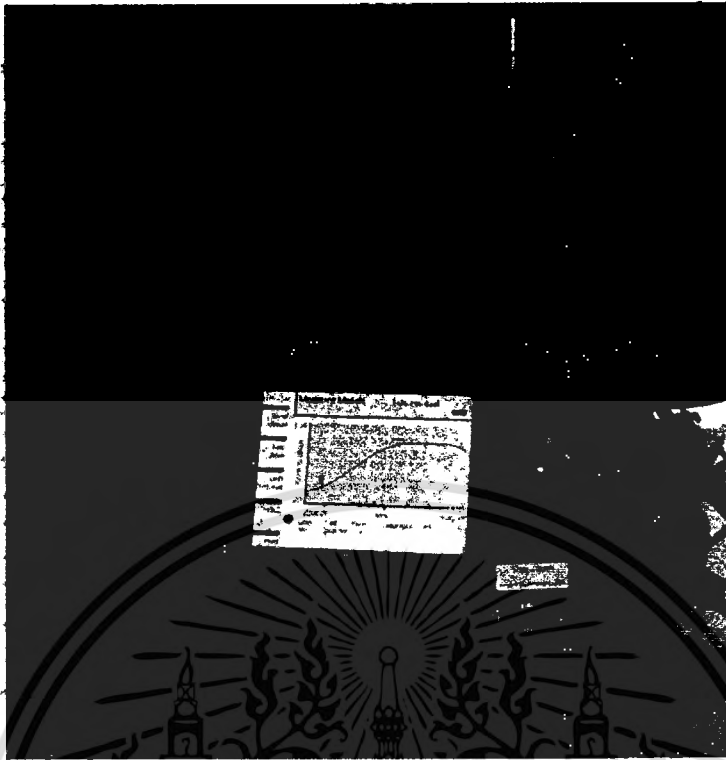
รูปที่ 4.4 แสดงรูปสายอากาศแบบ (ก) สล๊อต (ข) กึ่งสล๊อต

รูปที่ 4.3 รูปแสดงสายอากาศจริง โดยสายอากาศถูกสร้างขึ้นจากสายนำสัญญาณแบบแข็ง ในย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งเป็นสายนำสัญญาณ โคแอกเชียลแบบ Semi-Rigid

4.8 คุณสมบัติของสายอากาศ

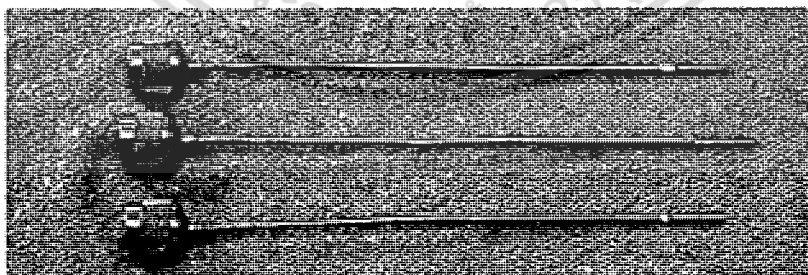
หลังจากที่สร้างสายอากาศแล้ว นำสายอากาศที่สร้างขึ้นนำไปวัด ทดสอบคุณสมบัติด้านการใช้งานในความถี่ไมโครเวฟ 2.45GHz ด้วยเครื่องวัดคุณสมบัติสายอากาศ ยี่ห้อ Bird Site Analyzer รุ่น SAX-6000 ตัวรูปเครื่องและรูปการใช้งานแสดงได้ดังรูปด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องมือวัดคุณสมบัติสายอากาศ ยี่ห้อ Bird รุ่น SA-6000

จากรูป 4.4 แสดง เครื่องมือวัดคุณสมบัติสายอากาศ Bird Site Analyzer รุ่น SAX 6000 ต่อไปแสดงรูปสายอากาศต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง และแสดงผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติของสายอากาศทั้ง 2 โดยจะวัดคุณสมบัติของสายอากาศคือ VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) และค่า Return Loss ของสายอากาศทั้ง 2 แบบ แสดงได้ดังรูป

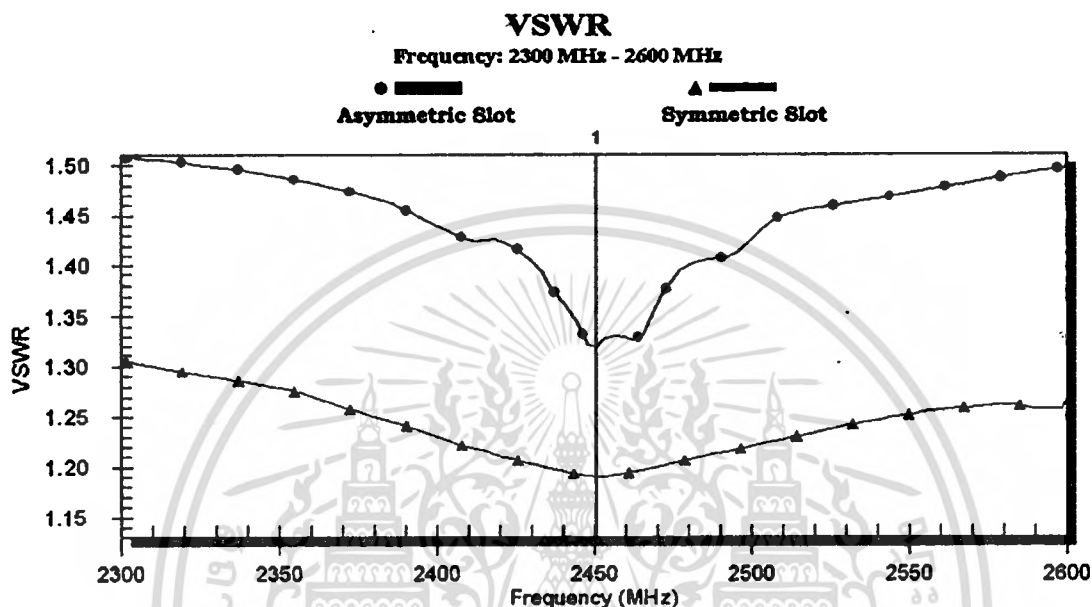


รูปที่ 4.6 สายอากาศที่ใช้ในระบบ MWA

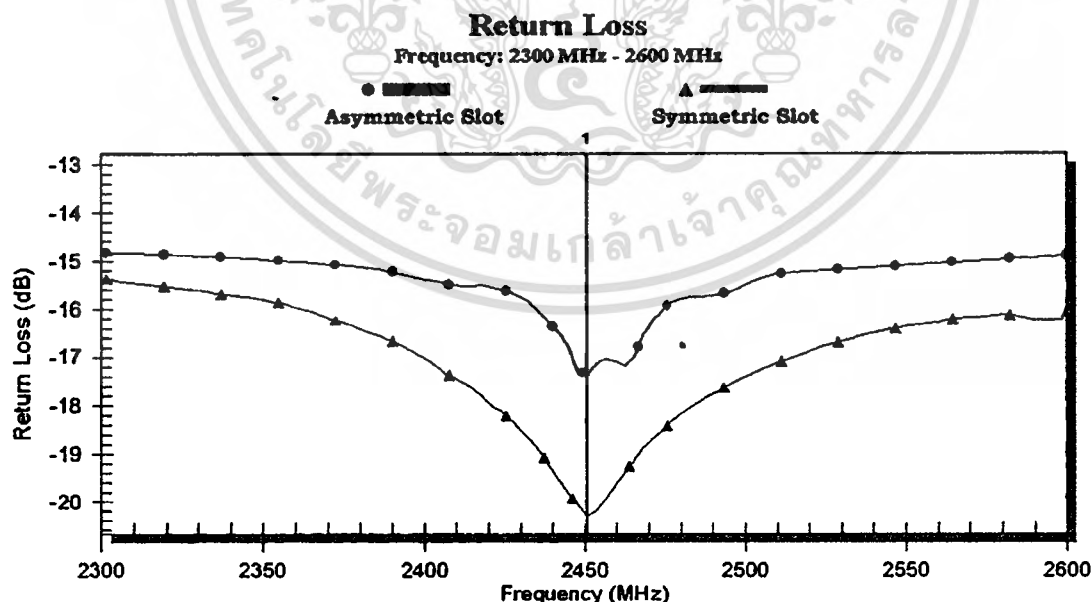
ในรูปเป็นตัวอย่างสายอากาศที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งดัดแปลงจากสายอากาศแบบโคแอกเซียล ที่มีตัวนำนอกชนิดแข็ง ใช้งานในการเชื่อมต่อสัญญาณของอุปกรณ์ความถี่สูง โดยคอนเนคเตอร์เชื่อมต่อเป็นแบบ N-type เชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ไมโครเวฟ 2.45GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรายละเอียดต่อไปจะแสดงผลที่ได้จากเครื่องมือวัด คุณสมบัติสายอากาศ โดยแสดงผลในย่านความถี่ 2300-2600 MHz และเราจะสนใจที่ความถี่ใช้งานที่ 2.45 GHz สายอากาศที่ทำการทดสอบได้แก่ สล็อต (Symmetric Slot) และสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) แสดงคุณสมบัติการตอบสนองความถี่ใช้งานในค่าของ VSWR และ Return Loss แสดงรายละเอียดได้ ดังกราฟด้านล่าง



รูปที่ 4.7 แสดงค่า VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) ของสายอากาศแบบสล็อต และกึ่งสล็อต ในย่านความถี่ 2300-2600 MHz

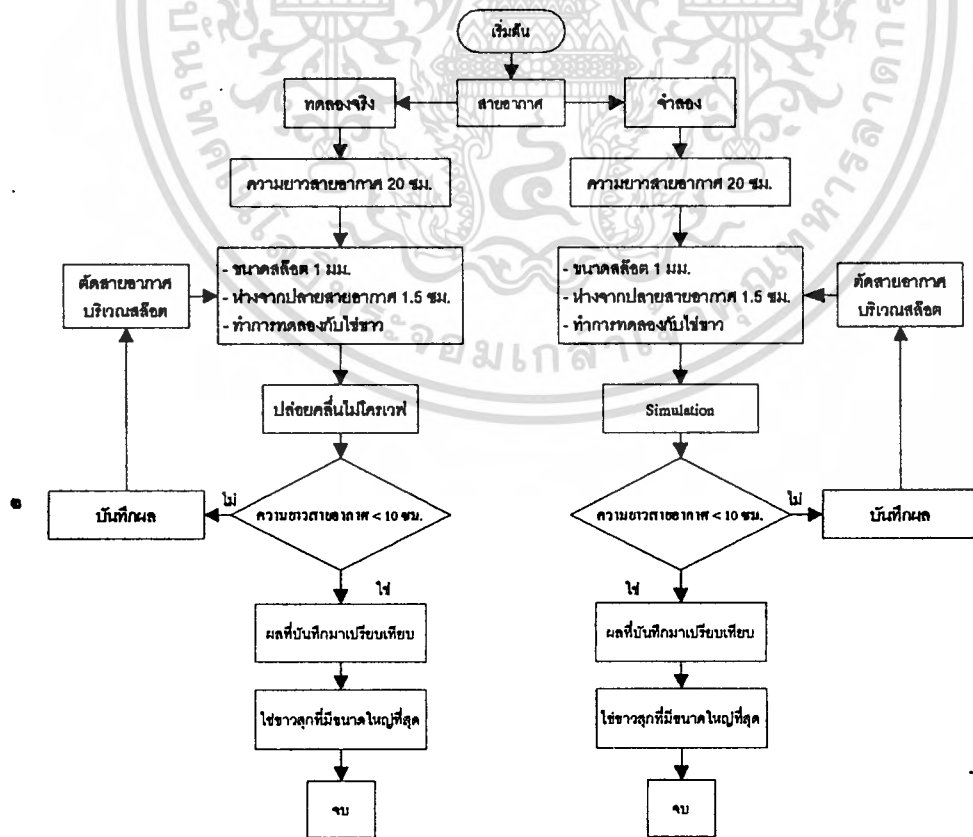


รูปที่ 4.8 แสดงค่า Return Loss ในหน่วย dB ของสายอากาศแบบสล็อต และกึ่งสล็อต ในย่านความถี่ 2300-2600 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดง ค่าคุณสมบัติของสายอากาศแบบปลายเปิด, แบบสล็อต และ สล็อตที่มีฉนวนหุ้ม ซึ่งจากกราฟเป็นผลจากการวัดคุณสมบัติที่ได้จากเครื่อง วัดคุณสมบัติ สายอากาศ Bird Site Analyzer® Model SA-6000EX โดย สายอากาศที่ทำการทดสอบค่า VSWR และค่า Return Loss ที่ความถี่ไมโครเวฟที่ใช้งาน 2.45 GHz สายอากาศทั้ง 2 รูปแบบมีค่า VSWR ที่ต่ำ โดยสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) มีค่า VSWR เท่ากับ 1.32 และ Return Loss (-17.21 dB) และ สายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) มีค่า VSWR เท่ากับ 1.19 และ Return Loss (-21.44 dB) ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาจะพบว่าสายอากาศที่ใช้มีค่า VSWR และ Return Loss ที่ต่ำ เมื่อนำไปใช้งานจะมีค่า ของการส่งผ่านพลังงานได้สูงสุด

จากการทดลองบริเวณที่มีการกระจายอุณหภูมิสูงสุด เราได้ทดลองกับสายอากาศ Semi Rigid ที่มีความยาว 20 ซม. และเจาะสล็อต 1 มม. บริเวณเหนือปลายสายอากาศ 1.5 ซม. และทำการทดลองปล่อยคลื่นไมโครเวฟในสายอากาศที่ทำขึ้น โดยทดลองกับไขขาวเพื่อดูขนาดการทำลายซึ่ง ไขขาวนั้นจะสุกที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เราจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน และบันทึกผล จากนั้นทำการทดลองต่อไปโดยการตัดบริเวณที่เป็นสล็อตทิ้งไป แล้วจึงเจาะสล็อตใหม่โดยใช้ขนาดเดิม



รูปที่ 4.9 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทดลองบริเวณการกระจายสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

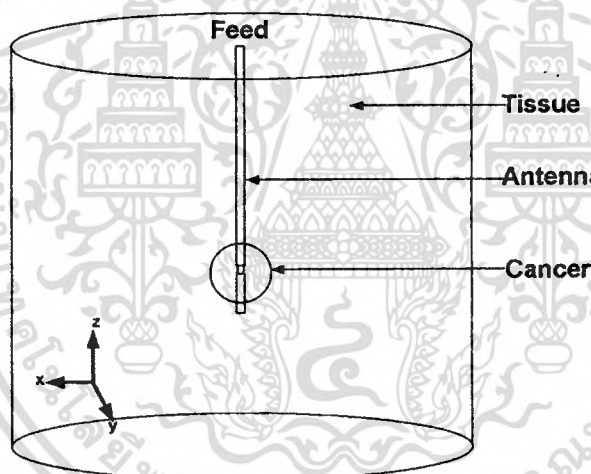
4.9 แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการจำลองการทำงาน เราใช้การจำลองการทำงานด้วยวิธีการทาง ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysic version 3.3a [16] บนระบบปฏิบัติการ 64 บิต โดยมีคอมพิวเตอร์พีซี Intel Pentium CORE 2 QUAD และ Ram 4 GB ในการจำลองการทำงาน และประกอบด้วย โมดูล 2 โมดูล ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน คือ

Rf Module [17]

Heat Transfer (Bioheat Equation) [18]

ในการคำนวณผลลัพธ์ ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อนำไฟล์ ที่สร้างรูปทรงจากโปรแกรม วาดรูปทรง 3 มิติ เป็นที่เรียบร้อย เราจะใช้โปรแกรม COMSOL ในการแบ่งเอลิเมนต์ของชิ้นงาน ออกเป็นชิ้นย่อยๆ ที่เรียกว่าเอลิเมนต์ แสดงได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.10 แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์

จากรูป แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) และ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ทั้งสองแบบมีการจำลองที่เหมือนกันจะแตกต่างกันก็เพียงแต่ ความกว้างของช่องสล็อตที่ใช้

แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วย ชุดสายอากาศ เนื้อเยื่อ และก้อนมะเร็ง โดยสายอากาศจะวางอยู่กึ่งกลางของเนื้อเยื่อและก้อนมะเร็ง รูปที่ 4.4 เนื้อเยื่อปอดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูง 11 เซนติเมตร และก้อนมะเร็งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความสูง 3 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของสายอากาศจะถูกแบ่งออกเป็นชั้นย่อยๆ ด้วยเอลิเมนต์ที่มีรูปแบบเป็นสามเหลี่ยม ขนาดของเอลิเมนต์สายอากาศที่ใช้มีขนาดอยู่ในช่วง 0.01-1 มิลลิเมตร ในส่วนของเอลิเมนต์ในเนื้อเยื่อปอดมีการกระจายของขนาดเอลิเมนต์ โดยบริเวณรอบ ๆ สายอากาศจะมีขนาดของเอลิเมนต์ที่เล็ก ส่วนบริเวณที่ห่างออกจากสายอากาศจะมีขนาดของเอลิเมนต์ที่ใหญ่ขึ้น เพื่อลดขนาดของหน่วยความจำของเครื่องในการจำลองการทำงาน ขนาดของเอลิเมนต์ของเนื้อเยื่อมีขนาดอยู่ในช่วง 0.1-1 มิลลิเมตร

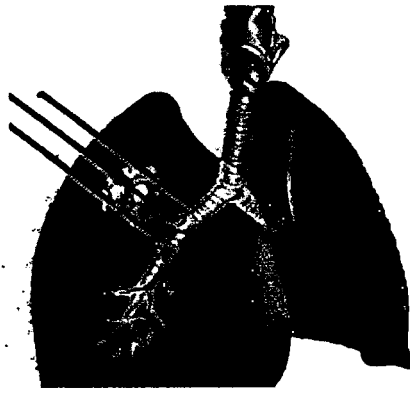
โดยสร้างรูปแบบของสายอากาศและส่วนประกอบต่างๆ ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysic Version 3.3a ทำการใส่ Boundary และค่าคงที่ ต่างๆ ที่ใช้ในการ จำลองการทำงาน รายละเอียดของพารามิเตอร์ของการ Simulation แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อ [19-24]

Electrical and Thermal properties of the media	Deflated Lung
Thermal conductivity of lung [W/m K]	0.316
Relative permittivity of lung	48.3
Conductivity of lung [S/m]	1.6
Density of lung [kg/m ³]	550
Specific heat of lung [J/kg s]	3710
Thermal conductivity of cancer [W/m K]	0.52
Relative permittivity of cancer	43.1
Conductivity of cancer [S/m]	0.3
Density of cancer [kg/m ³]	1000
Specific heat of cancer [J/kg s]	4000

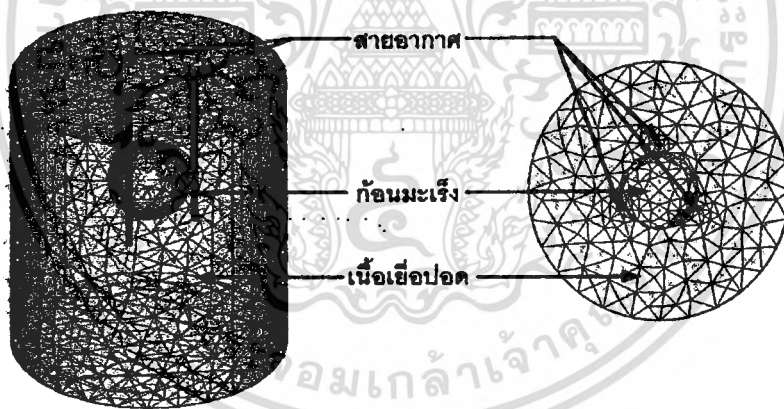
รายละเอียดจำนวนเอลิเมนต์จะสัมพันธ์กับความซับซ้อนของโครงสร้าง และการจัดวางสายอากาศ โดยพิจารณาสายอากาศแบบตันเดียว แบบสล็อต (Symmetric Slot) และกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) มีจำนวนเอลิเมนต์ไม่ต่างกันมาก และการจัดวางสายอากาศแบบ สามเหลี่ยมของการใช้สายอากาศ 3 ดัน มีจำนวนเอลิเมนต์ที่สูง ซึ่งจำนวนเอลิเมนต์ที่สูง ๆ จะใช้หน่วยความจำในการประมวลผลที่มากกว่าแบบจำลองที่มีเอลิเมนต์น้อย ๆ ดังนั้นในการประมวลผลจำเป็นจะต้องคำนึงถึงจำนวนเอลิเมนต์ เพื่อจัดสรรหน่วยความจำให้เพียงพอ ซึ่งรายละเอียดต่อไปนี้จะเป็นส่วนของการอธิบายขนาดของหน่วยความจำของการใช้สายอากาศ 3 ดัน แต่ละการจัดวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ลักษณะการทำลายเซลล์มะเร็งในปอด

การรักษาจะต้องใช้อัลตราซาวด์สแกนในการดูตำแหน่งของมะเร็งตลอดเวลาของการรักษา เพื่อระบุตำแหน่งของเซลล์มะเร็ง และสายอากาศที่สอดผ่านท่อหน้าที่ทำหน้าที่ไม่ให้สายอากาศ สัมผัสกับเนื้อเยื่อ ในการรักษารูปแบบนี้จะมีแผลที่เล็ก และระยะเวลาพักฟื้นหลังการรักษาไม่นาน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรักษาโดยการผ่าตัด



รูปที่ 4.12 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสายอากาศแบบสามด้าน

รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบของการทำไฟไนต์เอลิเมนต์โดยการจัดรูปแบบของ Mesh แบบไม่สม่ำเสมอ โดยในรูปแสดงมุมมอง ในรูปแบบ 3 มิติ , ด้านบน ในการ Mesh ที่ใช้ในการจำลองการทำงานในบทความชุดนี้ สังเกตเห็นได้ว่า บริเวณรอบๆ สายอากาศ จะมีการจัดวาง Mesh ที่ละเอียด และเมื่อห่างจากสายอากาศออกมาจะมีขนาดของ เอลิเมนต์ที่ใหญ่ขึ้น จำนวนเอลิเมนต์ของการ จัดเรียงสายอากาศทั้ง 3 แบบที่ใช้ในการจำลองการทำงาน มีจำนวนเอลิเมนต์เฉลี่ย 25,000 ค่า Degree of Freedom เฉลี่ยประมาณ 200,000 ใช้ค่า Memory ในการ Run แต่ละ Case 3 – 4 Gbyte

ในการจำลองการทำงาน ขนาดของ เอลิเมนต์ของการจำลองการทำงานในกรณีของการ จัดเรียงสายอากาศแบบสามเหลี่ยม ในสายอากาศแบบสลิต (Symmetric Slot) จำนวนเอลิเมนต์ ไม่จำกัดทุกชิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปดเหลี่ยม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

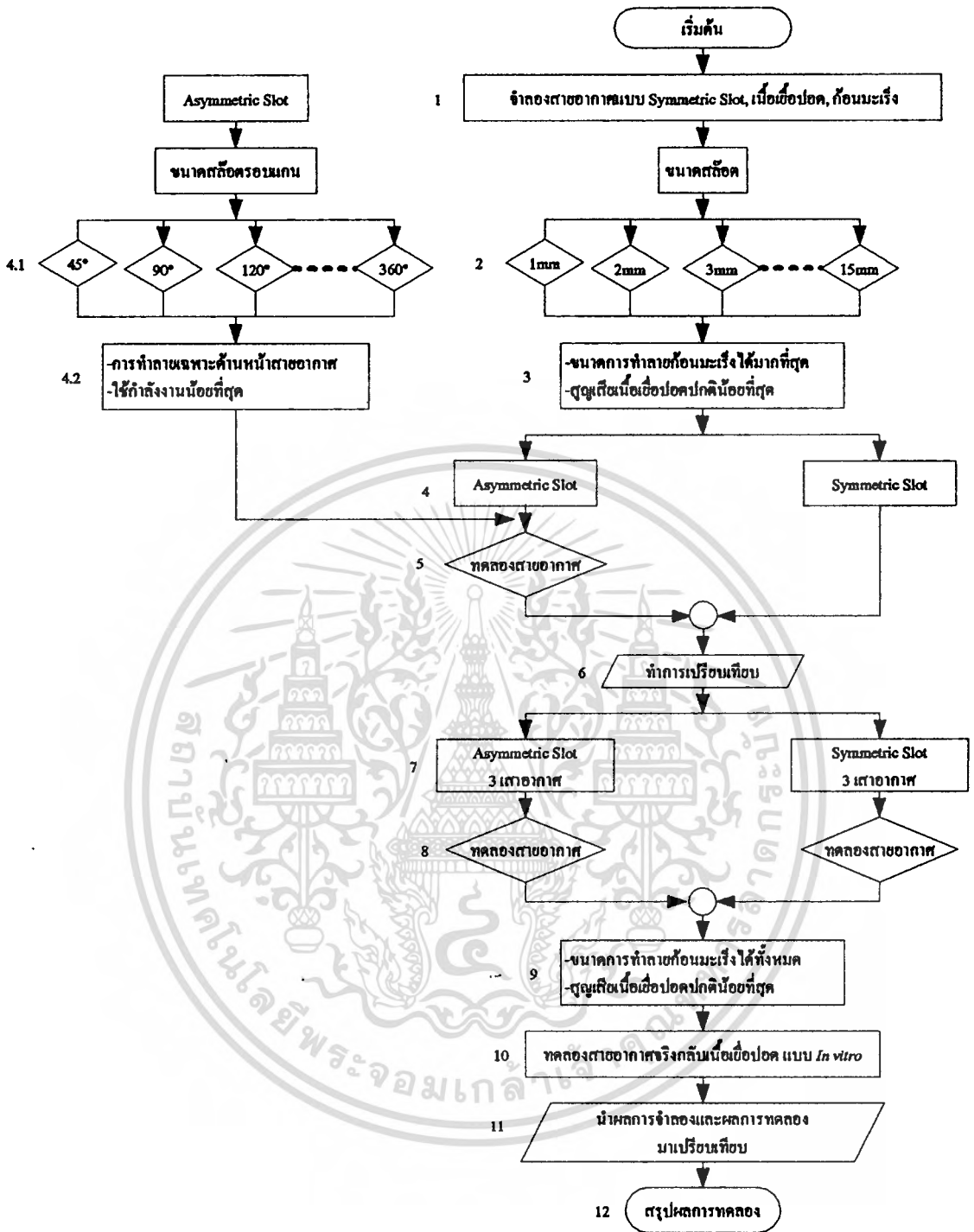
เท่ากับ 211,420 เอลิเมนต์ และสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 212,289 เอลิเมนต์ ,สายอากาศแบบ

รูปแบบการจัดเรียงสายอากาศแบบสามเสาจะแตกต่างกับการจัดเรียงแบบเส้นเดียว โดยการใช้สายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) และกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) นั้นจะจัดเรียงโดยรอบของก้อนมะเร็งเพื่อให้สายอากาศได้มีการทำลายก้อนมะเร็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.10 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็นการทดลองย่อย 12 ขั้นตอน

1. จำลองสายอากาศ Symmetric Slot เนื้อเยื่อปอด และก้อนมะเร็ง
2. ทำการทดลองสายอากาศแบบ Symmetric Slot ขนาดสล็อต 1 มม. ถึง 15 มม.
3. หาขนาดสล็อตที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงขนาดการทำลายก้อนมะเร็ง และให้สูญเสียเนื้อเยื่อปอดปกติน้อยที่สุด
4. นำขนาดสล็อตที่ได้มาทำการทดลองกับสายอากาศแบบ Asymmetric Slot และ Symmetric Slot
 - 4.1 ทำการทดลองสายอากาศแบบ Asymmetric Slot ขนาดสล็อตรอบแกน 45° 90° 120° 180° 220° 270° 310° และ 360°
 - 4.2 หาขนาดสล็อตรอบแกนที่เหมาะสม โดยคำนึงถึง การทำลายเฉพาะด้านหน้าสายอากาศ และใช้กำลังงานน้อยที่สุด
5. นำขนาดสล็อตรอบแกนที่ได้มาทำการทดลองกับสายอากาศแบบ Asymmetric Slot
6. ทำการเปรียบเทียบสายอากาศทั้งสองแบบ
7. ทำการเพิ่มจำนวนสายอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลาย
8. ทำการทดลองกับสายอากาศทั้งสองแบบ
9. เลือกการทดลองสายอากาศที่ ขนาดการทำลายก้อนมะเร็ง ได้ทั้งหมดสูญเสียเนื้อเยื่อปอดปกติน้อยที่สุด
10. นำผลของสายอากาศที่ได้มาทดลองกับเนื้อเยื่อปอดหมูแบบ *in vitro*
11. นำผลการจำลองและผลการทดลองจริงมาเปรียบเทียบ
12. สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 4.13 Flow chart แสดงขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการจำลองและผลการทดลอง

5.1 บทนำ

ในบทนี้เราแสดงให้เห็นถึงการจำลองในรูปแบบ ภาพตัดขวาง ภาพสามมิติ และตารางขนาดของการกระจายอุณหภูมิ เพื่อทำการเปรียบเทียบในแต่ละหัวข้อให้เห็นถึงข้อแตกต่างของสายอากาศของแต่ละแบบ อันดับแรกเราทำการเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) เส้นเดียวในขนาดสล็อตต่างๆ กัน เพื่อหาขนาดของสล็อตที่มีความเหมาะสมที่สุดที่ทำให้ถ่ายกอนมะเร็งได้มากที่สุด โดยมีผลกระทบกับเนื้อเยื่อปกติที่เป็นปรกติน้อยที่สุด จากนั้นเราจะทำการเปรียบเทียบสายอากาศที่เลือกมาจากสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) กับสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) เส้นเดียว ขนาดของสล็อตที่เท่ากันเพื่อทดลองว่าสายอากาศที่ออกแบบขึ้นมาเหมาะสมหรือไม่ หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการกระจายอุณหภูมิ ในเนื้อเยื่อปกติและกอนมะเร็ง ของสายอากาศทั้งสองแบบด้วยตาราง เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิ จากนั้นก็จะทำการเปรียบเทียบสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) กับสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเส้น โดยการวางแบบสามเหลี่ยมรอบๆ กอนมะเร็ง จากนั้นทำการเปรียบเทียบ โดยใช้ตารางเพื่อดูการกระจายของอุณหภูมิว่าการถ่ายกอนมะเร็งของสายอากาศแบบไหนถ่ายกอนมะเร็งได้หมดและสูญเสียเนื้อเยื่อปกติที่ปรกติน้อยที่สุด ต่อไปเราจะทำการทดลองกับเนื้อเยื่อปกติแบบนอกร่างกายเพื่อเปรียบเทียบและพิสูจน์ผลการจำลองว่ามีความถูกต้องเพียงใด โดยเราจะได้ทำการวิเคราะห์ผลและเลือกเอาการวางสายอากาศที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้แบบสามเส้นพร้อมกันดังแสดงในรายละเอียดต่อไป

โดยหลักในการจำลองเนื่องจากสล็อตจากสายอากาศปล่อยกำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 2.45 GHz ออกสู่เนื้อเยื่อแตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงทำการปรับเปลี่ยนสล็อตของสายอากาศและทำการไฟไนต์เอลิเมนต์หลายครั้งเพื่อดูว่าสล็อตของสายอากาศแบบไหนที่มีประสิทธิภาพในการกระจายอุณหภูมิและเหมาะสม โดยจะเน้นในแง่พื้นที่ในการถ่ายกอนมะเร็งและรูปร่างในการกระจายอุณหภูมิที่ใช้ในการถ่ายกอนมะเร็ง เนื้อเยื่อ จากนั้นจะทำการแสดงผลจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และเปรียบเทียบผลที่ได้มาเพื่อแสดงให้เห็นว่าสล็อตของสายอากาศแบบไหนเหมาะสมกับการนำไปใช้มากที่สุด จากนั้นจะทำการไฟไนต์เอลิเมนต์สายอากาศสามเส้นดังที่กล่าวมาข้างต้นอีกครั้ง

สำหรับกระบวนการจำลองเราจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ใส่เข้าไปในสายอากาศแล้วสังเกตค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ออกมาสู่เนื้อเยื่อและกอนมะเร็งที่จำลองขึ้น ของแต่ละสายอากาศว่ามีค่าเท่าใด โดยอุณหภูมิสูงสุดไม่ควรเกิน 100 °C เนื่องจากเนื้อเยื่ออาจเปลี่ยนแปลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางกายภาพบางอย่าง แต่เนื่องจากอุณหภูมิสัมพันธ์กับขนาดบาดแผล อุณหภูมิยิ่งสูง ขนาดบาดแผลยิ่งใหญ่ โดยในการจำลองเราจะทำการตั้งค่าเวลาในการให้ความร้อนแก่เนื้อเยื่อเท่ากับ 5 นาที (เพื่อให้เหมาะสมกับการรักษา) แล้วทำการใส่พลังงานคลื่นเข้าไปในสายอากาศแล้วดู อุณหภูมิสูงสุด (ประมาณ 100°C) เกิดขึ้นจากการใส่กำลังงาน

ดังนั้น การทดลองนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็นการทดลองย่อยทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ

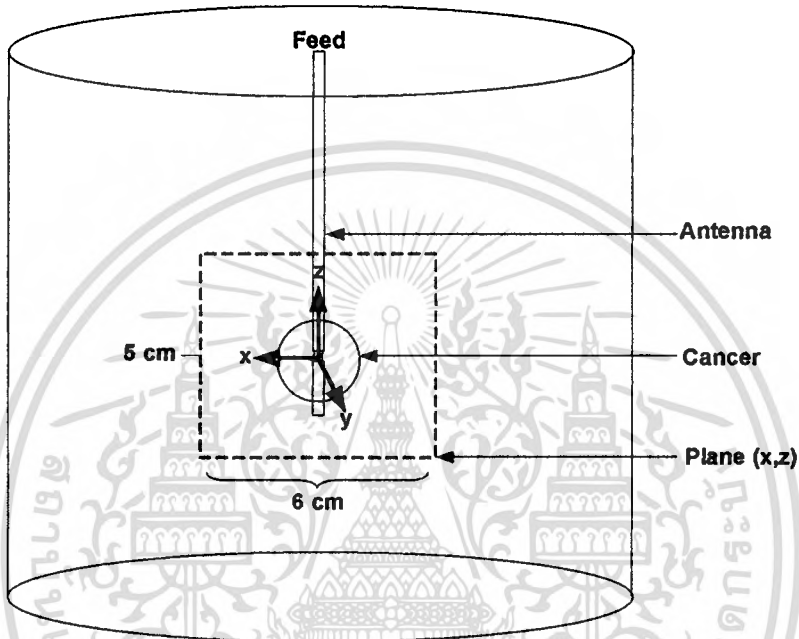
1. การเปรียบเทียบขนาดของสล๊อตกับการกระจายของอุณหภูมิของสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) เส้นเดียวที่เกิดกับเนื้อเยื่อปอด โดยการเพิ่มขนาดของสล๊อตเป็น 1 มม. ถึง 15 มม. เพื่อหาสายอากาศที่เหมาะสมที่สุด
2. การเปรียบเทียบสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) กับ กิ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) เส้นเดียวที่เกิดกับเนื้อเยื่อปอด นำผลของสายอากาศที่เหมาะสมจากข้อแรกมาทำการ เปรียบเทียบกับสายอากาศแบบกิ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) ที่ขนาดของสล๊อตเท่ากัน
3. การเปรียบเทียบสายอากาศแบบ สล๊อต (Symmetric Slot) กับ กิ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) สามเส้นที่เกิดกับเนื้อเยื่อปอด
4. ผลการทดลองสายอากาศแบบกิ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดหุม

5.2 การเปรียบเทียบขนาดของสล๊อตกับการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบ Symmetric Slot เส้นเดียวที่เกิดกับเนื้อเยื่อปอด

ในการทดลองสายอากาศแบบเส้นเดี่ยวนั้นจะมีการเพิ่มขนาดของสล๊อตและทำการกำหนด พารามิเตอร์และเงื่อนไขขอบให้กับเนื้อเยื่อและสายอากาศนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขขอบให้กับ โมเดลที่สร้างขึ้น สุดท้ายทำการใส่ค่ากำลังของคลื่นที่พอร์ตของสายอากาศและทำการจำลอง โดย จะทำการจำลองสายอากาศกับเนื้อเยื่อ 15 กรณี คือ สายอากาศที่มีขนาดสล๊อตตั้งแต่ 1 มม. ถึง 15 มม. เมื่อทำการไฟไนต์เอลิเมนต์เสร็จสิ้นแล้วจึงจะหาสายอากาศที่มีความเหมาะสมกับการทำลาย ก้อนมะเร็งที่จำลองขึ้นมาที่มีความกว้าง 3 เซนติเมตร ความยาว 3 ซม. และความกว้าง 3 ซม. จากที่ ศึกษาขนาดของก้อนมะเร็งที่เกิดกับปอดจะมีขนาด ตั้งแต่ 1 ซม. จนถึง 5 ซม. และส่วนมากจะมี ลักษณะกลม ขนาดที่พบมากที่สุดเป็นผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งปอดจะอยู่ที่ประมาณ 3 ซม.

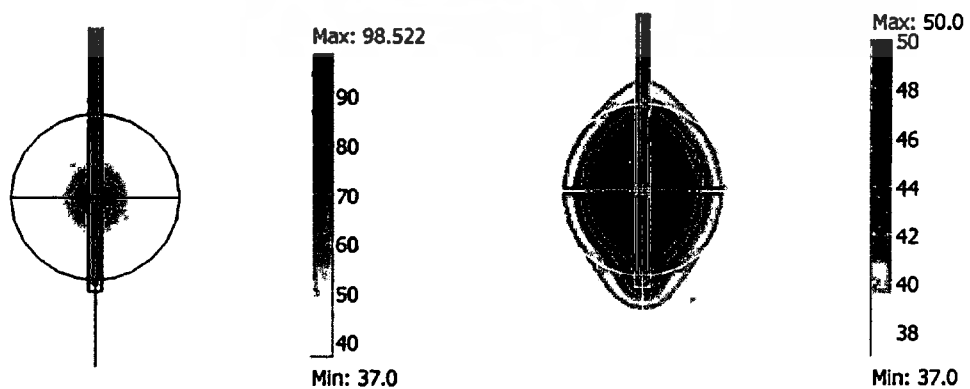
5.2.1 การกระจายอุณหภูมิที่ได้จากสายอากาศแบบ Symmetric Slot เส้นเดียว

การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) จะเกิดบริเวณสล็อตระหว่างไดอิเล็กตริก (Dielectric) กับตัวนำนอก (Outer Conductor) จากการทดลองสายอากาศที่มีขนาดสล็อต 1 มม. ถึง 15 มม. จะกำหนดให้มีอุณหภูมิไม่เกิน 100 °C และหาสายอากาศที่มีขนาดการกระจายอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด กับก้อนมะเร็งที่จำลองขึ้นมา



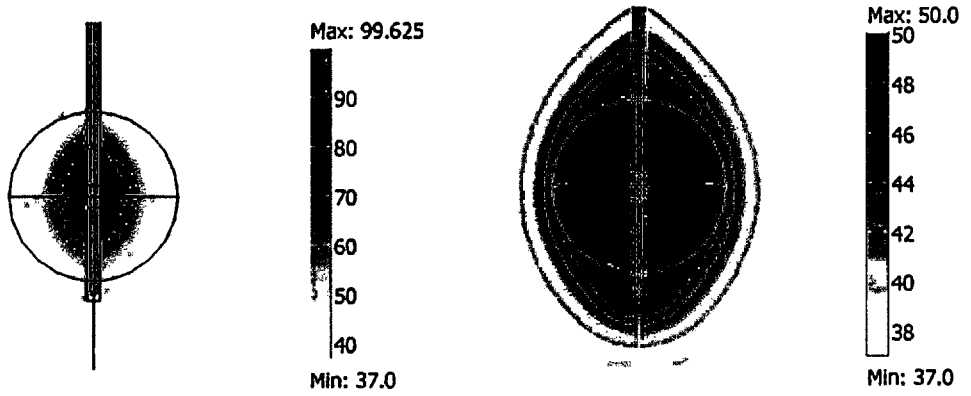
รูปที่ 5.1 ลักษณะการนำภาพจากโปรแกรมมาแสดง

จากรูปที่ 5.1 ภาพที่นำมาแสดงจะมีความสูง 5 ซม. และมีความกว้าง 6 ซม. ซึ่งจุดกึ่งกลางของภาพจะอยู่บริเวณสล็อต เราจะใช้ขนาดเท่ากันหมดในแต่ละภาพที่นำมาแสดง

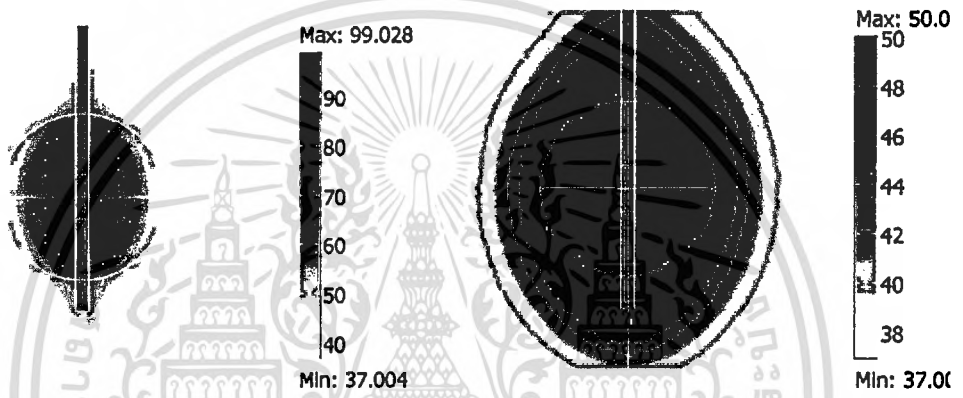


(ก) 1 มม.

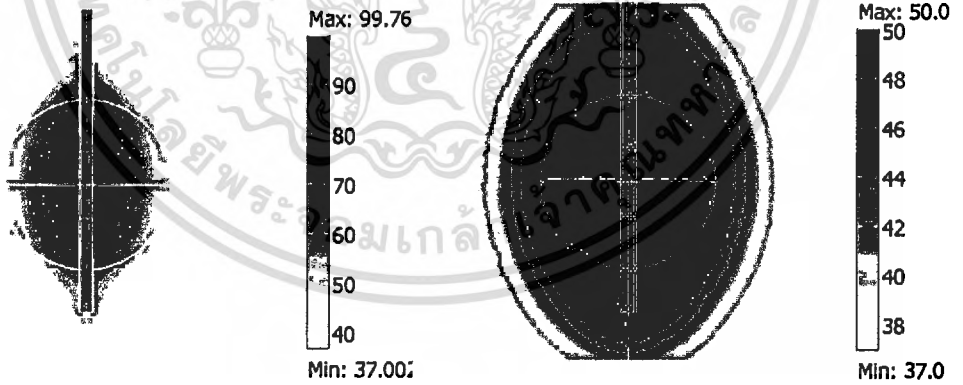
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) 4 มม.

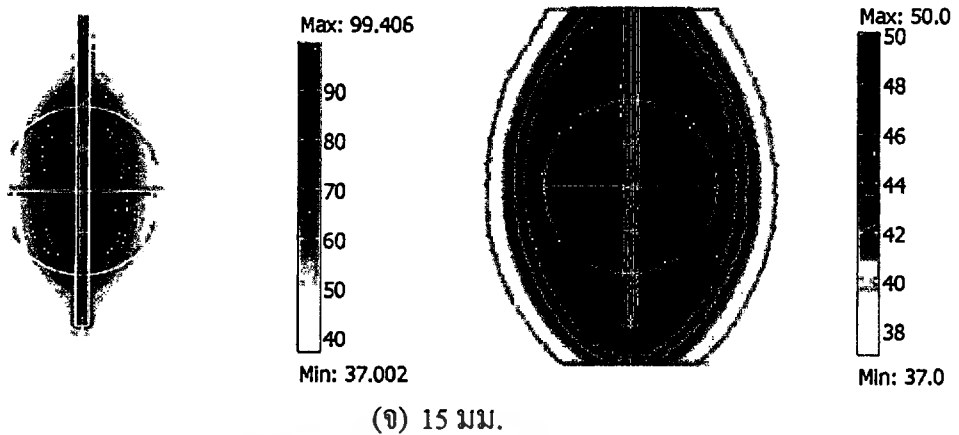


(ค) 8 มม.



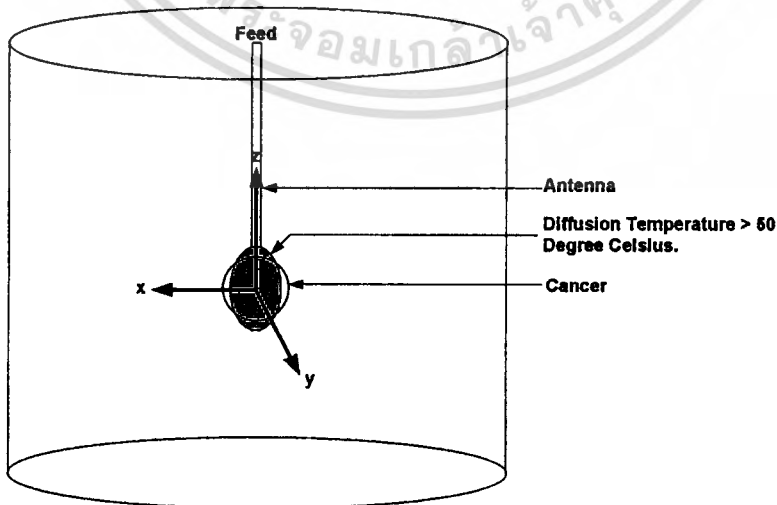
(ง) 12 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบสลิต (Symmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะภาพตัดขวาง (ก) ความกว้างของสลิต 1 มม. (ข) ความกว้างของสลิต 4 มม. (ค) ความกว้างของสลิต 8 มม. (ง) ความกว้างของสลิต 12 มม. (จ) ความกว้างของสลิต 15 มม.

รูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายของอุณหภูมิต่อๆ กว้างขึ้นตามขนาดของสลิต เช่นเดียวกับกับรูปขวา จะแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่มากกว่า 50°C จะมีลักษณะเป็นสีดำซึ่งจะค่อยๆ ใหญ่ตามขนาดสลิตเช่นเดียวกัน โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ได้ของแต่ละสลิตจะกำหนดให้ไม่เกิน 100°C ซึ่งจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณบริเวณจุดต่อระหว่างตัวนำออกกับชั้นไดอิเล็กตริกนั่นเอง ส่วนขนาดสลิตที่ยังไม่กล่าวถึง เราจะทำการเปรียบเทียบในตารางที่ 5.1 และ 5.2 เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ



รูปที่ 5.3 การวัดขนาดการกระจายอุณหภูมิที่บริเวณแกน X, Y และ Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการวัดการกระจายอุณหภูมิ เราจะวัดบริเวณที่อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส พอดี ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะอยู่ในแนวแกน X, Y และ Z ดังที่จะแสดงต่อไปนี้

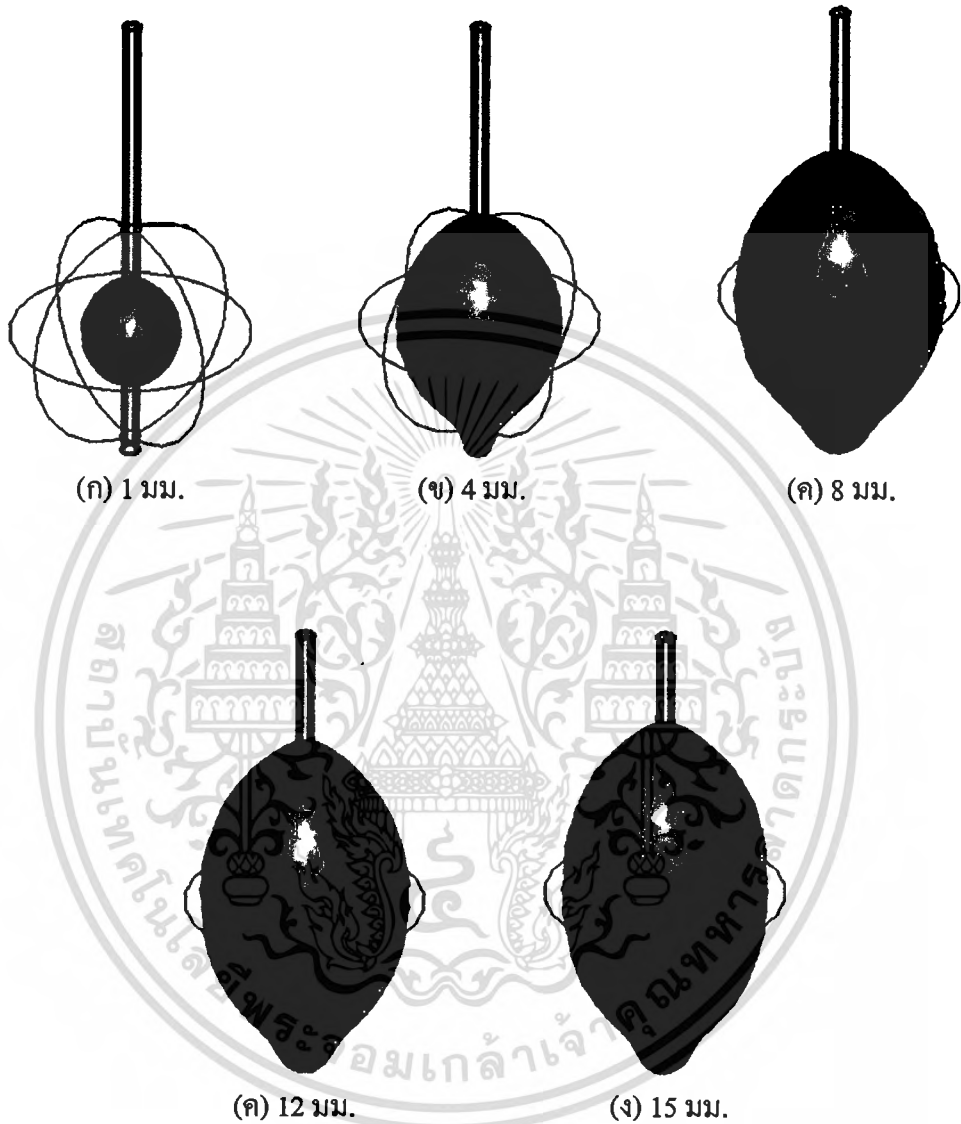
ตารางที่ 5.1 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียส

ขนาดสล็อต (มม.)	ขนาดของการกระจายอุณหภูมิ (ซม.)		
	ความกว้าง (X)	ความยาว (Y)	ความสูง (Z)
1	1.3	1.3	1.5
2	1.52	1.52	1.84
3	1.72	1.72	2.32
4	2.02	2.02	3.45
5	2.48	2.48	3.78
6	2.55	2.55	3.99
7	2.6	2.6	4.14
8	2.64	2.64	4.28
9	2.64	2.64	4.4
10	2.62	2.62	4.51
11	2.62	2.62	4.63
12	2.63	2.63	4.73
13	2.64	2.64	4.84
14	2.61	2.61	4.92
15	2.58	2.58	5.02

ตารางที่ 5.1 จากตารางจะเห็นได้สายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) ที่มีขนาดของสล็อต 1 มม. ถึง 5 มม. ก้อนมะเร็งที่บริเวณ 50 °C จะมีความกว้าง (X) 3 ซม., ความยาว (Y) 3 ซม. และความสูง (Z) 3 ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนมะเร็งแล้วไม่สามารถที่จะทำลายได้ทั้งหมดโดยขนาดการทำลายจะค่อยๆใหญ่ขึ้นตามขนาดของสล็อต แต่เมื่อสล็อตมีขนาด 8 มม. ในส่วนของความกว้างการทำลายจะคงแต่การทำลายในส่วนความสูงก็ยิ่งเพิ่มขึ้นตามขนาดสล็อต

ในการเลือกสล็อตที่เหมาะสมในการนำมาใช้นั้น จะคำนึงถึงปริมาณของการทำลายก้อนมะเร็งที่จำลองขึ้นมา โดยเราจะวัดการกระจายอุณหภูมิในแต่ละสายอากาศจากนั้นก็นำมาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบเพื่อหาขนาดของสล๊อตที่เหมาะสมในการออกแบบสายอากาศแบบกึ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) ไป จากการวัดขนาดของการกระจายอุณหภูมิจะได้ตามรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50°C ของสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะ 3 มิติ (ก) ความกว้างของสล๊อต 1 มม. (ข) ความกว้างของสล๊อต 4 มม. (ค) ความกว้างของสล๊อต 8 มม. (ง) ความกว้างของสล๊อต 12 มม. (จ) ความกว้างของสล๊อต 15 มม.

รูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่มากกว่า 50°C จะค่อยๆ ใหญ่ขึ้นตามขนาดของสล๊อตจะสังเกตได้ว่าขนาดสล๊อต 8 มม., 12 มม. และ 15 มม. ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำลายความกว้างจะทำเคมแต่ลักษณะการกระจายไปในส่วนบนจะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของสล๊อต

ตารางที่ 5.2 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอด

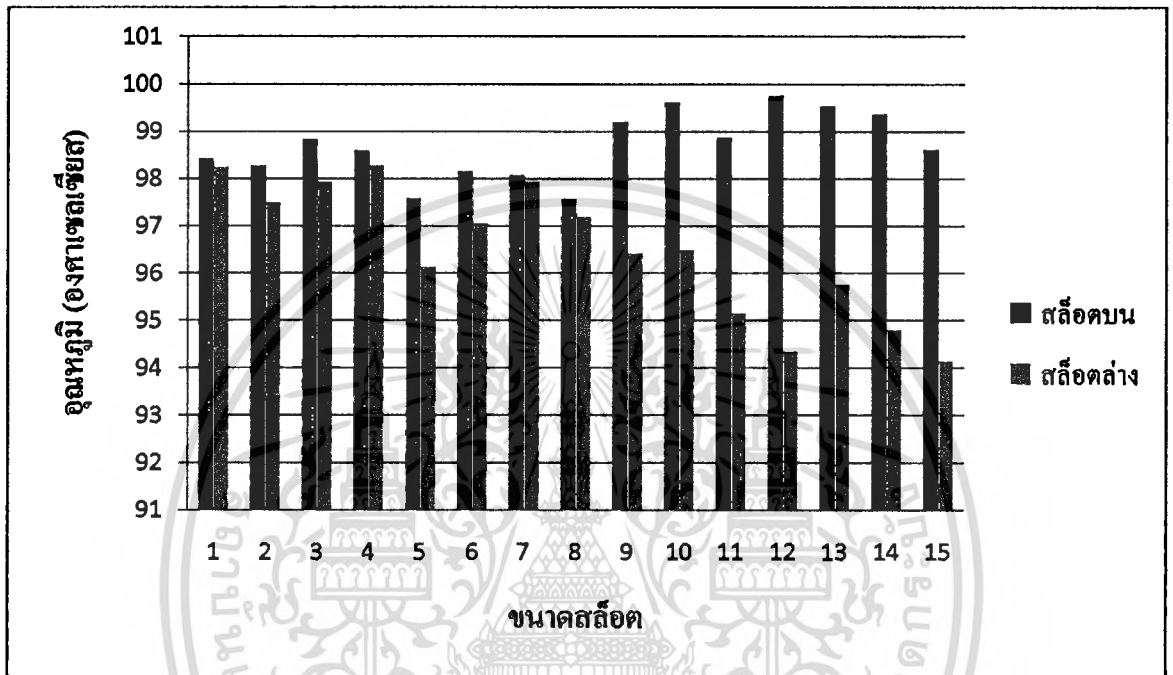
ขนาดสล๊อต (มม.)	ขนาดการทำลาย		อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	กำลังงาน (W)
	ก้อนมะเร็ง (cm ³)	เนื้อเยื่อปอด (cm ³)		
1	1.34	0	98.522	7
2	2.07	0	98.379	7
3	3.41	0	98.991	7
4	6.15	0.08	99.625	7.05
5	10.42	0.58	99.634	7.1
6	11.1	1.01	99.232	7.1
7	11.14	1.36	98.59	7.15
8	11.51	1.83	99.028	7.2
9	11.61	2.17	99.206	7.25
10	11.65	2.37	99.62	7.3
11	11.69	2.8	99.325	7.4
12	11.93	3.22	99.76	7.55
13	11.91	3.7	99.731	7.6
14	11.84	3.88	99.599	7.6
15	11.82	4.1	99.406	7.65
ขนาดทั้งหมด				

ตารางที่ 5.2 จากตารางเพื่อดูขนาดการทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอดบริเวณที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 °C ปริมาณทั้งหมดของก้อนมะเร็ง 14.12 cm³ และเนื้อเยื่อปอด 849.6 cm³ โดยการเพิ่มกำลังงานให้อุณหภูมิที่กระจายออกมาไม่เกิน 100 °C ทำการใส่ค่าและใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เมื่อเสร็จสิ้น (ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5.4) จึงทำการใช้โปรแกรม COMSOL คำนวณขนาดเป็นปริมาตรออกมา

จะเห็นได้ว่าการกระจายอุณหภูมิจะเกิดบริเวณสล๊อตระหว่างไดอิเล็กตริก (Dielectric) กับตัวนำนอก (Outer Conductor) ส่วนขอบบนและส่วนขอบล่างของสล๊อตที่แสดงในรูปที่ 5.5 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 บริเวณที่มีการกระจายอุณหภูมิ



รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างสล๊อตขอบบน และสล๊อตขอบล่าง

จากการเปรียบเทียบพบอุณหภูมิในรูปที่ 5.6 เมื่อความยาวสล๊อตเพิ่มขึ้น อุณหภูมิบริเวณสล๊อตบนจะมีอุณหภูมิสูงสุด แต่บริเวณสล๊อตล่างจะลดลง ไปเล็กน้อยตามความยาวสล๊อต เมื่อดูการกระจายอุณหภูมิจากตารางที่ 5.2 การกระจายในส่วนของความกว้างจะค่อยๆ คงที่ที่ขนาดสล๊อต 8 มม. ซึ่งในส่วนของสล๊อตขอบบนจะมีอุณหภูมิสูงสุด แต่ส่วนของสล๊อตขอบล่างอุณหภูมิจะลดลงเรื่อยๆ ทำให้การกระจายอุณหภูมิในส่วนของขอบล่างลดน้อยลงด้วยจึงทำให้เมื่อเพิ่มขนาดสล๊อตกว้างขึ้นการทำลายก้อนมะเร็งก็ลดลง แต่ในเนื้อเยื่อปอดการทำลายก็จะเพิ่มมากขึ้นกลับเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

ผลที่ได้ของสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) ขนาดสล๊อตตั้งแต่ 1 มม. ถึง 15 มม. จะเห็นได้จากขนาด และ ปริมาณการทำลายจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของสล๊อต ทั้งการทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอด จะมีการทำลายเนื้อเยื่อปอดที่ขนาดสล๊อต 4 มม. สูญเสียไป 0.08 cm^3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดการทำลายก้อนมะเร็งที่อยู่ที 6.15 cm³ ซึ่งมีการทำลายน้อยมาก และขนาดที่มีการทำลายก้อนมะเร็งดีทีสุด อยู่ที่ขนาดสล๊อต 12 มม. ทำลายก้อนมะเร็งไป 11.97 cm³ สูญเสียเนื้อเยื่อปอดไป 3.22 cm³ ทำให้ขนาดสล๊อตขนาด 12 มม. มีการทำลายทีดีทีสุด แต่กัยังไม่สามารถทีจะทำลายก้อนมะเร็งทีมีขนาด 14.12 cm³ ได้

จากข้อมูลทีกล่าวมาในข้างต้น จะเห็นได้ว่สายอากาศเส้นเดีวไม่สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทีงหมด และยังทำให้เนื้อเยื่อปอดบางส่วนถูกทำลายไปด้วย ดังนั้นเราจึงทำการเพิ่มจำนวนของสายอากาศเป็น 3 เส้น เพื่อกำการทำลายก้อนมะเร็งได้ทีงหมดและสูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยทีสุด

ขนาดสล๊อตของสายอากาศนั้นจะต้องทำลายก้อนมะเร็งในส่วนของความสูงได้หมด และทำลายส่วนของความกว้างได้บางส่วน หากใช้ขนาดสล๊อตทียาวเกินกัจะทำลายเนื้อเยื่อปอดมากเกินไป และหากใช้ขนาดสล๊อตเล็กเกินไป กัจะทำลายก้อนมะเร็งได้ไม่หมดหากใช้กำลังงานเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็เก็นกว่า 100 °C การใช้สายอากาศ 3 เส้น อุณหภูมิของสายอากาศจะเสริมกันทำให้ส่วนของความกว้างเพิ่มมากขึ้นแต่ส่วนของความสูงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นเราจึงสนใจในส่วนของความสูงในการทำลายก้อนมะเร็ง

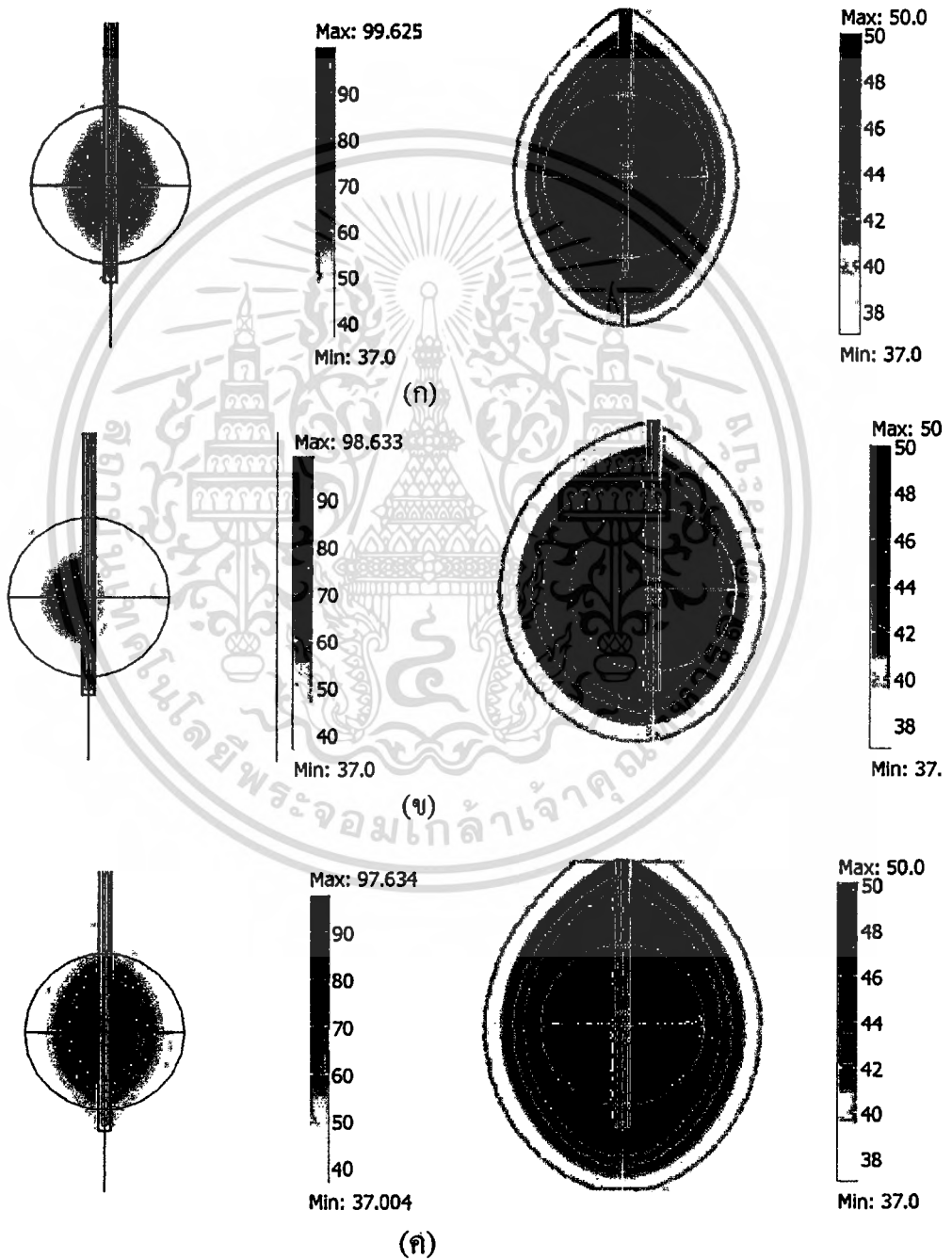
จากสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) ทีมีขนาดสล๊อต 1 มม. ถึง 15 มม. เราจึงเลือกขนาดสล๊อต 4 มม. และ 5 มม. มาทำการทดสอบ

5.3 การเปรียบเทียบสายอากาศแบบ Symmetric Slot กั Asymmetric Slot เส้นเดีวทีเกิดกักับเนื้อเยื่อปอด

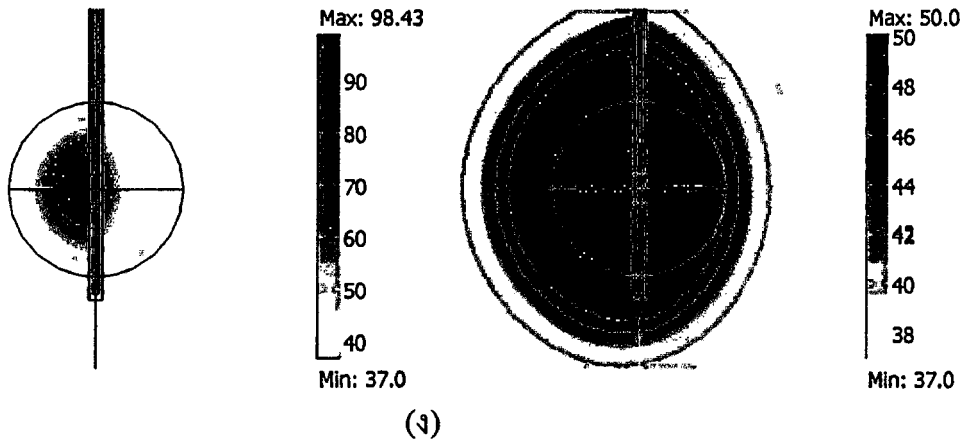
เนื่องจากสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) หากใช้ 3 เส้นอากาศจะทำให้ขนาดการทำลายเพิ่มมากขึ้น โดยอุณหภูมิจะกระจายออกไปรอบๆ สล๊อต จึงทำให้ขนาดในส่วนของความกว้างเพิ่มขึ้น เราจึงออกแบบสายอากาศแบบกังสล๊อต (Asymmetric Slot) ขึ้นเพื่อกำกัการกระจายของอุณหภูมิให้ออกมาบริเวณด้านหน้าสล๊อตและทำลายก้อนมะเร็งได้ทีงหมดช่วยลดปริมาณการสูญเสียเนื้อเยื่อปอดได้อีกด้วย

5.3.1 การกระจายอุณหภูมิที่ได้จากสายอากาศแบบ Symmetric Slot และสายอากาศแบบ Asymmetric Slot เส้นเดียว

ในการทดลองสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) เส้นเดียวเราได้เลือกสายอากาศที่มีขนาดสล็อต 4 มม. และ 5 มม. เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ในขนาดสล็อตที่เท่ากันโดยมีการจำลองก่อนมะเร็งภายในเนื้อเยื่อปอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



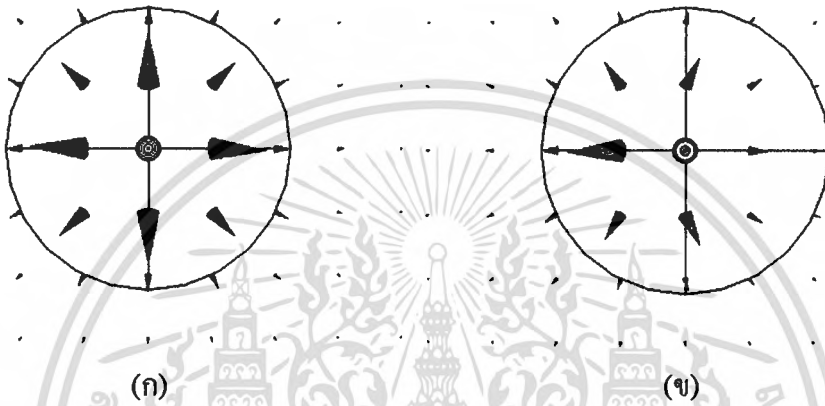
รูปที่ 5.7 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) กับสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะภาพตัดขวาง (ก) ขนาดสลีต 4 มม. ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) (ข) ขนาดสลีต 4 มม. ของสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) (ค) ขนาดสลีต 5 มม. ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) (ง) ขนาดสลีต 5 มม. ของสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot)

รูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าการกระจายของอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) มีการกระจายออกด้านข้างของสายอากาศ แต่ในสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) การกระจายของอุณหภูมิจะมีแต่ส่วนด้านหน้าของเส้นอากาศที่เป็นสลีต เช่นเดียวกับกับรูปขวา จะแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิ 50 °C ขึ้นไป จะมีลักษณะเป็นสีดำเข้มซึ่งลักษณะของการกระจายของเส้นอากาศสองแบบ จะแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ตารางที่ 5.3 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C

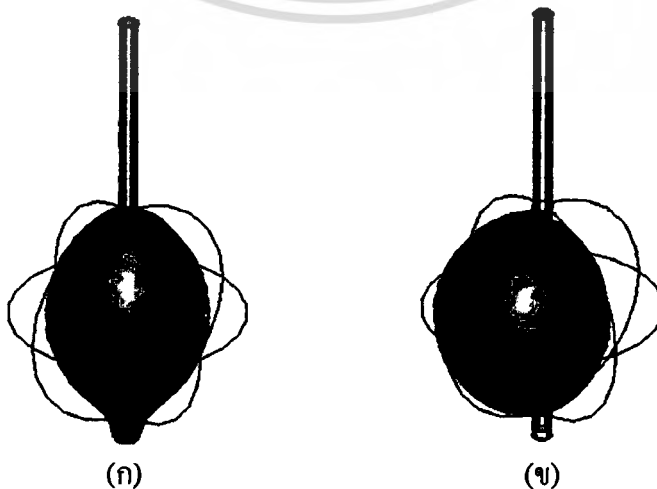
ขนาดสลีต (มม.)	สายอากาศ	ขนาดของการกระจายอุณหภูมิ (ซม.)		
		ความกว้าง (X)	ความยาว (Y)	ความสูง (Z)
4	Symmetric Slot	2.02	2.02	3.4
4	Asymmetric Slot	2.14	2.2	2.68
5	Symmetric Slot	2.48	2.48	3.78
5	Asymmetric Slot	2.61	2.66	3.1
ขนาดก้อนมะเร็ง	-	3	3	3

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าขนาดการกระจายของอุณหภูมิของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) ของสลีต 4 มม. และ 5 มม. ความกว้าง และความยาวจะเท่ากันนั้นเป็นเพราะว่าสายอากาศมีการกระจายอุณหภูมิในลักษณะที่ออกไปรอบๆ สลีส แต่สายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) ของสลีต 4 มม. และ 5 มม. จะมีการกระจายเพียงส่วนหน้าของสายอากาศและในส่วนหลังสายอากาศมีการกระจายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5.8

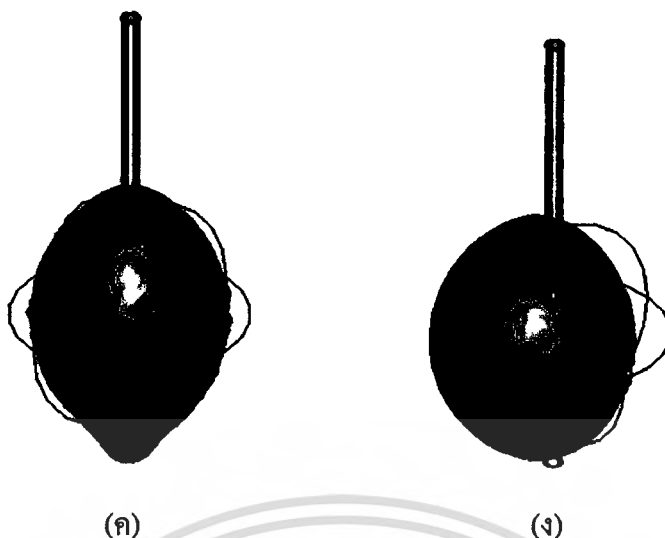


รูปที่ 5.8 ลักษณะทิศทางการกระจายของอุณหภูมิ (ก) สายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) (ข) สายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot)

รูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นถึงทิศทางการกระจายของอุณหภูมิที่ปล่อยออกมาจากสลีตของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) และกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) ลูกศรที่มีลักษณะที่ใหญ่ หมายถึงการกระจายที่มีมาก จากนั้นก็ได้ระดับลงมาจนมีขนาดเล็ก การกระจายก็น้อยลงตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50°C ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) และสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) ในเนื้อเยื่อปกติกที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ด้านในในลักษณะ 3 มิติ (ก) ขนาดสลีต 4 มม. ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) (ข) ขนาดสลีต 4 มม. ของสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) (ค) ขนาดสลีต 5 มม. ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) (ง) ขนาดสลีต 5 มม. ของสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot)

รูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายของอุณหภูมิที่มากกว่า 50°C ที่แสดงเป็นภาพ 3 มิติจะเห็นลักษณะการกระจายที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยส่วนของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) ที่มีขนาดสลีต 4 มม. และ 5 มม. จะมีการกระจายเป็นลักษณะวงรีอยู่ภายในก้อนมะเร็งและมีบางส่วนที่ออกมาภายนอกก้อนมะเร็งไปทำลายเนื้อเยื่อปกติเล็กน้อย ส่วนสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) ที่มีขนาดสลีต 4 มม. และ 5 มม. จะมีการกระจายเป็นลักษณะครึ่งวงกลมอยู่ภายในก้อนมะเร็ง ซึ่งสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) ขนาดสลีต 5 มม. ได้ทำลายเนื้อเยื่อปกติไปบางส่วน ดังจะเห็นได้จากตารางการเปรียบเทียบในตารางที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.4 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอด

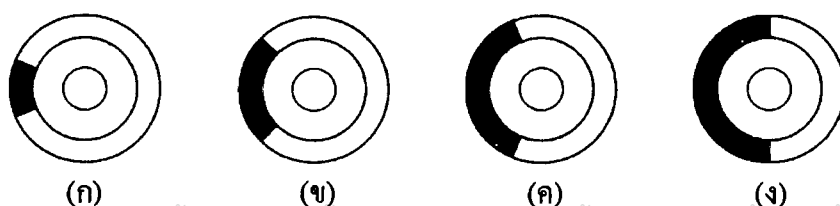
ขนาดสล๊อต (มม.)	สายอากาศ	ขนาดการทำลาย		อุณหภูมิ สูงสุด (°C)	กำลังงาน (W)
		ก้อนมะเร็ง (cm ³)	เนื้อเยื่อปอด (cm ³)		
4	Symmetric Slot	6.15	0.08	99.625	7.05
4	Asymmetric Slot	6.71	0	98.633	80
5	Symmetric Slot	10.42	0.58	99.634	7.1
5	Asymmetric Slot	10.35	1.42	98.43	80
ขนาดทั้งหมด	-	14.12	849.6		

ตารางที่ 5.4 จากตารางเพื่อดูขนาดการทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอดบริเวณที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 °C จะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบกึ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล๊อต 4 มม. ไม่มีความสูญเสียของเนื้อเยื่อปอดและมีการทำลายก้อนมะเร็งได้มากกว่าสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) ในขนาดสล๊อตที่เท่ากัน แต่เมื่อเทียบกับสายอากาศขนาด 5 มม. ทั้งสองแบบสายอากาศแบบกึ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) กลับมีการทำลายก้อนมะเร็งได้น้อยกว่าสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) เล็กน้อย และไปทำลายเนื้อเยื่อปอดปกติมากกว่าถึง 1.42 cm³

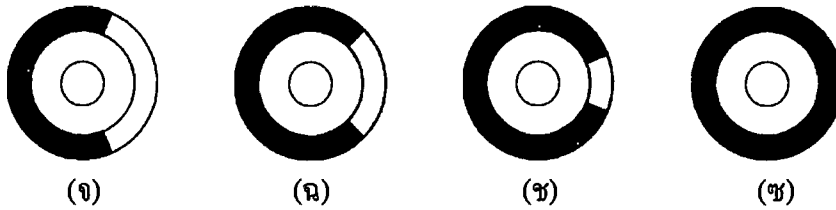
จะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) และกึ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) มีความแตกต่างของกำลังงานที่ใส่เข้าไปมากพอสมควร

5.3.2 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในการเปิดสล๊อตรอบแกนที่ต่างกันและกำลังงาน

จากผลการทดลองที่ผ่านจะเห็นได้ว่าขนาดการกระจายของอุณหภูมิของสายอากาศแบบสล๊อต (Symmetric Slot) กับสายอากาศแบบกึ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ทั้งเรื่องของการกระจายอุณหภูมิและกำลังงานที่เพิ่มเข้าไป เราจะอธิบายโดยทำการทดลองซึ่งจะใช้สายอากาศขนาดสล๊อต 4 มม. และเพิ่มความกว้างองศาของสล๊อต 45° 90° 120° 180° 220° 270° 310° และ 360° เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ ซึ่งจะบอกได้ถึง การกระจายอุณหภูมิจากความกว้างของสล๊อต และความแตกต่างกันของกำลังงาน

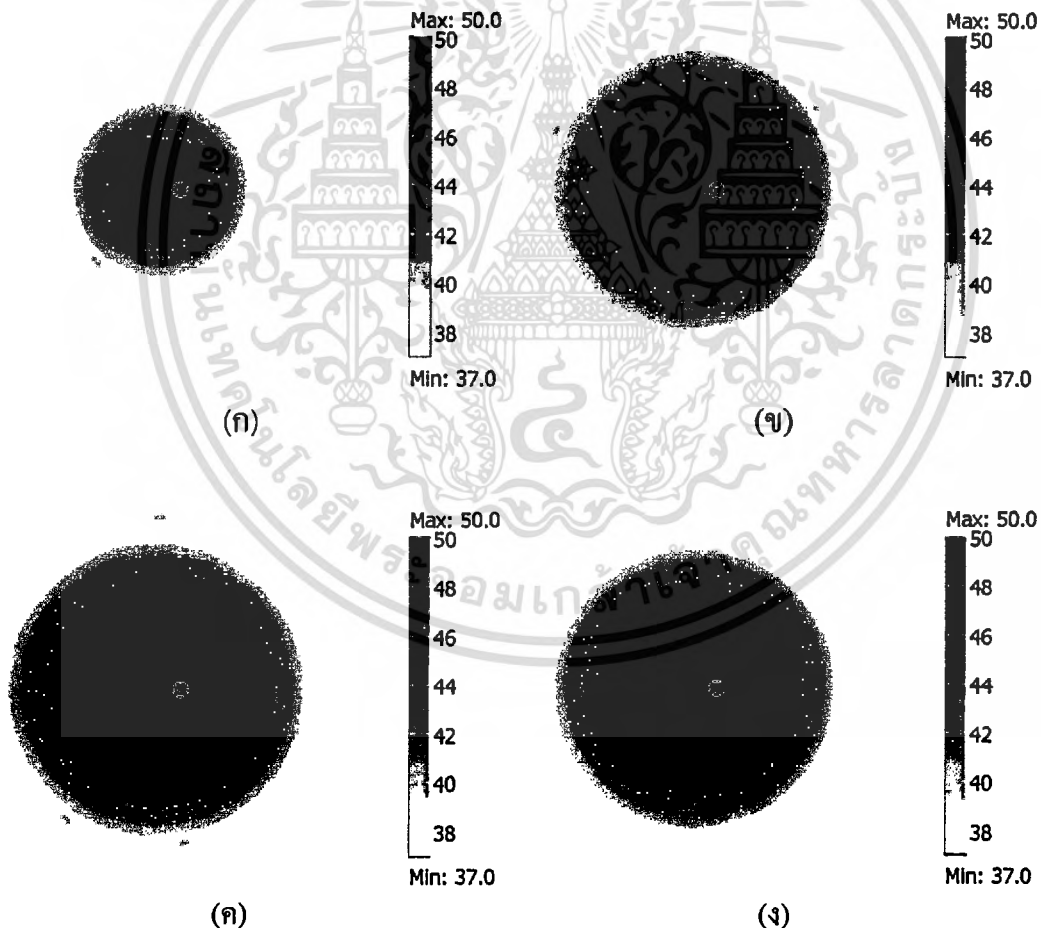


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

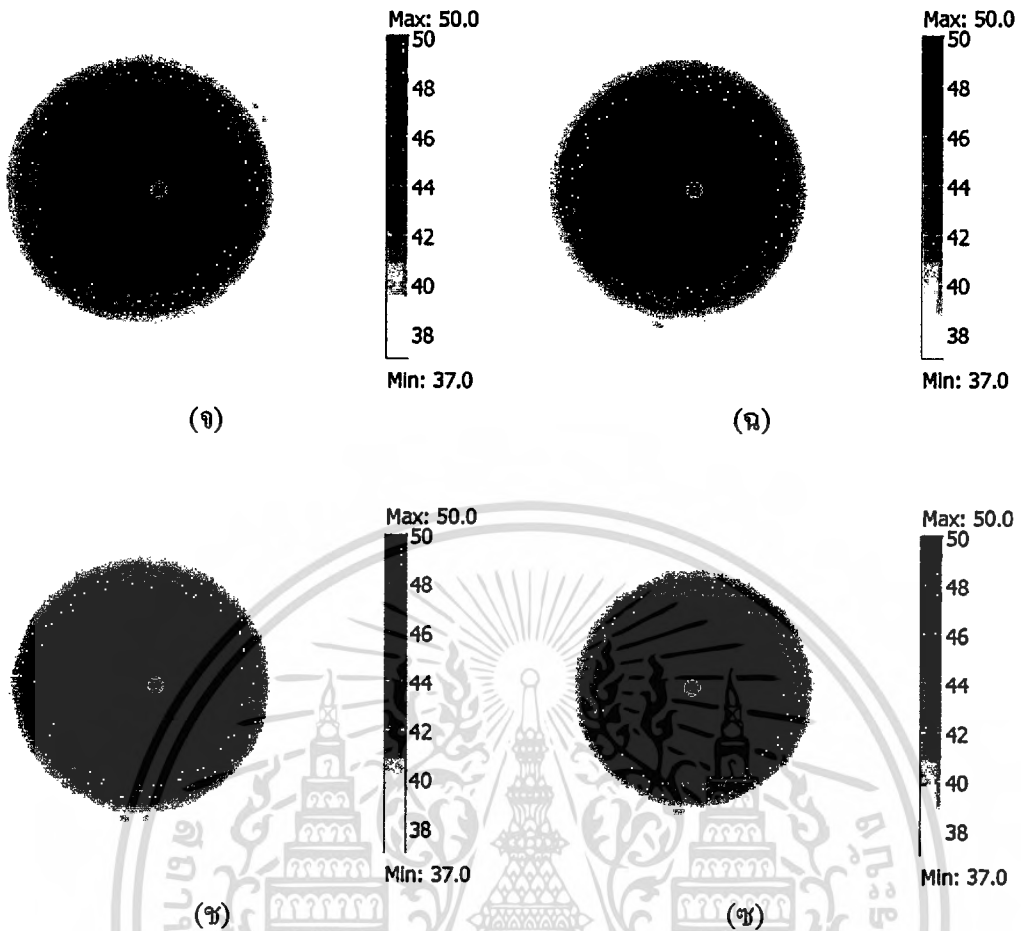


รูปที่ 5.10 องศาของสายอากาศ (ก) 45° (ข) 90° (ค) 120° (ง) 180° (จ) 220° (ฉ) 270° (ช) 310°
และ (ซ) 360°

จากรูปที่ 5.10 บริเวณสีดำคือความกว้างสล๊อต สายอากาศแบบกึ่งสล๊อต (Asymmetric Slot) จะมีความกว้างตั้งแต่ (ก) 45° (ข) 90° (ค) 120° (ง) 180° (จ) 220° (ฉ) 270° (ช) 310° และเมื่อขนาดของสล๊อตเต็มวงกลมสายอากาศก็จะเป็นแบบสล๊อต (Symmetric Slot) (ซ) 360°



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศที่มีความกว้างองศาของสลิต (ก) 45° (ข) 90° (ค) 120° (ง) 180° (ฉ) 220° (จ) 270° (ฉ) 310° และ (ช) 360°

จากรูปจะเห็นได้ว่าการกระจายของอุณหภูมิขององศาขนาด 45° มีขนาดเล็กที่สุด เมื่อเพิ่มขนาดองศาเป็น 90° ขนาดของการกระจายก็จะเพิ่มมากขึ้น จากนั้นเพิ่มขนาดองศาขึ้นเรื่อยๆ การกระจายอุณหภูมิในแต่ละองศาจะมีการกระจายไปส่วนด้านหลังสลิตจนถึง ขนาดองศาที่ 360° การกระจายของอุณหภูมิจะเป็นแบบสลิต (Symmetric Slot)

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศสล็อต 4 มม. ที่มีความกว้างองศาขนาดต่างๆ

ขนาดองศา	ขนาดการทำลาย (cm^3)	อุณหภูมิสูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)	กำลังงาน (W)
45	0.05	97.84	3300
90	5.71	98.99	470
120	7.63	99.94	85
180	7.88	99.29	22
220	7.96	99.98	14.6
270	7.71	99.73	11.5
310	7.66	98.15	9.2
360	7.4	98.6	7
ขนาดทั้งหมด	863.72	-	-

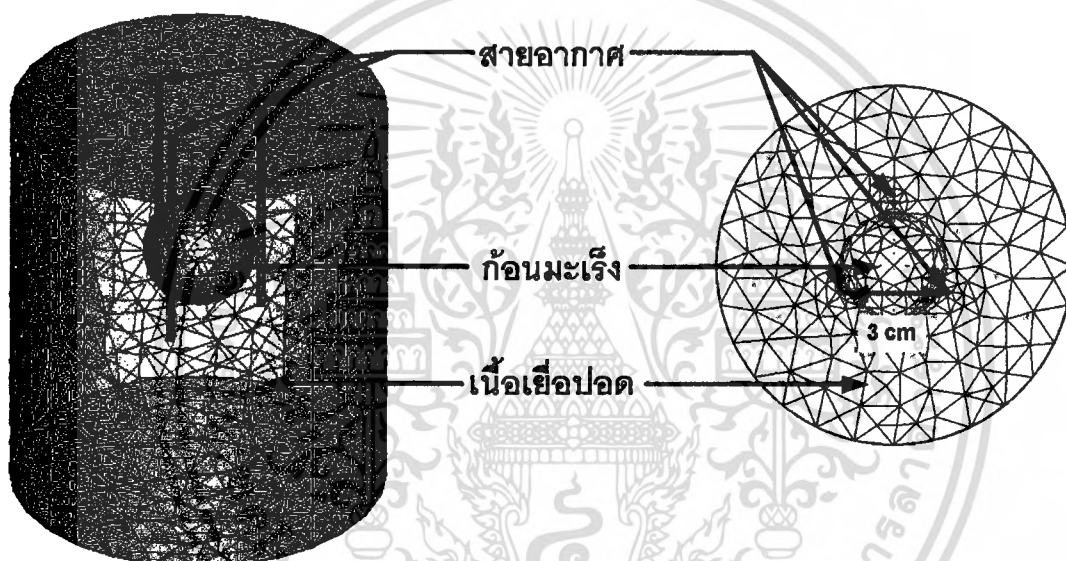
จากผลที่ได้เราจะเพิ่มกำลังงานในแต่ละตัวอย่างเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ไม่เกิน 100°C ซึ่งขนาดองศา 45° กำลังงานที่เพิ่มเข้าไบนั้นสูงมาก เนื่องจากช่องสล็อตมีขนาดเล็กและแคบกว่าความยาวคลื่นซึ่งมีความกว้างประมาณ 12 ซม. ทำให้คลื่นกระจายออกมาได้น้อยดังนั้นจึงทำการเพิ่มกำลังงานให้มากขึ้นเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ เมื่อขนาดสล็อตใหญ่ขึ้นการกระจายของอุณหภูมิก็น่าจะมากขึ้น กำลังงานที่ใส่เข้าไปก็จะน้อยลง

จากตารางการขนาดการทำลายขนาดองศาของที่ 45° จะมีขนาดการทำลายที่น้อยมากและยังใช้กำลังงานถึง 3300 วัตต์ เมื่อเพิ่มขนาดเป็น 90° ขนาดการทำลายก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าแต่ก็ยังไม่มากพอสำหรับการทำลายก้อนมะเร็งและยังใช้กำลังงานที่มากพอสมควร จากนั้นที่ 120° ขนาดการทำลายเพิ่มขึ้น 1.92 cm^3 เมื่อเปรียบเทียบกับขนาด 90° และยังใช้กำลังลดลงมาก ต่อจากนั้นขนาดการทำลายไม่ต่างกันมากและกำลังงานที่ใส่เข้าไปก็ลดลงเรื่อยๆ จนถึงขนาด 360° กำลังงานที่ใส่เข้าไปอยู่ที่ 7 วัตต์

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาเราจึงเลือกขนาด 120° เพราะขนาดการทำลายของแต่ละองศาเมื่อกำหนดไม่ให้เกิน 100°C จะมีขนาดใกล้เคียงกัน ขนาด 90° นั้นถึงมีการกระจายของอุณหภูมิออกไปแต่ส่วนด้านหน้าซึ่งเรามีเป้าหมายให้เป็นเช่นนั้นแต่ด้วยขนาดของการทำลายไม่มากพอที่จะทำลายก้อนมะเร็งได้ และขนาด 180° ถึงมีการทำลายที่ใกล้เคียงกับ 120° และยังใช้กำลังที่น้อยกว่า แต่เมื่อนำมาใช้แล้วกลับทำให้เนื้อเยื่อปกติเสียหายเพิ่มขึ้นเนื่องจากจะมีการกระจายออกไปในส่วนด้านหลังของสายอากาศมากขึ้นทำให้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้

5.4 การเปรียบเทียบสายอากาศแบบ Symmetric Slot กับ Asymmetric Slot สามเส้นที่ เกิดกับเนื้อเยื่อปอด

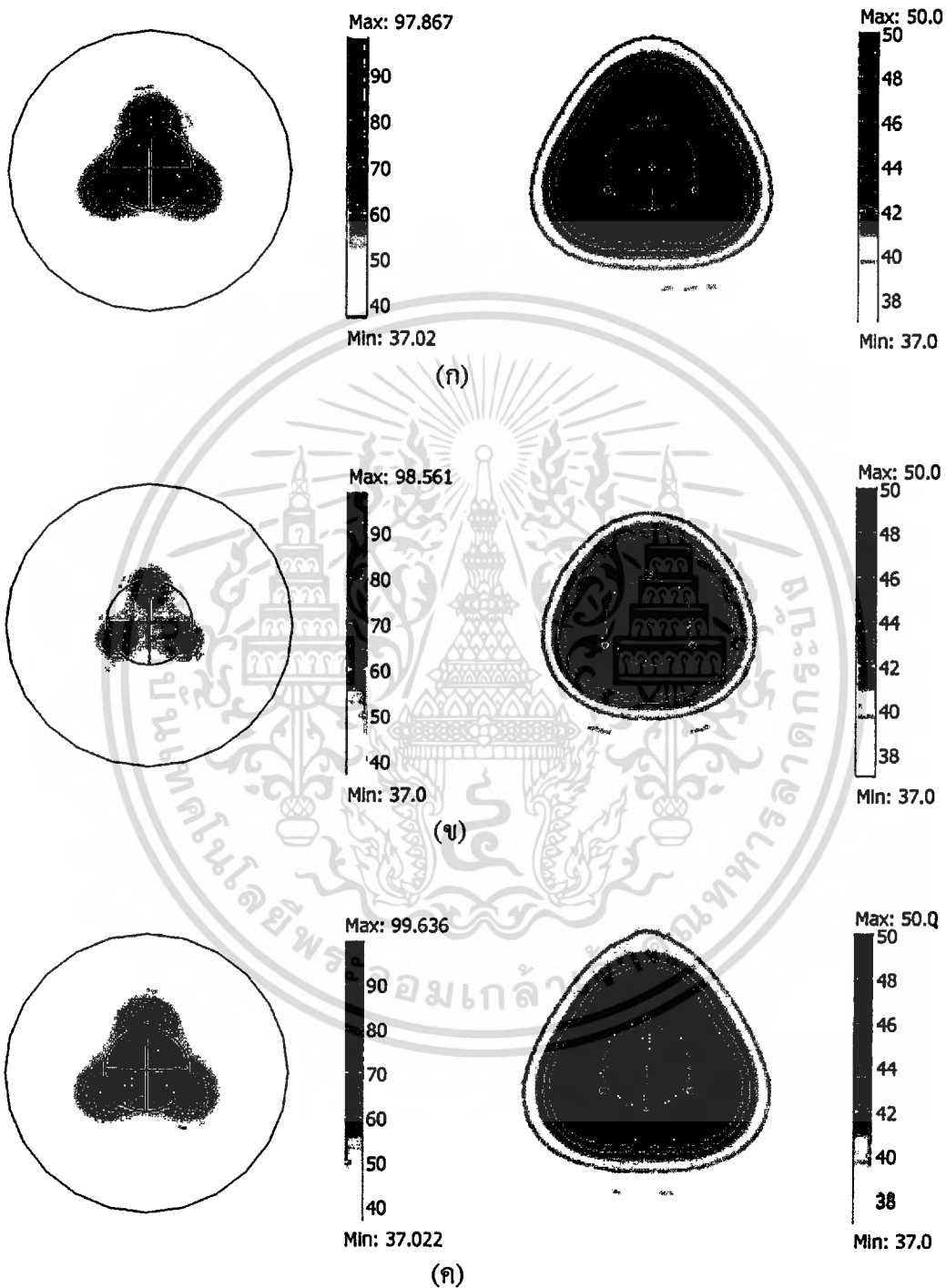
เนื่องจากปอดมีค่าไดอิเล็กตริกที่ค่อนข้างต่ำคลื่นแพร่กระจายได้น้อย ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลาย เราสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนสายอากาศเพื่อเพิ่มขนาดการทำลาย จากสายอากาศที่มีความกว้างสล็อตขนาดต่างๆ จึงเลือกขนาดที่จะนำมาใช้คือ ขนาดสล็อต 4 มม. และ 5 มม. ของสายอากาศทั้งสองแบบ โดยสายอากาศทั้งสองแบบจะมีลักษณะการวางสายอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่ารอบๆ ก้อนมะเร็งที่ถูกจำลองขึ้น ดังจะเห็นได้ในรูปที่ 5.12



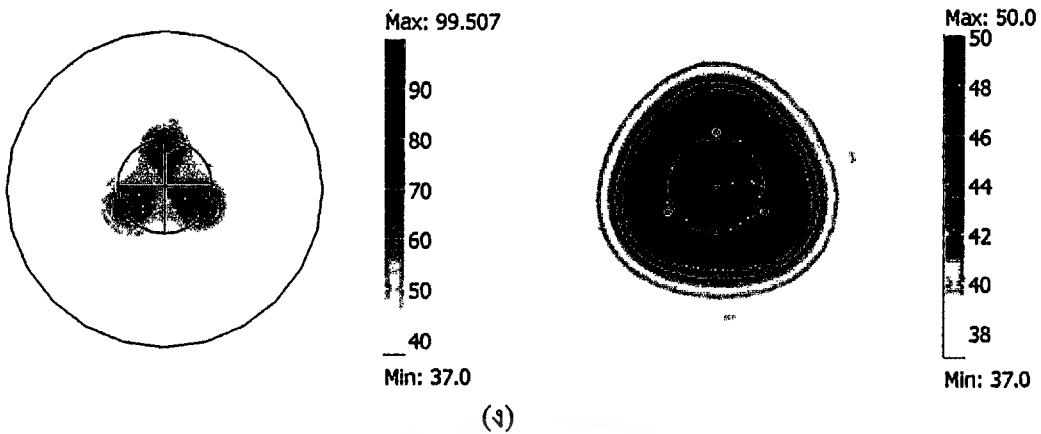
รูปที่ 5.12 แสดงถึงลักษณะการวางสายอากาศแบบสามเส้น

รูปที่ 5.12 เนื้อเยื่อปอดมีรัศมีกว้าง 5 เซนติเมตร และมีความสูง 11 เซนติเมตร ก้อนมะเร็งมีความกว้าง 3 เซนติเมตร และมีความสูง 3 เซนติเมตร ก้อนมะเร็งจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของสล็อตทุกขนาด และมีระยะห่างจากสายอากาศอยู่ที่ 3 เซนติเมตร

5.4.1 การกระจายอุณหภูมิที่ได้จากสายอากาศแบบ Symmetric Slot และสายอากาศแบบ Asymmetric Slot (120°) ตามเส้น ตำแหน่งประชิดกันมะเร็ง

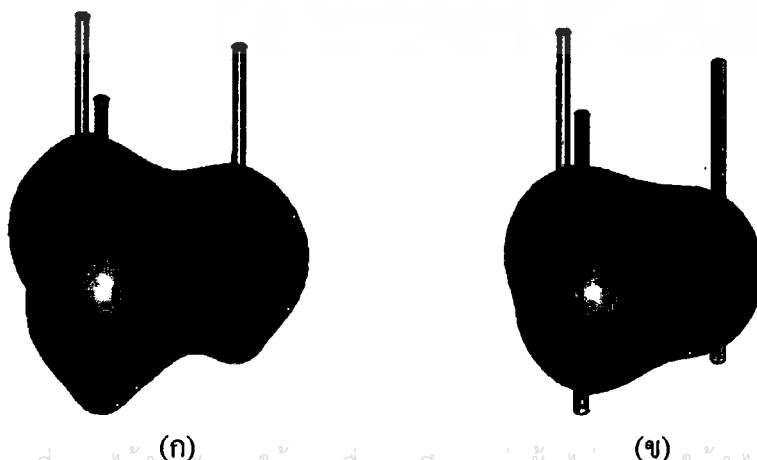


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

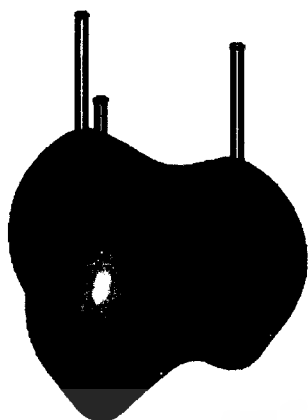


รูปที่ 5.13 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) และ กิ่งสลีต (Asymmetric Slot) สามเส้น ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะภาพมุมสูง (ก) ความกว้างของสลีต 4 มม. ของสายอากาศสลีต (Symmetric Slot) (ข) ความกว้างของสลีต 4 มม. ของสายอากาศกิ่งสลีต (Asymmetric Slot) (ค) ความกว้างของสลีต 5 มม. ของสายอากาศสลีต (Symmetric Slot) (ง) ความกว้างของสลีต 5 มม. ของสายอากาศ กิ่งสลีต (Asymmetric Slot)

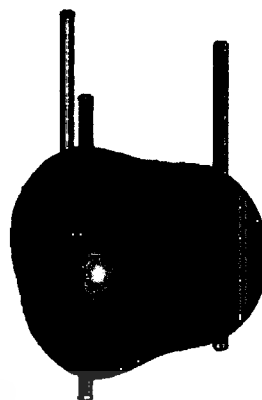
รูปที่ 5.13 จะเห็นได้ว่าการกระจายของอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) มีการกระจายค่อนข้างใหญ่ครอบคลุมก้อนมะเร็งได้หมดและยังทำลายเนื้อเยื่อปอดที่อยู่โดยรอบสายอากาศไปเป็นส่วนมาก แต่ในสายอากาศแบบกิ่งสลีต (Asymmetric Slot) การกระจายของอุณหภูมิจะไม่กว้างมากนัก ซึ่งสายอากาศชนิดนี้มีการทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดและทำลายเนื้อเยื่อปอดน้อยกว่าสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) เช่นเดียวกันกับรูปขวา จะแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่มากกว่า 50°C จะมีลักษณะเป็นสีดำซึ่งลักษณะของการกระจายของเส้นอากาศสองแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

รูปที่ 5.14 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) และสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) สามเส้นในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ด้านใน (ก) ขนาดสลีต 4 มม. ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) (ข) ขนาดสลีต 4 มม. ของสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) (ค) ขนาดสลีต 5 มม. ของสายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) (ง) ขนาดสลีต 5 มม. ของสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot)

จากรูปที่ 5.14 จะเห็นถึงความแตกต่างได้ไม่ชัดเจนนัก แต่ลักษณะของการทำลายก้อนมะเร็งของสายอากาศทั้งสองแบบสามารถที่จะทำลายได้ครอบคลุมก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด เราจะสังเกตได้ว่าสายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) มีการทำลายเนื้อเยื่อในส่วนปลายของสายอากาศทำให้การทำลายเนื้อเยื่อปอดปกติเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 5.6 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C

ขนาดสลีต (มม.)	สายอากาศ	ขนาดของการกระจายอุณหภูมิ (เซนติเมตร)		
		ความกว้าง (X)	ความยาว (Y)	ความสูง (Z)
4	Symmetric Slot	5.4	4.73	3.45
4	Asymmetric Slot	4.7	4.33	3.18
5	Symmetric Slot	5.52	4.88	4.2
5	Asymmetric Slot	4.94	4.51	3.49
ขนาดก้อนมะเร็ง	-	3	3	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าขนาดการกระจายของอุณหภูมิของสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) ของสล็อต 4 มม. และ 5 มม. ในส่วนของความกว้างมีการกระจายที่ใหญ่กว่าขนาดก่อนมะเร็งมากแต่สายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ของสล็อต 4 มม. และ 5 มม. จะมีการกระจายเพียงส่วนหน้าของสายอากาศและในส่วนหลังสายอากาศมีการกระจายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5.9 ที่ผ่านมา

ตารางที่ 5.7 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอด

ขนาดสล็อต (มม.)	สายอากาศ	ขนาดการทำลาย	
		ก้อนมะเร็ง (cm ³)	เนื้อเยื่อปอด (cm ³)
4	Symmetric Slot	14.12	35.09
4	Asymmetric Slot	14.12	23.07
5	Symmetric Slot	14.12	41.5
5	Asymmetric Slot	14.12	28.13
ขนาดทั้งหมด	-	14.12	849.6

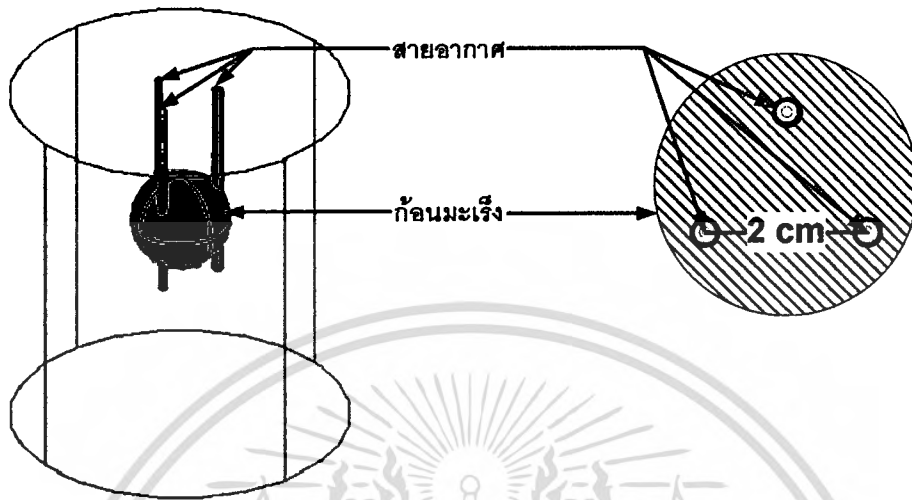
จากผลที่ได้ปรากฏว่าสายอากาศทั้งสองแบบได้ทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด แต่เนื้อเยื่อปอดมีความสูญเสียเหมือนกัน โดยเฉพาะสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) ซึ่งขนาดสล็อต 4 มม. และ 5 มม. ได้ทำลายเนื้อเยื่อปอดไป 35 cm³ และ 41.5 cm³ ตามลำดับ

5.4.2 วิเคราะห์ระยะห่างของเส้นอากาศเพื่อทำลายก้อนมะเร็งและสูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยที่สุด

การรักษา มะเร็งปอดแตกต่างกับการรักษา มะเร็งตับ เนื่องจากเนื้อเยื่อตับเมื่อทำการรักษาด้วยคลื่นไมโครเวฟ เนื้อเยื่อบริเวณบริเวณที่ถูกความร้อนมากกว่า 50 °C จะตายไปและจะถูกสร้างขึ้นมาใหม่ ส่วนเนื้อเยื่อที่ตายก็จะถูกฝักคั้นออกมาเป็นของเสีย ซึ่งแตกต่างกับเนื้อเยื่อปอดที่ไม่สามารถสร้างเนื้อเยื่อทดแทนได้ ดังนั้นการทำลายก้อนมะเร็งโดยทำให้สูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยที่สุดเป็นสิ่งจำเป็น เราจึงทำการขยับสายอากาศให้ระยะห่างของสายอากาศแคบลงเพื่อลดปริมาณการทำลายเนื้อเยื่อปอด แต่ยังสามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด

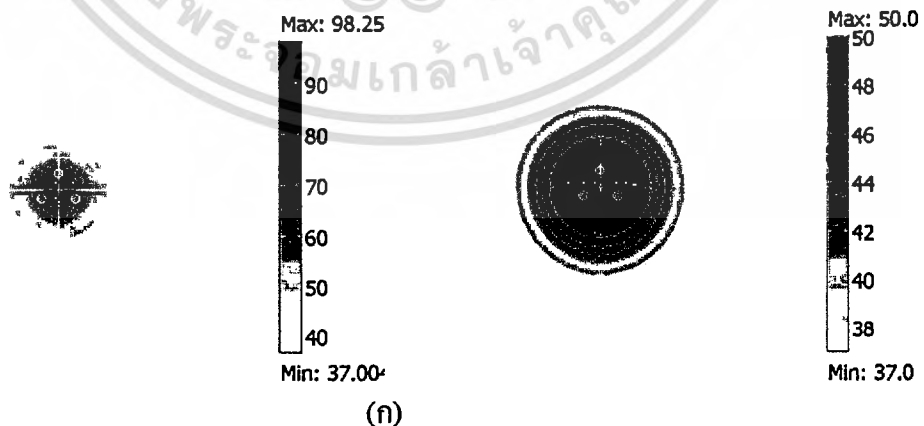
จากผลที่ผ่านมาระยะเลือกสายอากาศที่สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดและสูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยที่สุด เมื่อดูจากการกระจายจากรูปที่ 5.11 และในตารางที่ 5.6 ซึ่งจากลักษณะการ

กระจายอุณหภูมิจึงเลือกสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 4 มม. ที่มีการทำลายก้อนมะเร็ง ได้ทั้งหมดและสูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยที่สุดมาทำการทดลอง

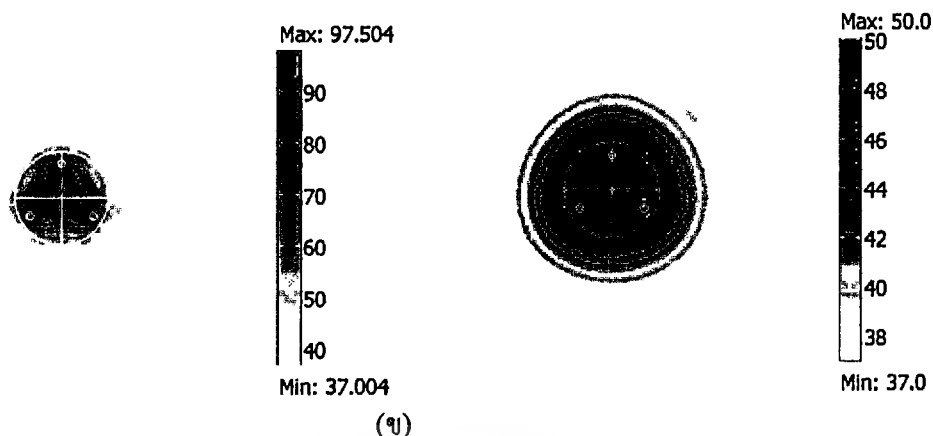


รูปที่ 5.15 แสดงถึงลักษณะการวางสายอากาศแบบสามเส้น

เนื้อเยื่อปอดมีความกว้าง 5 เซนติเมตร และมีความสูง 11 เซนติเมตร ก้อนมะเร็งมีความกว้าง 3 เซนติเมตร และมีความสูง 3 เซนติเมตร สายอากาศจะอยู่บริเวณภายในของก้อนมะเร็ง โดยจะทำการวางสายอากาศแบบสามเหลี่ยมและขยับสายอากาศให้แคบลงจากเดิมสายอากาศแต่ละเส้นจะมีความห่าง 3 ซม. เพื่อลดขนาดการทำลายเนื้อเยื่อปอดจึงวางสายอากาศโดยระยะห่างจะเท่ากับ 1 ซม. และ 2 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



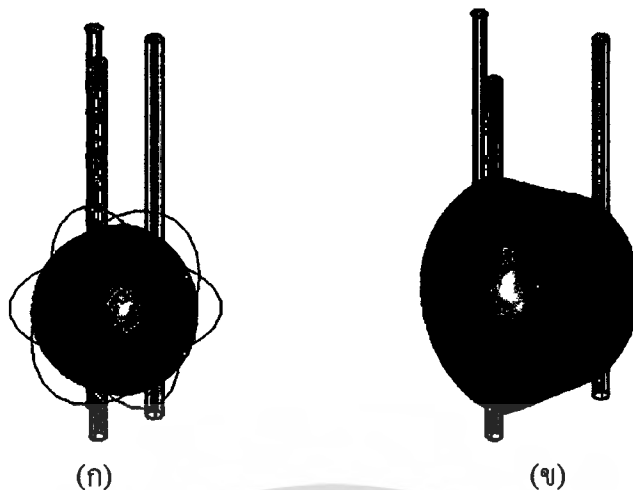
รูปที่ 5.16 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบกึ่งสลิต (Asymmetric Slot) สามเส้น ความกว้างของสลิต 4 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะภาพมุมสูง (ก) ระยะห่างสายอากาศ 1 ซม. (ข) ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม.

รูปที่ 5.16 เมื่อขยับให้สายอากาศแต่ละสายห่างกัน 1 ซม. และ 2 ซม. จะพบว่าการกระจายอุณหภูมิที่ระยะห่าง 1 ซม. ไม่สามารถที่จะทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด แต่ในสายอากาศที่มีระยะห่าง 2 ซม. มีการกระจายได้ครอบคลุมก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด

ตารางที่ 5.8 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศขนาดสลิต 4 มม.

ระยะห่างเส้นอากาศ (ซม.)	สายอากาศ	ขนาดของการกระจายอุณหภูมิ (ซม.)		
		ความกว้าง (X)	ความยาว (Y)	ความสูง (Z)
1	Asymmetric Slot	2.46	2.5	2.58
2	Asymmetric Slot	3.3	3.26	3.24
ขนาดก้อนมะเร็ง	-	3	3	3

จากขนาดของการกระจายจะเห็นได้ว่าสายอากาศที่ระยะห่าง 2 ซม. จะมีการทำลายก้อนมะเร็งได้ครอบคลุมทั้งหมดแตกต่างจากสายอากาศที่มีระยะห่าง 1 ซม. โดยสิ้นเชิง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากภาพแบบ 3 มิติ ในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.17 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 °C ของสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเส้น ความกว้างของสล็อต 4 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะ 3 มิติ (ก) ระยะห่างสายอากาศ 1 ซม. (ข) ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม.

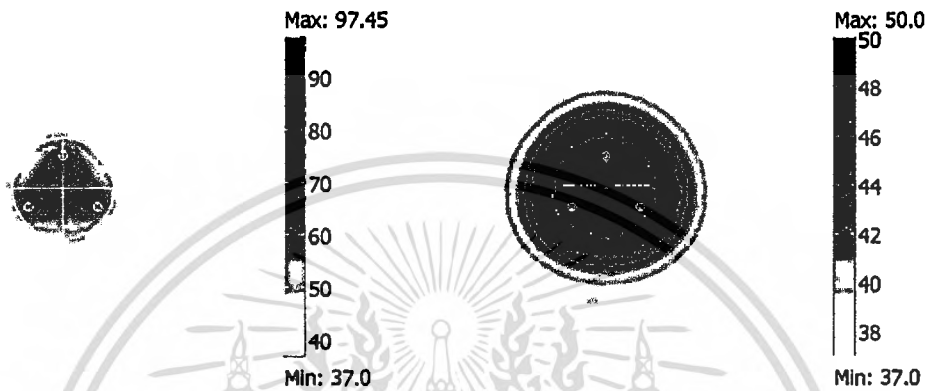
ตารางที่ 5.9 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอดของสายอากาศขนาดสล็อต 4 มม.

ระยะห่างเส้นอากาศ (ซม.)	สายอากาศ	ขนาดการทำลาย	
		ก้อนมะเร็ง (cm ³)	เนื้อเยื่อปอด (cm ³)
1	Asymmetric Slot	8.27	0
2	Asymmetric Slot	14.12	5.63
ขนาดทั้งหมด	-	14.12	849.6

จากผลที่ได้ เราจะเห็นได้ว่าสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเส้น ที่มีขนาดสล็อต 4 มม. ระยะห่างของสายอากาศ 1 ซม. ทำลายก้อนมะเร็งไป 8.27 cm³ จากก้อนมะเร็งทั้งหมด 14.12 cm³ จึงไม่สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด และเมื่อดูผลของสายอากาศที่มีระยะห่าง 2 ซม. สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดและสูญเสียเนื้อเยื่อปอดไป 5.63 cm³

จากผลที่ได้เราทำการลดระยะห่างของเส้นอากาศลง เพื่อลดขนาดการกระจายลงของอุณหภูมิ จาก 2 ซม. เป็น 1.9 ซม. ทำให้ขนาดการกระจายเล็กลงส่งผลทำให้ขนาดการทำลายไม่ครอบคลุมก้อนมะเร็ง แต่การสูญเสียเนื้อเยื่อปอดก็ลดน้อยลงด้วย

เนื่องจากการสูญเสียเนื้อเยื่อปอดยังไม่เป็นที่น่าพอใจ เมื่อพิจารณาขนาดการกระจายอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50°C ในตารางที่ 5.8 ของสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 4 มม. ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม. พบว่าส่วนของความกว้าง (X) ความยาว (Y) และความสูง (Z) ยังมีการกระจายที่เกินกว่าขนาดก่อนมะเร็งเล็กน้อย เราจึงทำการลดขนาดของสล็อตเป็น 3 มม. เพื่อลดการกระจายและให้เหมาะสมกับก้อนมะเร็ง



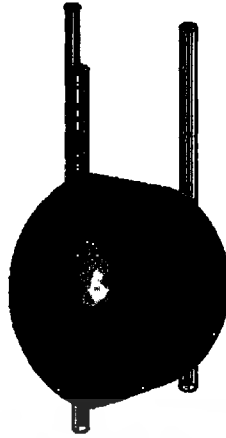
รูปที่ 5.18 การกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามด้าน ความกว้างของสล็อต 3 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน จากลักษณะภาพมุมมอง ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม.

รูปที่ 5.18 จะเห็นได้ว่าการกระจายของอุณหภูมิระหว่างสายอากาศใกล้เคียงกับก้อนมะเร็ง และบริเวณด้านหลังของสายอากาศมีการกระจายเกินกว่าก้อนมะเร็งเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 5.10 ขนาดของการกระจายของอุณหภูมิ ณ บริเวณที่มากกว่า 50°C ของสายอากาศขนาดสล็อต 3 มม.

ระยะห่างเส้นอากาศ (ซม.)	สายอากาศ	ขนาดของการกระจายอุณหภูมิ (ซม.)		
		ความกว้าง (X)	ความยาว (Y)	ความสูง (Z)
2	Asymmetric Slot	3.3	3.04	3.1
ขนาดก้อนมะเร็ง	-	3	3	3

จากตารางที่ 5.10 ขนาดของการกระจายอุณหภูมิมิมีขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดก้อนมะเร็ง มีส่วนของความกว้างที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดก้อนมะเร็งเล็กน้อย



รูปที่ 5.19 การกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ของสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ตามเส้น ความกว้างของสล็อต 3 มม. ในเนื้อเยื่อปอดที่มีการจำลองก้อนมะเร็งอยู่ภายใน ในลักษณะ 3 มิติ ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม.

ตารางที่ 5.11 ปริมาตรทำลายก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอดของสายอากาศขนาดสล็อต 3 มม.

ระยะห่างเส้นอากาศ (ซม.)	สายอากาศ	ขนาดการทำลาย	
		ก้อนมะเร็ง (cm^3)	เนื้อเยื่อปอด (cm^3)
2	Asymmetric Slot	14.12	3.94
ขนาดทั้งหมด	-	14.12	849.6

จากตารางเราจะเห็นได้ว่าขนาดของการทำลายเนื้อเยื่อปอดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 4 มม. จากผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจซึ่งมีการทำลายก้อนมะเร็งไปได้ทั้งหมดและสูญเสียเนื้อเยื่อปอดไปเพียง 3.94 cm^3

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติในการกระจายอุณหภูมิ ไปสู่เนื้อเยื่อปอดและก้อนมะเร็งของสายอากาศแบบสล็อต (Symmetric Slot) โดยเอาขนาดสล็อตตั้งแต่ 1 มม. จนถึง 15 มม. มาวิเคราะห์หาขนาดสล็อตที่เหมาะสมในการทดลองกับสายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) จากนั้นจึงทำการทดลองโดยใช้สายอากาศแบบสามเส้นระยะห่างของเส้นอากาศ 3 ซม. เพื่อเพิ่มขนาดการทำลายก้อนมะเร็งทั้งหมดและทำให้สูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้สายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 4 มม. มีการกระจายอุณหภูมิครอบคลุมก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดแต่ทำให้เนื้อเยื่อปอดสูญเสียไป 23.07 cm^3 ซึ่งมีปริมาณที่มาก จึงทำการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิและหาระยะห่างของสายอากาศที่เหมาะสมกับการทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนมะเร็ง จากผลของการทดลองจึงได้สายอากาศแบบกึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 4 มม. และระยะห่างของสายอากาศ 2 ซม. แต่ก็ยังทำให้เนื้อเยื่อปอดสูญเสียไป 5.63 cm^3 ซึ่งผลที่ได้ลดลงจากการวางสายอากาศระยะห่างของเส้นอากาศ 3 ซม. มาก และเมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิแล้วพบว่ามีการกระจายในส่วนของความสูง (แนวแกน Z) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าก่อนมะเร็งในแนวเดียวกันค่อนข้างมาก จึงทำการลดขนาดสล็อตลงทำให้ได้สายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) สามเส้น ความกว้างของสล็อต 3 มม. โดยวางสายอากาศในลักษณะสามเหลี่ยม ระยะห่างสายอากาศ 2 ซม. ซึ่งผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

5.5 ผลการทดลองในเนื้อเยื่อปอดหมู *in vitro*

การเตรียมการทดลองในเนื้อเยื่อปอดหมูแบบ *in vitro*

การทดลองจริงในเนื้อเยื่อปอดหมูมีกระบวนการดังต่อไปนี้

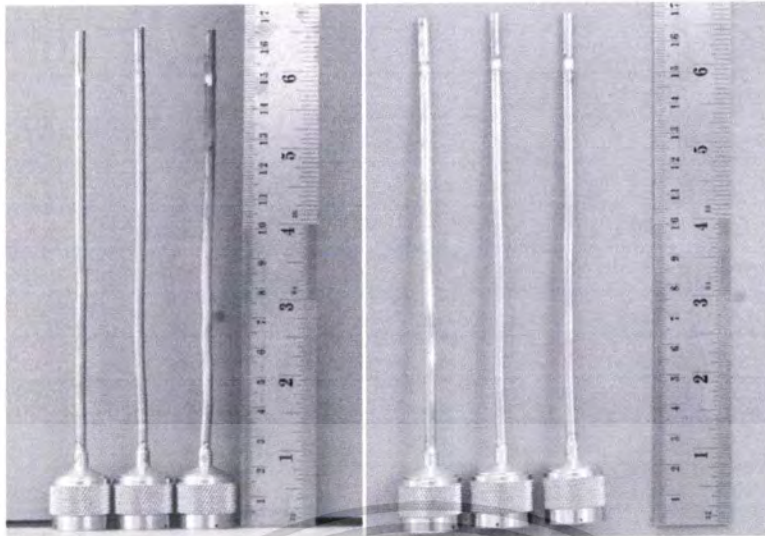
1. นำปอดหมูสดหาซื้อได้ทั่วไปมาล้างให้สะอาดแล้วจึงเตรียมไว้ในจานขนาดให้โดย ปอดหมูที่นำมาทดลองนี้มีคุณสมบัติแบบหดตัว (deflated lung)



รูปที่ 5.20 ปอดหมูแบบ *in vitro*

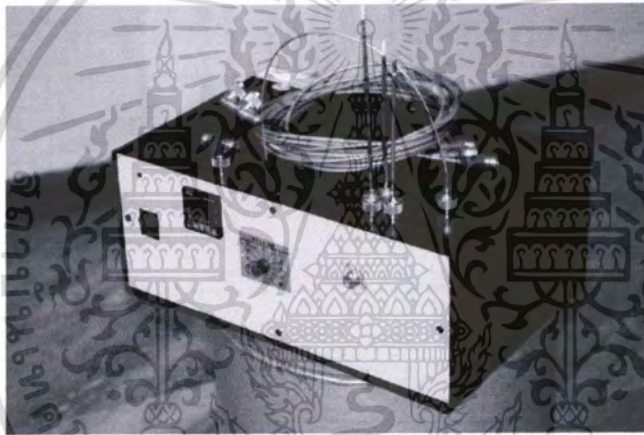
2. นำสายอากาศที่เตรียมไว้ต่อกับเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz ตั้งค่าตามผลจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



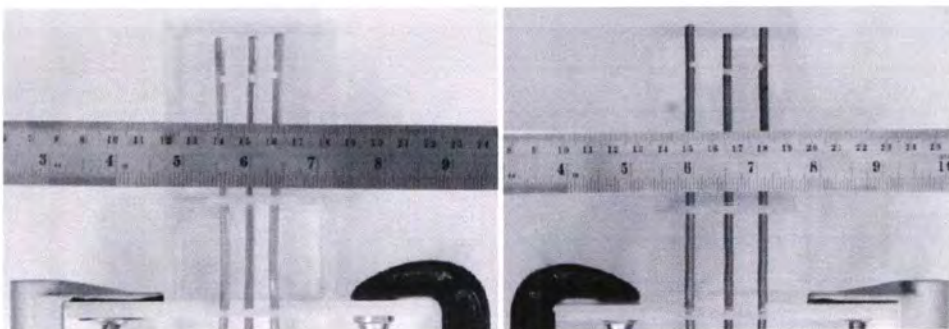
(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 5.21 (ก) สายอากาศแบบกึ่งสลิต (Asymmetric Slot) (ข) สายอากาศแบบสลิต (Symmetric Slot) (ค) เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz



(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 5.22 ลักษณะการยึดสายอากาศ (ก) สายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) สามสายอากาศระยะห่างของสายอากาศ 2 ซม. (ข) สายอากาศแบบกึ่งสลีต (Asymmetric Slot) สามสายอากาศระยะห่างของสายอากาศ 3 ซม. (ค) สายอากาศแบบสลีต (Symmetric Slot) สามสายอากาศระยะห่างของสายอากาศ 3 ซม.

จากรูปที่ 5.22 สายอากาศแต่ละแบบจะถูกยึด โดยแผ่นอะคริลิกแผ่นยาว ซึ่งเจาะรูให้มีขนาดเท่ากับสายอากาศ เพื่อที่จะสอดสายอากาศเข้าไปได้ แล้วจึงยึดกล่องอะคริลิกกับแผ่นอะคริลิกที่สอดสายอากาศเข้าไปแล้ว ยึดเข้าด้วยกันจากนั้นนำแผ่นอะคริลิกอีกแผ่นหนึ่งซึ่งตัดและเจาะรูขนาดพอดีกับกล่องสอดเข้ากับสายอากาศอีกที เพื่อยึดสายอากาศไม่ให้ขยับตอนที่กำลังทำการทดลอง

3. นำสายอากาศแทงเข้าไปในปอดแบบ *in vitro* (deflated lung) แล้วจับเวลาเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้น ใช้เวลา 5 นาทีจากนั้นรอดูผลที่เกิดขึ้น



(ก)



(ข)

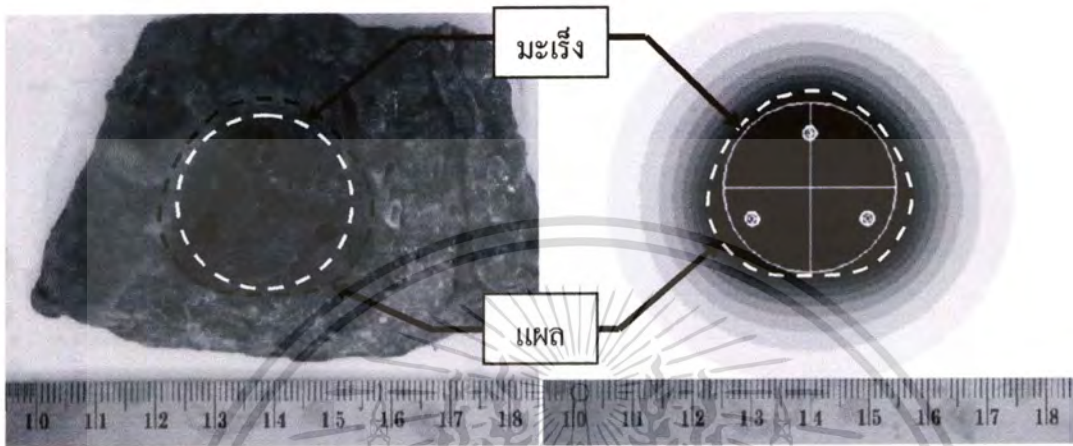


(ค)

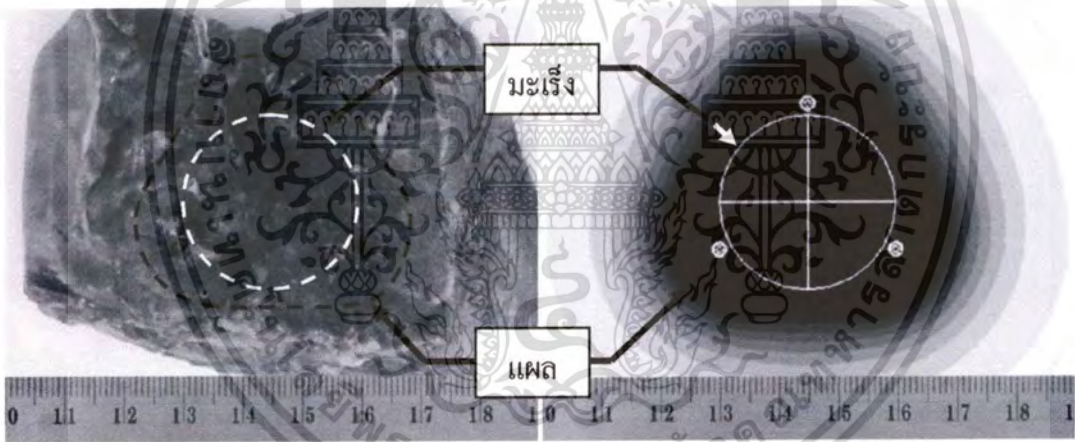
รูปที่ 5.23 ลักษณะสายอากาศเมื่อแทงเข้าไปในเนื้อเยื่อปอดแบบ *in vitro*
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1 ลักษณะรอยแผลที่เกิดจากสายอากาศเมื่อเทียบกับผลการจำลอง

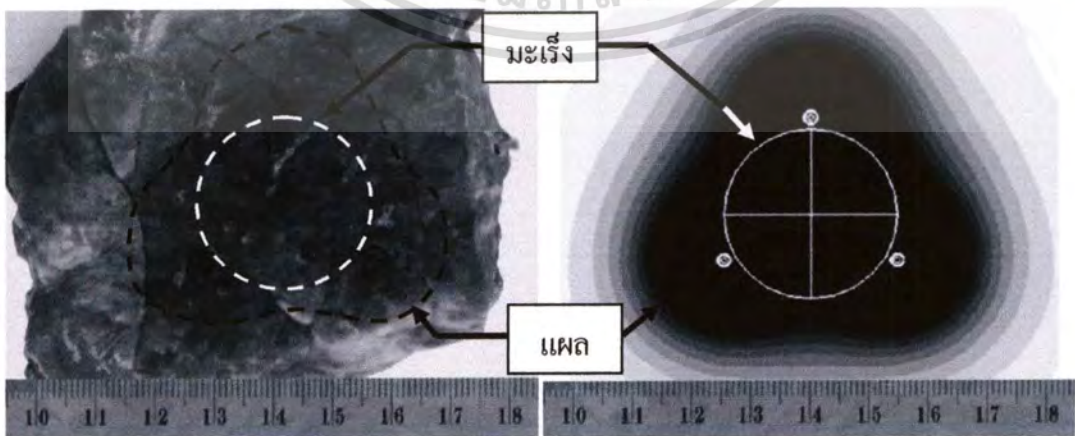
Kazuyaki Saito อ้างว่ารอยแผลของเนื้อเยื่อจะเริ่มเกิดรอยไหม้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 °C ซึ่งจะทำให้สามารถวัดขนาดรอยแผลให้สอดคล้องกับผลการจำลองได้ และเราได้ทำการวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดเพื่อความถูกต้องของบริเวณที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 °C



(ก)



(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.24 แสดงรอยแผลที่เกิดจาก (ก) สายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ตามสายอากาศ ระยะห่างของสายอากาศ 2 ซม. (ข) สายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ตามสายอากาศ ระยะห่างของสายอากาศ 3 ซม. (ค) สายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) ตามสายอากาศ ระยะห่างของสายอากาศ 3 ซม. ในปอดแบบ *in vitro*

จากรูปที่ 5.24 แสดงให้เห็นถึงรอยแผลที่เกิดจากสายอากาศแบบต่างๆ รอยประสีค่าจะ แสดงให้เห็นถึงรอยแผลของสายอากาศ ส่วนรอยประสีขาวจะแสดงให้เห็นถึงก้อนมะเร็งที่สมมติ ขึ้นเพื่อให้เห็นว่าการทำลายครอบคลุมก้อนมะเร็งขนาด 3 ซม. หรือไม่ ผลได้จากการคำนวณด้วย โปรแกรมหาพื้นที่ผิวจะได้ดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ขนาดรอยแผลที่เกิดจากสายอากาศเมื่อเทียบกับผลการจำลอง

สายอากาศแบบ	ระยะห่างของสายอากาศ (cm)	ผลจริง (cm ²)	ผลการจำลอง (มีก้อนมะเร็ง) (cm ²)	ผลการจำลอง (ไม่มีก้อนมะเร็ง) (cm ²)
Asymmetric Slot	2	8.85	8.3	8.55
Asymmetric Slot	3	14.49	16.07	16.87
Symmetric Slot	3	17.12	18.41	19.03

ตารางที่ 5.13 ผลการเปรียบเทียบขนาดรอยแผลของผลการทดลองกับผลการจำลอง

สายอากาศแบบ	ผลจริง		ผลการจำลองทั้ง 2 กรณี (%)
	ผลจำลอง(มีก้อนมะเร็ง) (%)	ผลจำลอง(ไม่มีก้อนมะเร็ง) (%)	
Asymmetric Slot	6.21	3.38	2.92
Asymmetric Slot	9.84	14.1	4.74
Symmetric Slot	7.01	10.5	4.67

จากผลที่ได้เราสามารถบอกขนาดรอยแผลในการทดลองจริงกับผลการจำลอง ในการทดลองสายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 3 mm วางแบบสามเหลี่ยมซึ่งจะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทงเข้าไปบริเวณก้นมะเร็งและระยะห่างของสายอากาศ 2 mm จากการทดลอง ขนาดของรอยแผลใกล้เคียงกัน โดยการทดลองจริงจะมีขนาดใหญ่กว่าการจำลอง (มีก้นมะเร็ง) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 6.21 % เนื่องจากการจำลองการกระจายเราได้ใส่ค่าของก้นมะเร็งลงไปและสายอากาศจะแทงเข้าไปในก้นมะเร็งการกระจายของอุณหภูมิจึงไม่กว้าง ทำให้การทดลองจริงมีการกระจายของอุณหภูมิกว้างกว่าและแผลที่ได้จึงมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งแผลที่ได้ลักษณะจะไม่เหมือนกับแผลที่ทำการจำลอง เนื่องมาจากเนื้อเยื่อปอดซึ่งมีลักษณะเหมือนฟองน้ำทำให้การกระจายไม่สม่ำเสมอ แต่ก็ยังจำกัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการได้ และเมื่อเทียบกับผลการจำลอง (ไม่มีก้นมะเร็ง) ผลออกมาใกล้เคียงกับผลจริง ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 3.38 %

การทดลองสายอากาศแบบ กึ่งสล็อต (Asymmetric Slot) ขนาดสล็อต 3 mm วางแบบสามเหลี่ยมการวางสายอากาศจะวางบริเวณรอบนอกก้นมะเร็งและระยะห่างของสายอากาศ 3 mm จากการทดลองขนาดรอยแผลจากการจำลอง (มีก้นมะเร็ง) จะใหญ่กว่ารอยแผลจากการทดลองจริง ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 9.84 % และเมื่อเทียบกับผลการจำลอง (ไม่มีก้นมะเร็ง) ผลที่ได้จะมากกว่าถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 14.1 %

การทดลองสายอากาศแบบ สล็อต (Symmetric Slot) ขนาดสล็อต 3 mm วางแบบสามเหลี่ยมการวางสายอากาศจะวางบริเวณรอบนอกก้นมะเร็งและระยะห่างของสายอากาศ 3 mm จากการทดลองขนาดรอยแผลจากการทดลองจริงจะเล็กกว่ารอยแผลจากการจำลอง (มีก้นมะเร็ง) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 10.5 % และเมื่อเทียบกับผลการจำลอง (ไม่มีก้นมะเร็ง) ผลออกมาใกล้เคียงกับผลจริง ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ 7.01 %

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้แสดงให้เห็นถึงการกระจายของอุณหภูมิ ขนาดการทำลายที่เกิดขึ้นกับก้อนมะเร็งและเนื้อเยื่อปอดที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ที่ผ่านสายอากาศโคแอกเซียล ไปยังปอด โดยงานวิจัยนี้ใช้สายอากาศโคแอกเซียลสองแบบคือ สายอากาศแบบ Symmetric Slot และ สายอากาศแบบ Asymmetric Slot และหาสายอากาศที่เหมาะสมที่สุด เพิ่มขนาดการทำลายเราจึงเพิ่มจำนวนสายอากาศเป็นสามเสา ได้สายอากาศแบบ Asymmetric Slot ขนาดสล็อต 3 มม. วางในลักษณะสามเหลี่ยมด้านเท่าระยะห่างของเสาอากาศ 2 ซม. จากนั้นจะทำการทดลองเนื้อเยื่อปอดหมูแบบนอกร่างกาย (*in vitro, deflated lung*) เพื่อดูความสอดคล้องกัน ของขนาดการทำลายที่ได้จากการจำลองและที่ได้จากการทดลอง โดยการทดลองจะใช้เครื่องกำเนิดไมโครเวฟ 2.45 GHz โดยสามารถสรุปผลการวิจัยที่ดังนี้

สายอากาศแบบ Symmetric Slot มีการกระจายอุณหภูมิรอบๆ สายอากาศ สายอากาศชนิดนี้ต้องการกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่น้อย เพื่อให้ได้อุณหภูมิประสิทธิผล โดยเราใช้เวลา 5 นาที ข้อดีคือ สามารถทำลายก้อนมะเร็งที่ขนาดไม่เกิน 2.6 ซม. และสูญเสียเนื้อเยื่อปอดไป 3.22 ซม³ ใช้กำลังงานน้อยและเมื่อเพิ่มจำนวนสายอากาศก็ทำให้ขนาดการทำลายเพิ่มมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมการกระจายของอุณหภูมิถ้าเลือกใช้ไม่เหมาะสมอาจทำให้สูญเสียเนื้อเยื่อปอดได้

สายอากาศแบบ Asymmetric Slot มีการกระจายอุณหภูมิส่วนด้านหน้าของสายอากาศ สายอากาศ สายอากาศชนิดนี้ต้องการกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก เนื่องจากช่องสล็อตของสายอากาศชนิดนี้ไม่ได้เปิดกว้างเหมือนสายอากาศแบบ Symmetric Slot เพราะคลื่นในย่านความถี่ 2.45 GHz นั้นมีความยาวคลื่นที่ 12.4 ซม. โดยที่สายอากาศแบบ Asymmetric Slot มีความกว้างสล็อตไม่ถึง 1 ซม. จึงจำเป็นต้องเพิ่มกำลังงานเพื่อให้ได้อุณหภูมิประสิทธิผล ข้อดีคือสามารถทำลายก้อนที่ขนาดไม่เกิน 2.4 ซม. สามารถปรับเปลี่ยนไปใช้กับมะเร็งที่มีรูปร่างลักษณะไม่สมมาตร โดยการเพิ่มจำนวนของสายอากาศและยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับสายอากาศแบบอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการทำลายก้อนมะเร็ง ข้อเสียคือ ต้องใช้กำลังงานที่มากเพื่อที่จะให้ได้ขนาดและอุณหภูมิที่ต้องการ

โดยเราจะทำการจำลองและดูผลของสายอากาศแบบ Symmetric Slot โดยใช้ขนาดสลิต 1 มม. จนถึง 15 มม. เพื่อดูการกระจายอุณหภูมิและการทำลายก้อนมะเร็งที่อยู่ในเนื้อเยื่อปอดซึ่งเราจะหาสายอากาศที่เหมาะสมที่จะนำมาทำการเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบ Asymmetric Slot ในขนาดสลิตเดียวจากการวิเคราะห์จึงได้ขนาด 4 มม. และ 5 มม. แต่ขนาดการทำลายของสายอากาศเสาเดียวไม่สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมด เพื่อเพิ่มขนาดการทำลาย จึงเพิ่มจำนวนของสายอากาศเป็นสามเสาอากาศโดยจัดการวางสายอากาศเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าระยะห่างของสายอากาศ 3 ซม. และทำการเปรียบเทียบสายอากาศแบบ Symmetric Slot และ สายอากาศแบบ Asymmetric Slot ดูผลที่ได้สายอากาศแบบ Asymmetric Slot ขนาดสลิต 4 มม. สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดแต่เนื้อเยื่อปอดสูญเสียไปน้อยกว่าผลทดลองที่เหลือ แต่ผลที่ได้ก็ยิ่งทำให้เนื้อเยื่อปอดสูญเสียไปมากเช่นกัน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาลักษณะการวางสายอากาศที่สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดโดยสูญเสียเนื้อเยื่อปอดน้อยที่สุด ดังนั้นเราจึงทำการขยับสายอากาศให้แคบลงจากเดิมจะวางสายอากาศแต่ละเสาห่างกัน 3 ซม. ลดลงมาเป็น 1 ซม. และ 2 ซม. จากผลที่ได้ระยะของสายอากาศ 1 ซม. ไม่สามารถทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดแตกต่างจาก 2 ซม. ซึ่งทำลายก้อนมะเร็งได้ทั้งหมดและยังสูญเสียเนื้อเยื่อปอดลดลงจากการวางแบบเดิมถึง 7.3 เท่า แต่ผลที่ได้จึงทำการทดลองอีกครั้งโดยลดขนาดสลิตลง จากเดิม 4 มม. เป็น 3 มม. ผลที่ได้ลดลงจากเดิมเล็กน้อยทำให้สายอากาศแบบ Asymmetric Slot ขนาดสลิต 3 มม. วางในลักษณะสามเหลี่ยมด้านเท่าระยะห่างของเสาอากาศ 2 ซม. ได้ผลที่ดีที่สุด

จากการทดลองกับเนื้อเยื่อปอดหมูแบบนอกร่างกาย (*in vitro*, deflated) ผลที่ได้มีความสอดคล้องกัน ลักษณะของรอยแผลที่เกิดขึ้นและการกระจายอุณหภูมิ มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ การไหลเวียนของเลือด ลักษณะของเนื้อเยื่อปอดที่แตกต่าง ซึ่งในเนื้อเยื่อจริง (*in vitro*) นั้นจะมีหลอดลมขนาดต่างๆ อยู่ทั่วทั้งปอดทำให้ลักษณะของปอดเป็นเหมือนฟองน้ำ และในการจำลองลักษณะของโครงสร้างปอดไม่ได้จำลองหลอดลมเข้าไปด้วย ซึ่งเป็นยากต่อการจำลอง ดังนั้นผลของการจำลองจึงมีขนาดใหญ่กว่าผลจริง และก้อนมะเร็งที่นำมาใส่ค่าในผลการจำลองซึ่งการทดลองไม่มี แต่โดยรวมแล้วผลที่ได้ทั้ง รูปร่าง การกระจายอุณหภูมิ และรอยแผล มีความสอดคล้องกันทั้งผลการจำลองและผลการทดลอง

6.2 ข้อเสนอแนะเพื่องานวิจัยในอนาคต

จากผลที่ได้มีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดรอยแผล ซึ่งผลที่ได้จากการจำลอง ค่าที่ใส่ไปเป็นค่าของเนื้อเดียวกันทั้งหมด แตกต่างกับเนื้อเยื่อปอดจริงที่มีลักษณะเหมือนฟองน้ำทำให้การกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ และค่าบางอย่างซึ่งมีผลทำให้การกระจายอุณหภูมิแตกต่างไป เช่น ไอ

น้ำที่เกิดในระหว่างการทดลอง การไหลเวียนเลือด อีกทั้งการหาพื้นที่ของรอยแผล ที่จะนำมาเปรียบเทียบ เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอนมากยิ่งขึ้น

อีกทั้งการวางสายอากาศในลักษณะต่างๆ สามารถทำลายมะเร็งได้หลายหลายรูปแบบ โดยการควบคุมกำลังงาน ทิศทาง และเวลา หรือใช้ร่วมกับสายอากาศแบบอื่นๆ เช่น สายอากาศปลายเปิด สายอากาศแบบสล็อต เพื่อให้เหมาะสมกลับมะเร็งที่ทำการรักษา ที่กล่าวมาทั้งหมดจึงเป็นงานที่ต้องปรับปรุงและพัฒนาต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มะเร็งปอด, <http://thaifittips.com/blog/?p=28>
- [2] Marcell Carlo Ambrogi, MD, PhD; Plolo Dini, MD and Alfredo Mussi, MD, "Radiofrequency Ablation of Lung Tumors," <http://www.ctsnet.org/section/thoracic/newtechnology/artcle-8.html>
- [3] Vaughm C, Mychaskiw G,^{2nd} and Sewell P et al, "Massive hemorrhage during radiofrequency ablation of a pulmonary neoplasm," *Anesth. Analg* (2002);94:pp.1,149-1,151.
- [4] Kasuyuki Kaito, Student Member, IEEE; Yoshihiko Hayashi; Hiroyuki Yoshimura, Member, IEEE; and Kaichi Ito, Member, IEEE; "Heating Characteristics of Array Applicator Composed of Two Coaxial-Slot Antenna for Microwave Coagulation Therapy," *IEEE Transaction on microwave theory and techniques*, Vol. 48, No. 11, November 2000
- [5] L. Hamada, K Saito, H. Yoshmura, and K. Ito, "Dielectric-Loaded coaxial-slot antenna for interstitial microwave hyperthermia: longitudinal, control of heating patterns," *Int. J. Hyperthermia*, Vol. 16, pp.229-219, 2000
- [6] T.Saiki, M.Wakadayashi, T.Nakagawa, T.IToh, T.Shiro, K.Kunieda, M.Sato, S.Uchiyama, and K.Inoue, "Ultrasonically guided percutaneous microwave coagulation therapy carcinoma," *Cancer*. Vol.74, No.3, pp.817-825, 1994.
- [7] W. Hurter, F.Reinbold, and W. J. Lorenz, "A Dipole Antenna for Interstitial Microwave Hyperthermia," *IEEE Transactions on Microwave theory and Techniques*, vol. 39, pp. 1054-1048, 1991
- [8] A.S Wright, F. T. Lee, Jr., and Malvi, "Hepatic microwave ablation with multiple antenna results in synergistically larger zones of coagulation necrosis," *Ann Sure Oncol*, Vol. 10, pp.275-283.2003
- [9] Caroline J. Simon, MD . Damian E. Dupuy, MD . William W. Mayo-Smith, MD " Microwave Ablation : Principles and Applications," *RG Vol. 25 Special Issue October 2005*.
- [10] J.D. Kraus and D. A. Flesich, "Electromagnetics with applications," 5th Edition, McGraw-Hill Company, pp. 389-419, 1999.
- [11] A.W. Guy, "History of Biological Effects and Medical Application of Microwave Energy," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-32, No.9, September 1984. pp. 1182-1199.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

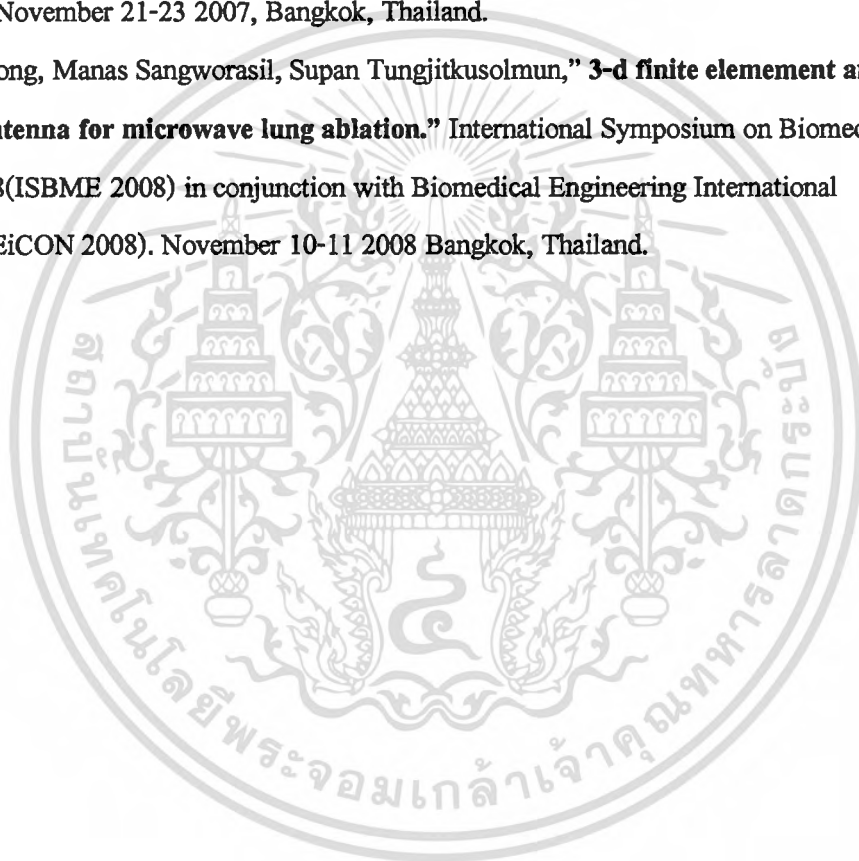
- [12] G. M. Hahn, "Hyperthermia for the Engineer: A Shost Biological Primer," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. BME-31, No.1, January 1984, pp.3-8.
- [13] M.G. Skinner, M.N. Iizuka, M.C. Kolios, and M.D. Sherar, "A theoretical comparison of energy sources – microwave, ultrasound and laser – for interstitial thermal therapy," Physics in Medicine and Biology, vol. 43, pp. 3535-3547, 1998.
- [14] H. H. Pennes, "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperature in Resting Forearm." *Journal of Applied Physiology*," vol. 1, 1948. pp. 93-122.
- [15] J.P. McGahn, J.M.Brock, H.Tesluk, W.-Z.Gu, P. Schneider, and P.D.Browing, "Hepatic ablation with use of radio-frequency electrocautery in the animal model," *J.Vasc. Inter. Radiol.*, vol 3, 1992, pp. 291-297.
- [16] P. C. Cherry and M. F. Iskander, "Calculations of heating patterns of an array of microwave interstitial antennas," *IEEE Trans Biomed Eng*, vol. 40, pp. 771-779, 1993.
- [17] H. M. Chiu, A. S. Mohan, and D. Guy, "Coaxial Slot array antenna for microwave catheter ablation," *ISRAMT'99. 1999 7th Int Symp Recent Advances Microwave Tech Proc*, pp. 203-206, 1999.
- [18] L. Hamada, "Basic analysis on SAR distribution of coaxial-Slot antenna array for interstitial microwave hyperthermia," *IEICE Trans Electronics*, vol. 78, pp. 1624-31, 1995.
- [19] Dusan fiala, Kevin j. Lomas, and Martin Stohrer, "The Limiting Radius for Freezing a Tumor During Percutaneous Cryoablation," *jap.physiology.org* July 15, 2009
- [20] Christopher L. Brace, PhD "Radiofrequency and Microwave Ablation of the Liver, Lung, Kidney, and Bone: What Are the Differences?" *Curr Probl Diagn Radiol*, May/June 2009
- [21] M. Chaichanyut, S. Tungitkusolmun, I. Potejanasaja, P. Lertprasert "Comparison Temperature Distribution between Microwave and Radio-Frequency Ablation Probe in Hepatic Cancer," *IFMBE. Proceedings.*, Vol. 14/6
- [22]S. Tungitkusolmun, S. T. Staelin, D. Haemmerich, J. Z. Tsai, H. Cao, J. G. Webster, F. T. Lee,Jr, D. M. Mahvi, and V. R. Voperian, "Three-Dimensional finite-element analyses for radio-frequency hepatic tumor ablation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 49, no. 1, pp. 3–9, Jan. 2002.
- [23] Gabriel C. "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies. Air Force materiel command", Brooks Air Force Base, Texas: AL/OE-TR-1996-0037; 1996.
- [24] F. A. Duck, **Physical Properties of Tissue**. New York: Academic, 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Adisorn Chaiyapong, Pattarapong Phasukkit, Sukuma Muisee, Manas Sangworasil, Supan Tungjitkusolmun, “**Comparison of Liver and Lung Cancer for MCT system by Using Finite Element Method.**” International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology 2007 (ICEAST2007). November 21-23 2007, Bangkok, Thailand.
- [2] Adisorn Chaiyapong, Manas Sangworasil, Supan Tungjitkusolmun, “**3-d finite element analysis of percutaneous Antenna for microwave lung ablation.**” International Symposium on Biomedical Engineering–2008(ISBME 2008) in conjunction with Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2008). November 10-11 2008 Bangkok, Thailand.



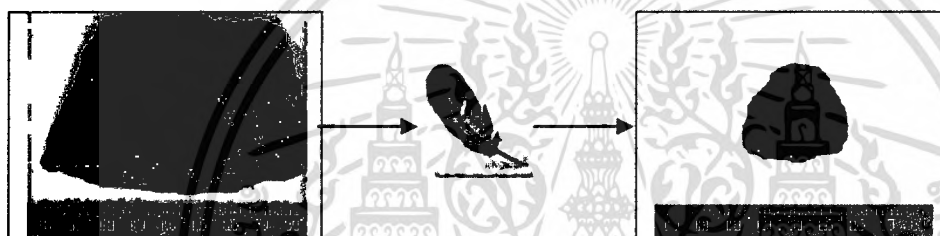
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การคำนวณหาพื้นที่รอยแผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB

เราจะใช้โปรแกรม MATLAB หาพื้นที่ของรอยแผลของการทดลองจริง เพื่อเปรียบเทียบกับรอยแผลของผลการจำลองว่ามีความใกล้เคียงมากน้อยเพียงใด

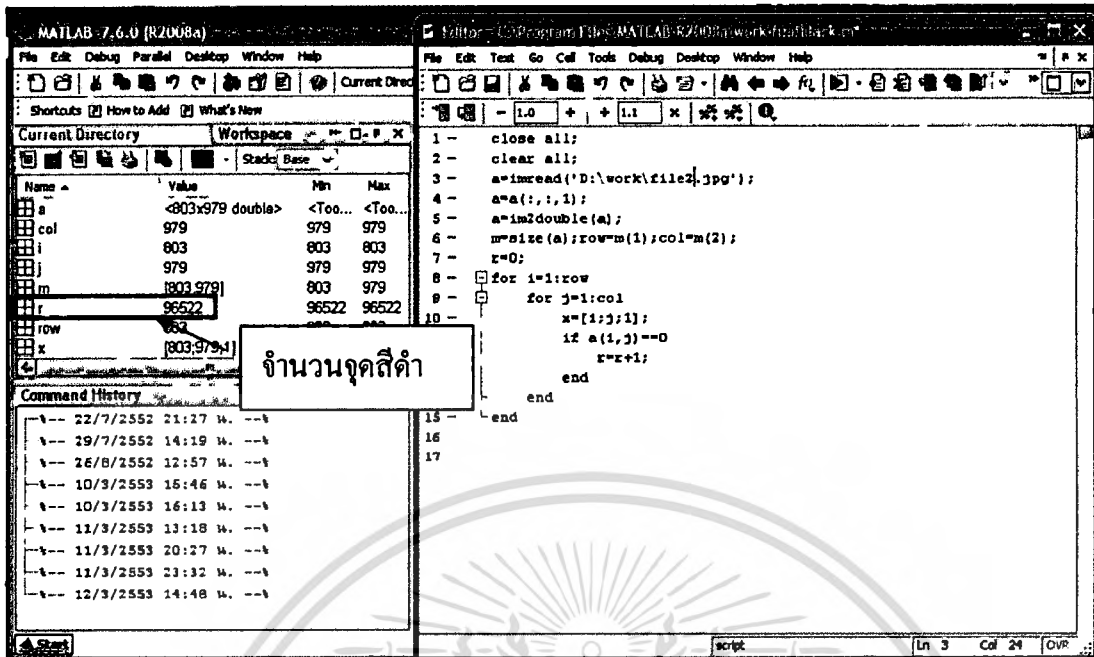
โดยในส่วนของการรอยแผลเราจะใช้โปรแกรม Adobe Photoshop CS3 กำหนดเป็นสีดำ ส่วนรอบนอกจะกำหนดให้เป็นสีขาวเพื่อสะดวกในการใช้โปรแกรมคำนวณ แล้วเหลือไม้บรรทัดเพื่อเปรียบเทียบขนาดต่อจากนั้นจึงบันทึกเป็นไฟล์แรก



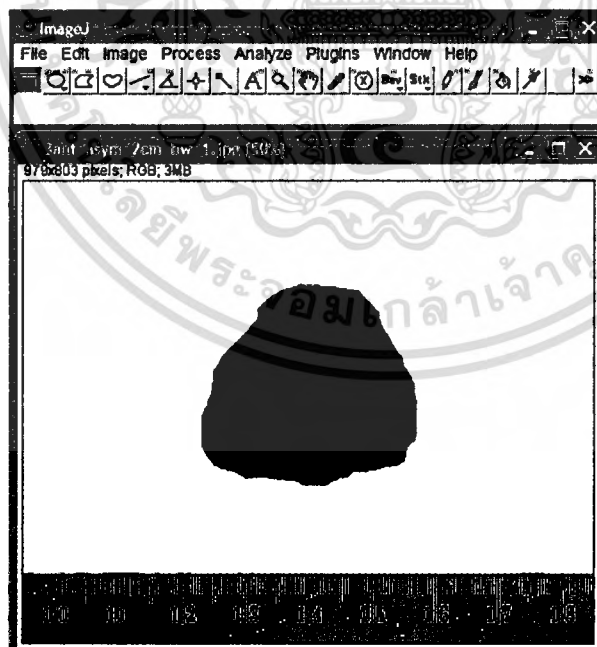
จากนั้นเราจะนำรูปที่ถูกบันทึกเป็นไฟล์แรก ใช้โปรแกรมตัดส่วนที่เป็นไม้บรรทัดออก เพื่อไม่ให้ค่าของสีดำของไม้บรรทัดปนกับค่าสีดำของรอยแผล เมื่อใช้โปรแกรมคำนวณออกมา ต่อจากนั้นจึงบันทึกเป็นไฟล์ที่สอง



ต่อไปนำภาพของไฟล์ที่สองโหลดเข้าโปรแกรม MATLAB เพื่อหาจำนวนจุดภาพสีดำโดยกำหนดให้โปรแกรมหาเพียงจุดสีดำอย่างเดียว ผลที่ได้ดังจะเห็นในรูปที่จะแสดงให้เห็นดู



เมื่อหาจำนวนของจุดสีดำในภาพได้แล้ว เราจึงหาพื้นที่ หนึ่งจุดภาพ (pixel) ต่อ ตารางเซนติเมตร ของภาพโดยใช้โปรแกรม ImageJ ในการหาจุดภาพ
จำนวน หนึ่งจุดภาพ (pixel) ต่อ ตารางเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดรูปนั้นๆ



เมื่อหาเสร็จเราจะ ได้ค่า หนึ่งจุดภาพ (pixel) ต่อ ตารางเซนติเมตร นำจำนวนจุดสีดำที่ได้จาก โปรแกรม MATLAB มาคูณกลับ ค่าหนึ่งจุดภาพ (pixel) ต่อ ตารางเซนติเมตร ก็จะได้พื้นที่ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอดิศร ไชยพงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	19 กันยายน 2525 ที่ราชบุรี
ที่อยู่	180/5 หมู่1 ต.สวนผึ้ง อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี 70180
ประวัติการศึกษา	2549 วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้