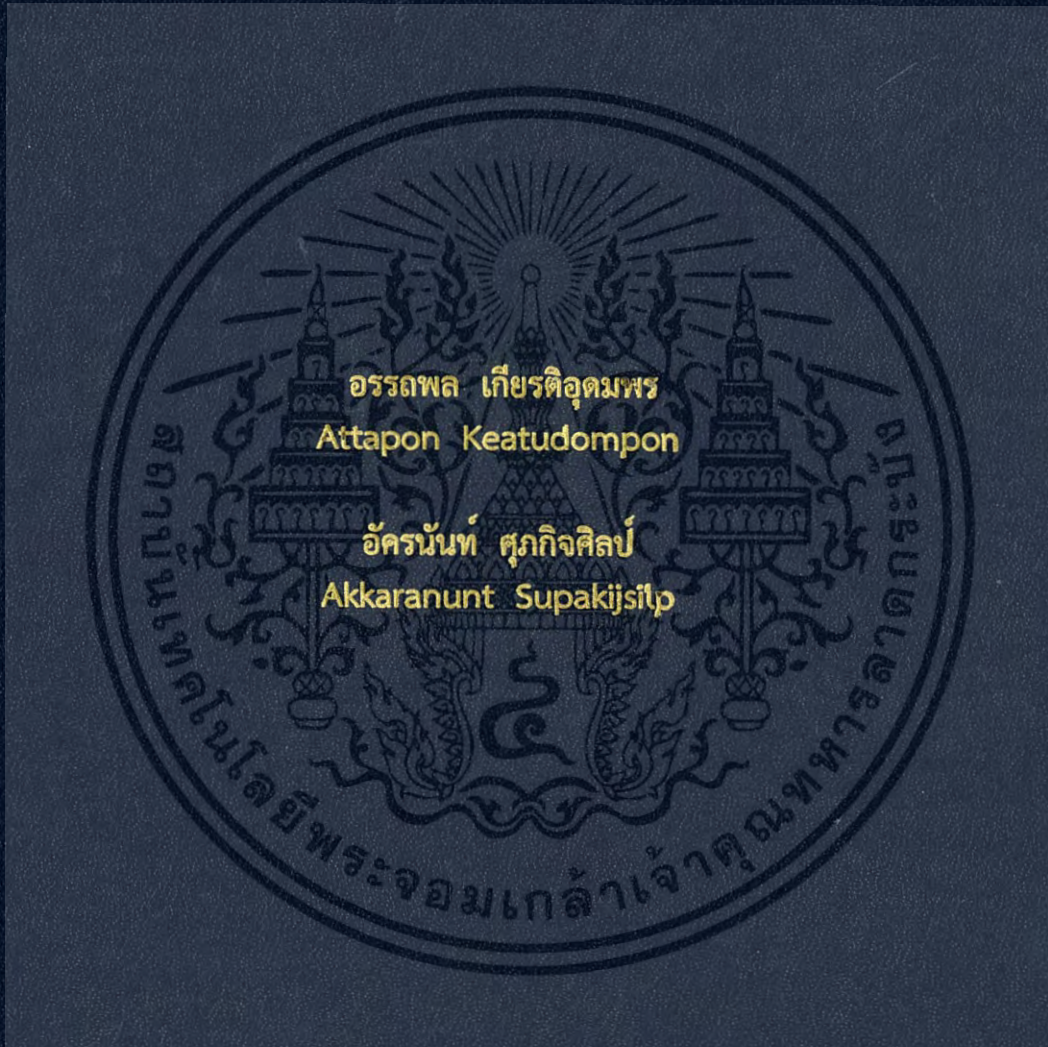


ระบบทำลายเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ
Microwave Ablation Systems for Lungs Cancer Ablations



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ระบบทำลายเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ

Microwave Ablation Systems for Lungs Cancer Ablations

โดย

อรรถพล เกียรติอุดมพร

อัคนันท์ ศุภกิจศิลป์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์	ปีการศึกษา 2559
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระบบทำลายเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ Microwave Ablation Systems for Lungs Cancer Ablation
ผู้จัดทำ	นายอรรถพล เกียรติอุดมพร รหัสประจำตัว 56011422 นายอัคนันท์ ศุภกิจศิลป์ รหัสประจำตัว 56011440

รายงานนี้ผ่านการตรวจโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



๐
๗๙-๙.

(ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบทำลายเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ
นักศึกษา	นายอรรถพล เกียรติอุดมพร
	นายอัคนันท์ ศุภกิจศิลป์
รหัสประจำตัว	56011422
	56011440
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบการพาความร้อนโดยสร้างเครื่องจี้ที่ใช้บำบัดรักษาเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ 2.45 GHz เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของความร้อนที่เกิดขึ้น และได้มีการจำลองการทำลายเซลล์มะเร็งด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานด้วยระเบียบทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (COMSOL version 3.5a) และสร้างชุดกำเนิดความถี่ไมโครเวฟที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Uno) โดยเลือกใช้สายอากาศที่เป็นทางผ่านของคลื่นไมโครเวฟนั้นเป็นสายอากาศชนิด coaxial แบบเปิดปลายในส่วนของชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟนั้นประกอบไปด้วยส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Uno), ชุดเรกูเลเตอร์แปลงไฟสลับ, หม้อแปลงไฟฟ้า และ แมกนิทรอน โดยจะนำไฟฟ้าที่จ่ายผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์, ชุดเรกูเลเตอร์แปลงไฟสลับ, หม้อแปลงไฟฟ้า ไปเปลี่ยนเป็นคลื่นไมโครเวฟที่ตัวแมกนิทรอน โดยคลื่นไมโครเวฟที่ได้จากแมกนิทรอน นั้นจะผ่านไปยังสายอากาศชนิด coaxial และส่งออกไปยังปลายของสายอากาศที่เปิดไว้ กำเนิดออกเป็นความร้อนบริเวณปลายสาย ซึ่งจะใช้ความร้อนนี้ในการทำลายเซลล์มะเร็งที่ปอด

Thesis	Microwave Ablation Systems for Lungs Cancer Ablation
Student	Mr. Attapon Keatudompon Mr. Akkaranunt Supakijsilp
Student ID.	56011422 56011440
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Biomedical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Pattarapong Phasukkit

Abstract

This thesis purposes is to study the impact of heat convection by build an ablation device that use in lungs cancer treatment with microwave(2.45GHz) for analyzing the effect of the heat that occurs and we have conducted the cancer ablation by finite element method(COMSOL3.5a) and build microwave generator that controlled by microcontroller(Arduino Uno) in which we use the open-tip coaxial antenna to be the microwave transmitter. The microwave generator components are microcontroller(Arduino Uno), Alternating current regulator, transformer and magnetron. The microwave that has been generated from magnetron will pass through the open-tip coaxial antenna and the heat waves will occurs at the tip then we use this heat waves to eliminate the lungs cancer cells.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ดี ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ ที่ให้คำชี้แนะนำช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับการทำวิจัยทดลองทดลองจนการเป็นห่วง เป็นใยในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังให้ความรู้ แรงบันดาลใจและประสบการณ์ที่มีค่ามากแก่ ข้าพเจ้า ผู้ทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในการอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สำหรับการทดสอบอุปกรณ์ต้องขอขอบพระคุณ อ. กิตติพันธ์ รุ่งประเสริฐ จากมหาวิทยาลัย รังสิตที่กรุณาจัดเตรียมเครื่องช่วยหายใจสำหรับการเก็บผลการทำลายเซลล์ปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่เลี้ยงดูอบรมสั่งสอนและให้การศึกษาทำให้คณะ ผู้จัดทำมีวันนี้ได้และยังให้คำปรึกษาในทุกๆด้านรวมถึงเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำในการทำสิ่งต่างๆให้ ประสบความสำเร็จ

อรรถพล

เกียรติอุดมพร

อัคนันท์

ศุภกิจศิลป์



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 โครงสร้างปริญญานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน.....	5
2.1 กายวิภาคและสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อหายใจ.....	5
2.1.1 ปอด (Lung).....	5
2.1.2 เยื่อหุ้มปอด (Pleural).....	5
2.1.3 การแบ่งส่วนย่อยของปอด.....	6
2.1.4 การแยกแขนงของหลอดลม (Bronchial Tree).....	6
2.1.5 ถุงลมและถุงลมย่อย (Alveolus และ Pulmonary Alveoli).....	7
2.1.6 ความจุของปอด (Lung Capacity).....	8
2.2 โรคมะเร็งปอด (Lung Cancer).....	8
2.2.1 ลักษณะของมะเร็งปอด.....	8
2.2.2 อาการที่แสดง.....	10

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.3	ปัจจัยเสียงมะเร็งปอด.....	10
2.2.4	ชนิดของโรคมะเร็งปอด.....	11
2.3	พื้นฐานการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อ.....	12
2.4	การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer).....	13
2.4.1	การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer).....	14
2.4.2	การพาความร้อน (Convection Heat Transfer).....	14
2.4.3	การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer).....	15
2.5	ความหมายของคลื่นไมโครเวฟ และความสามารถในการเกิดความร้อนในเนื้อเยื่อ.....	15
2.5.1	ความหมายของไมโครเวฟ.....	16
2.5.2	การนำไมโครเวฟไปใช้งานทางการแพทย์.....	16
2.5.3	ผลต่อสุขภาพเมื่อได้รับไมโครเวฟ.....	16
2.6	สายนำสัญญาณสำหรับความถี่ไมโครเวฟ.....	17
2.7	โหมดการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นในสายนำสัญญาณ (Mode of Propagation).....	18
2.8	สายโคแอกเชียล.....	20
2.8.1	การส่งคลื่นในสายโคแอกเชียล.....	21
2.9	สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes).....	23
2.10	สมการการพาและการนำ (Convection and Conduction Equation).....	23
2.11	อาร์ดูอโน้ (Arduino).....	24
2.11.1	Arduino Board.....	24
2.11.2	Arduino IDE.....	25
2.12	MCP4725 I2C DAC Breakout Boards.....	26
2.13	ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method).....	26
2.14	แมกนีตรอน (Magnetron).....	28
2.15	เรกกูเลเตอร์แปลงไฟสลับชนิดSCR(SCR Regulator).....	28
2.16	หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer).....	29
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.1	การออกแบบการจำลอง.....	30
3.1.1	แบบจำลองของสายอากาศที่อยู่ในเนื้อเยื่อปอด.....	30

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2	แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	32
3.2.1	การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition).....	32
3.3	การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ไมโครเวฟ.....	37
3.3.1	หน่วยประมวลผล.....	37
3.3.2	หน่วยควบคุมvoltage.....	38
3.3.2.1	การทำงานของ I2C Bus.....	41
3.3.3	แมกนีตรอนและชุดหม้อแปลงไฟฟ้าและวงจร.....	42
3.3.4	Virtual Power Meter Software และ Wideband Power Sensor.....	43
3.4	การจัดเตรียมการทดลอง (Experiment Setup).....	45
บทที่ 4	ผลการจำลองการทำงานและผลการทดลอง.....	46
4.1	บทนำทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	46
4.2	ผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	46
4.3	ผลการทดลอง.....	47
4.3.1	ผลการทดลองที่ 1.....	47
4.3.2	ผลการทดลองที่ 2.....	48
4.3.3	ผลการทดลองที่ 3.....	52
บทที่ 5	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1	สรุปผลงานวิจัย.....	55
5.2	ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป.....	56
	เอกสารอ้างอิง.....	57
	ภาคผนวก.....	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดขนาดของสายอากาศ.....	31
3.2 รายละเอียดของค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อปอดขณะหด.....	36
4.1 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการใช้คลื่นไมโครเวฟทำลายเนื้อเยื่อปอด โดยใช้พลังงาน 40 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที พร้อมวัดอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดที่เปลี่ยนแปลง.....	53
4.2 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการใช้คลื่นไมโครเวฟทำลายเนื้อเยื่อปอด โดยใช้พลังงาน 60 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที พร้อมวัดอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดที่เปลี่ยนแปลง.....	53
4.3 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการใช้คลื่นไมโครเวฟทำลายเนื้อเยื่อปอด โดยใช้พลังงาน 80 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที พร้อมวัดอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดที่เปลี่ยนแปลง.....	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพแสดงโรคมะเร็งปอด.....	2
2.1 แสดงส่วนประกอบของปอด.....	6
2.2 แสดงถุงลมภายในปอด.....	8
2.3 แสดงลักษณะของปอดที่เป็นโรคมะเร็ง.....	9
2.4 กราฟแสดงผลกระทบของอนุมูลอิสระที่มีต่อเซลล์มะเร็ง.....	13
2.5 แสดงตเปกตรัมแถบความถี่ในย่านความถี่ต่างๆ.....	15
2.6 แสดงคลื่น TEM (ก), คลื่น TE (ข), คลื่น TM (ค).....	19
2.7 สายโคแอกเชียล (ก), แบบใช้โซลิตไดอิเล็กทริก (ข).....	21
2.8 แสดงการกระจายของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กในสายโคแอกเชียล.....	21
2.9 แสดงทิศทางสนาม E และ H ที่แพร่กระจายไปตามสายโคแอกเชียล.....	22
2.10 ตัวอย่าง Arduino Board Uno R3.....	24
2.11 ตัวอย่าง Arduino IDE และโค้ดที่ใช้ในปริิญาณินพนธ์นี้.....	25
2.12 ตัวอย่างการต่อ MCP4725 I2C DAC Breakout Boards เข้ากับบอร์ด Arduino	26
2.13 ตัวอย่างการทำไฟไนต์เอลิเมนต์ ซิมูเลชันการกระจายของ PaO2 ในปอดของมนุษย์.....	27
2.14 ตัวอย่างแมกนีตรอน (รูป ก) และโครงสร้างแมกนีตรอน (รูป ข).....	28
2.15 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	29
3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศโคแอกเชียลแบบปลายเปิด(COA).....	30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 แบบจำลองสายอากาศโคแอกเซียลแบบปลายเปิด(COA)ด้วยคอมพิวเตอร์.....	31
3.3 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่อยู่ในเนื้อเยื่อปอด(ขณะหด).....	32
3.4 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของ Port ในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	33
3.5 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของ Open Tip ในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	33
3.6 แสดงการกำหนดพลังงานให้กับ Port	34
3.7 แสดงการกำหนดความถี่ 2.45GHz ให้กับ Electromagnetic	35
3.8 แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด(ขณะหด).....	35
3.9 แสดงภาพรวมวงจรกำเนิดคลื่นแมกนีตรอน.....	37
3.10 แสดงการเชื่อมต่อ MCP4725 ด้วย Arduino	38
3.11 แสดงการต่อ Switch กับArduino	38
3.12 วงจรปุ่มกดควบคุม.....	39
3.13 MCP4725 With Arduino	39
3.14 ชุดRegulatorแปลงไฟกระแสสลับ.....	40
3.15 ตัวอย่าง 1602 LCD (Bluescreen) 16 x 2 และ backlight of the LCD screen พร้อม interface	40
3.16 I2C Interface	40
3.17 ลักษณะการการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C BUS.....	41

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 แมกนีตรอน.....	42
3.19 พัดลมระบายอากาศ.....	42
3.20 ชุดหม้อแปลงไฟฟ้า.....	42
3.21 Wideband Power Sensor	43
3.22 ขั้วสายอากาศนำไมโครเวฟ.....	43
3.23 โหลดสำหรับไมโครเวฟ.....	43
3.24 ตัวอย่างการเชื่อมต่อ Power Sensor	43
3.25 การตรวจจับกำลังไมโครเวฟด้วย VPM	44
3.26 ตัวอย่างการแสดงผลการตรวจจับค่ากำลังไมโครเวฟ.....	44
3.27 การเชื่อมต่อวงจรระบบสร้างคลื่นไมโครเวฟ.....	44
3.28 ส่วนประกอบวงจรและLCDแสดงผล.....	44
3.29 การจัดเตรียมการทดลอง.....	45
3.30 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องช่วยหายใจโดยปรับค่าให้เท่ากับการหายใจของมนุษย์ปกติ.....	45
4.1 แสดงผลจำลองการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อขณะหด.....	46
4.2 แสดงการกระจายความร้อนในไขขาวของคลื่นไมโครเวฟของสายอากาศแบบปลายเปิด.....	47
4.3 แสดงขนาดการกระจายความร้อนในไขขาวของสายอากาศแบบปลายเปิด (COA).....	48
4.4 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าบนจอ LCD	49

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้า 40 W (Low)	49
4.6 ทดสอบการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด (40วัตต์)	49
4.7 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้า60 W (Medium)	50
4.8 ทดสอบการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด (60วัตต์)	50
4.9 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้า 80 W (High)	50
4.10 ทดสอบการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด (80วัตต์)	51
4.11 สายอากาศโคแอกเซียลแบบปลายเปิด (COA)	51
4.12 ส่วนของชิ้นเนื้อที่ถูกทำลายด้วยความร้อนเรียงตามหมายเลขกำลังไฟฟ้า40W, 60W และ 80W	51
4.13 การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยโหมดการตรวจวัดอุณหภูมิของ Fluke Multimeter	52
4.14 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดบริเวณใกล้เคียงสายอากาศ (COA).....	54

บทที่ 1

บทนำ

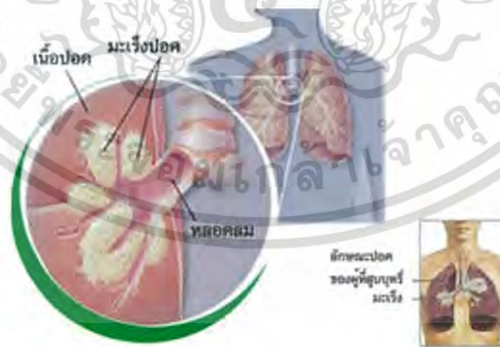
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคมะเร็งปอดเป็นมะเร็งที่พบได้บ่อยและเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้นๆของประชากรโลก อัตราการรอดชีวิตใน 5 ปีหลังการวินิจฉัยโรคมะเร็งปอดจะต่ำมากการศึกษาทั่วโลกมีค่าเฉลี่ยจะอยู่ประมาณร้อยละ 10-20 สำหรับประเทศไทยมีการรอดชีวิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยคืออยู่ที่ต่ำกว่าร้อยละ 10 จากสถิติมะเร็งของไทยในช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2552 พบว่าในเพศชายมะเร็งปอดพบสูงเป็นอันดับสองและพบบ่อยเป็นอันดับสี่ในเพศหญิง ประเมินอัตราอุบัติการณ์ (estimated incidence rate) 26.2 ต่อแสนของประชากรในเพศชาย รองจากมะเร็งตับและทางเดินน้ำดี พบมะเร็งปอด 11.5 ต่อแสนของประชากรในเพศหญิงรองจากมะเร็งเต้านม มะเร็งตับและทางเดินน้ำดี และมะเร็งปากมดลูก อัตราส่วนการเป็นมะเร็งปอดในชายต่อหญิงเท่ากับ 2.3 ต่อ 1 แม้ว่าโรคมะเร็งปอดจะพบได้มากขึ้นในปัจจุบันแต่ส่วนใหญ่ของการวินิจฉัยจะพบเมื่อโรคนั้นอยู่ในระยะที่เป็นมากแล้ว การให้การวินิจฉัยในระยะเริ่มแรกจึงมีความสำคัญเพื่อให้ผลการรักษาดีขึ้นโดยแพทย์ผู้ดูแลควรสงสัยโรคนี้นี้ในผู้ป่วยที่มีรอยโรคผิดปกติในปอดที่เป็นไปได้ก่อนหน้าที่ผู้ป่วยจะมีอาการ อาการแสดงของมะเร็งปอด โดยในประเทศไทยนั้นข้อมูลจากกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2556 พบว่าคนไทยเสียชีวิตจากโรคมะเร็งประมาณ 60000 คนต่อปี หรือเฉลี่ยชั่วโมงละ 7 ราย โดยวิธีการรักษามะเร็งนั้นมีหลายแบบเช่น การฉายรังสี การใช้เคมีบำบัด การรักษาด้วยความเย็น การผ่าตัดเป็นต้น จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเช่น การผ่าตัดเอาก้อนมะเร็งออกอาจให้ผลรักษาที่ดีแต่ในบางกรณีไม่สามารถผ่าตัดได้ เนื่องจากผู้ป่วยมีสภาพร่างกายไม่สมบูรณ์หรือมีโรคแทรกซ้อนอื่นๆและเสี่ยงต่อการเสียเลือดมาก การรักษาโดยใช้เคมีบำบัดอาจทำให้เกิดผลข้างเคียงด้านลบ ดังนั้นการรักษาด้วยความร้อนจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้กับผู้ป่วยที่มีลักษณะดังกล่าว โดยที่วิธีการนี้นั้นจะทำให้ก้อนเซลล์มะเร็งที่ได้รับความร้อนตายหรือมีการเสื่อมสภาพลง และสามารถยับยั้งมิให้โรคดำเนินไปเร็วขึ้น อาการก็จะทุเลาลง แต่อาจไม่หายขาดซึ่งวิธีการรักษาด้วยวิธีนี้ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายโดยลักษณะบาดแผลที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก ผู้ป่วยใช้เวลาพักฟื้นสั้นและมีอัตราการรอดชีวิตสูง อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการรักษาต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรักษาในรูปแบบใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave Ablation) เป็นวิธีการรักษาโดยการสร้างความร้อนจากไฟฟ้าในย่าน 2.45 GHz การใช้ไฟฟ้าคลื่นความถี่สูงส่งผ่านอิเล็กโทรดจะทำให้มีการแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าเข้าสู่เนื้อเยื่อส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อเยื่อรวมถึงก้อนเซลล์มะเร็งซึ่งในกรณีที่เป็นแบบอิเล็กโทรดเดี่ยว(Single Electrode) ก็จะกำหนดให้ร่างกายเปรียบเสมือนกราวด์ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะสามารถแพร่ออกมารอบ ๆ ส่วนปลายอิเล็กโทรด และเมื่อนำไปใช้ในการรักษาจริงก็พบว่าการรักษาจะได้ผลสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายๆอย่าง เช่น ลักษณะก้อนเซลล์มะเร็ง ตำแหน่งเซลล์มะเร็งและพารามิเตอร์ต่างๆของอวัยวะ โดยในการจำลองการทำลายเซลล์มะเร็งนั้นจะใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จะสามารถมองเห็นปัญหาต่างๆ รวมถึงคุณลักษณะต่างๆที่เกิดขึ้นได้ครบถ้วนก่อนการทดลองจริง ซึ่งวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายอย่างมากเมื่อเทียบกับการทดลองจริงในการรักษามะเร็ง โดยใช้หลักการทางด้าน MCT(Microwave coagulation Therapy) เป็นแนวทางอีกวิธีการหนึ่ง ที่ใช้ในการรักษามะเร็ง ในการรักษาแบบ MCT นี้จะเป็นการรักษาเฉพาะจุดโดยการใช้คลื่นไมโครเวฟส่งผ่านตัวนำแล้วเกิดความร้อนด้านปลายของตัวนำหรือสายอากาศและในการสร้างคลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นจะสร้างจากตัวหลักคือ Magnetron และควบคุมเริ่มต้นจาก Arduino Uno, MCP4725 12 bit dac converter ,SCR Regulator และนำคลื่นไมโครเวฟที่ใช้นั้นไปใช้กับสายอากาศเพื่อสร้างความร้อนทำลายเซลล์มะเร็ง

ปริญญาพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของการพาคความร้อนในการทำลายเซลล์มะเร็งปอด โดยในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิ ลักษณะและขนาดของรอยแผลที่เกิดขึ้นจากการทำลาย โดยในการวิจัยนี้นั้นปอดจะมีทั้งสภาวะหายใจเข้าและหายใจออกซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆจะต่างกันทั้งสองสภาวะจะต้องพิจารณาถึงจุดนี้ด้วยและผลไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการรักษาก่อนทำการรักษาจริง



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงโรคมะเร็งปอด [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบภาวะของการพาความร้อน ในการรักษาเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของคลื่นไมโครเวฟและหลักการกำเนิดคลื่นไมโครเวฟและระบบควบคุมที่ทันสมัย

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในการรักษาเซลล์มะเร็งปอด

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบทดลองผลการจำลองและผลที่ได้จากการทดลองจริง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่ไมโครเวฟในการรักษาเซลล์มะเร็งปอดนั้นอัตราการไหลและสภาวะการหายใจเข้าออกของปอดนั้นจะมีผลกระทบต่อการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อเนื่องจาก สภาวะค่าพารามิเตอร์ของปอดจะต่างกันทั้งสองสภาวะ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) หรือ FEM ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขชนิดหนึ่งสำหรับแก้สมการอนุพันธ์ในการแก้ปัญหา การวิเคราะห์ด้านความร้อนใช้สมการความร้อนทางชีววิทยา (Bioheat Equation) การวิเคราะห์ผลกระทบการไหลของเลือดใช้สมการการไหลนาเวียร์-สโตกส์ (Incompressible Navier-Stokes) และ สมการการพาและการนำ (Convection and Conduction) เพื่อศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิ, การกระจายของปริมาณ SAR และขนาดของการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อปอดกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นรวมทั้งศึกษาผลกระทบของการพาความร้อนในเนื้อเยื่อปอดทั้งสองสภาวะหายใจเข้าและออก

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1 การใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง
- 1.5.2 ศึกษาหลักการกำเนิดคลื่นไมโครเวฟและหลักการสร้างวงจรคลื่นไมโครเวฟ
- 1.5.3 ศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิของเนื้อเยื่อปอดทั้งสภาวะการหายใจเข้าและออก
- 1.5.4 ทดลองกับเนื้อเยื่อปอดหมู เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ในแต่ละบทจะมีเนื้อหา ดังนี้

บทที่1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย และขอบเขตของงานวิจัย

บทที่2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องซึ่งจะประกอบไปด้วยกายวิภาคและสรีรวิทยาของปอด โรคมะเร็งปอด วิธีการรักษา พื้นฐานการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อ ความหมายของคลื่นไมโครเวฟและความสามารถในการเกิดความร้อนในเนื้อเยื่อ สายนำสัญญาณสำหรับความถี่ไมโครเวฟ สายโคแอกเซียล สมการความร้อนทางชีววิทยา พลศาสตร์ของเลือด สมการนาเวียร์-สโตกส์ ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ การสร้างวงจรถ่ายคลื่นความถี่ไมโครเวฟ การทำงานของแมกนีตรอน Arduino Uno MCP4725

บทที่3 กล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย โดยเริ่มต้นด้วยการออกแบบโครงสร้างจำลองเนื้อเยื่อปอดและโครงสร้างของสายอากาศ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรถ่ายคลื่นความถี่ไมโครเวฟ การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

บทที่4 กล่าวถึงผลการจำลองการทำงานและการทดลองของงานวิจัย การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์การกระจายความร้อนของคลื่นไมโครเวฟในปอดกรณีต่อกับเครื่องช่วยหายใจ

บทที่5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะถึงแนวทางในงานวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 กายวิภาคและสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อหายใจ

2.1.1 ปอด (Lung)

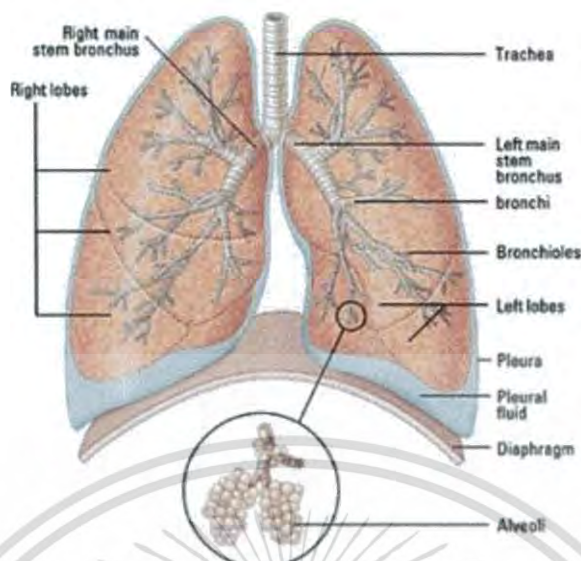
ปอด เป็นอวัยวะรูปร่างคล้ายกรวยตั้งอยู่ในช่องอก มีปริมาตรประมาณ 2 ใน 3 ของทรวงอก ปอดขวาจะสั้นกว่าปอดซ้าย เนื่องจากตับซึ่งอยู่ทางด้านล่างดันขึ้นมา ส่วนปอดซ้ายจะแคบกว่าปอดขวาเพราะว่ามีหัวใจแทรกอยู่ ส่วนฐานของปอดวางอยู่บนกระบังลม ส่วนยอดมีลักษณะมนยื่นสูงเลยกระดูกส่วนคลาวิเคิล (clavicle) ขึ้นไปอยู่ในส่วนล่างของคอเล็กน้อย

ขณะมีชีวิตปอดมีลักษณะหยุ่นนุ่มคล้ายฟองน้ำ ในเด็กมีสีชมพู ในผู้ใหญ่อาจจะมีสีคล้ำและมีจุดดำเป็นหย่อมที่เกิดการสะสมของฝุ่นละออง เช่น จาก ควันบุหรี่ หรือท่อไอเสียรถยนต์ เป็นต้น ฝุ่นละอองเหล่านี้จะถูกจับกินโดย ฟิกส์ แมคโครฟาจส์ (fixed macrophages) ซึ่งอยู่ในปอด

2.1.2 เยื่อหุ้มปอด (Pleural)

เยื่อหุ้มปอด หมายถึงเยื่อต่างๆ ที่หุ้มอยู่โดยรอบเนื้อปอดและยังบุภายในช่องอกด้วย เรียกส่วนที่หุ้มแนบเนื้อปอดว่าวิสเซอร์รัล พลูรา (visceral pleura) และเรียกส่วนที่บุบนผนังด้านในของช่องอกว่าพาเรียล พลูรา (parietal pleura) ช่องว่างแคบๆ ที่อยู่ระหว่าง visceral pleura และ parietal pleura ของปอดแต่ละข้างเรียกว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มปอด (pleural cavity) บริเวณนี้จะมีเมือกใสฉาบอยู่บ้าง ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการเสียดสี ระหว่างเยื่อหุ้มปอด ทั้ง 2 ชั้น ขณะหายใจเข้า-ออก

การหุบและการขยายของปอดจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งจะทำให้ร่างกายได้รับออกซิเจนถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์ออกตามที่ร่างกายต้องการ



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของปอด [2]

2.1.3 การแบ่งส่วนย่อยของปอด

ปอดข้างซ้ายมีร่องลึกที่เรียกว่าออบลิค ฟิชซัวร์ (oblique fissure) แบ่งปอดออกเป็น 2 พู (lobes) ได้แก่ซูพีเรีย (superior) และอินฟีเรีย โลบส์ (inferior lobes) ส่วนปอดข้างขวามีร่องที่เรียกว่าออบลิค ออบลิค ฟิชซัวร์ (oblique fissure) และฮอริซันทอล ฟิชซัวร์ (horizontal fissures) จึงแบ่งปอดออกเป็น 3 พู ได้แก่ซูพีเรีย (superior), มิดเดิล (Middle) และอินฟีเรีย โลบส์ (inferior lobes)

2.1.4 การแยกแขนงของหลอดลม (Bronchial Tree)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าปลายล่างของหลอดลมจะแยกออกเป็นท่อไพรมารี บรอนคัส (primary bronchus) ขวาและซ้ายแยกเข้าไปในขั้วปอด (hilum) แต่ละข้าง ต่อมาท่อลมนี้จะมีการแยกแขนงย่อยเล็กลงอีกให้เป็น เซคคันดารี (secondary) หรือโลบาร์ บรอนคัส (lobar bronchus) เพื่อแยกเข้าไปในแต่ละพูของปอด นั่นคือข้างขวาจะมี 3 แขนงและข้างซ้ายมี 2 แขนง จากนั้นจึงแยกแขนงอีกเป็นเทิร์ตทิอารี (tertiary) หรือเซกเมนทัล บรอนคัส (segmental bronchus) เข้าไปในส่วนที่เรียกว่าพูย่อยของปอด (bronchopulmonary segment) แต่ละพูย่อย นี้จะแยกกัน

ทำงานอย่างอิสระ แพทย์จึงอาจจะตัดเฉพาะบางพวยย่อยของปอดที่เป็นโรครอกได้ โดยเหลือ ส่วนที่ดีไว้ใช้งานต่อไป

เซกเมนทัล บรอนคัส (Segmental bronchus) ยังมีการแยกแขนงต่อไปอีกหลายครั้ง ในที่สุดได้เป็นท่อขนาดเล็กที่ไม่มีโครงสร้างที่เป็นกระดูกอ่อนอีกต่อไป เรียกว่าหลอดลมฝอย (bronchiole) โดยมีหลอดเลือด หลอดน้ำเหลืองแยกเป็นแขนงเล็กๆ ติดตามไปด้วย ส่วนปลายของหลอดลมฝอย เมื่อเริ่มมีการติดต่อกับถุงลม (alveolus) ก็ถือว่าเริ่มมีการแลกเปลี่ยนก๊าซได้แล้ว จึงเรียกส่วนนี้ว่าหลอดลมฝอย เรสไพราทอรี (respiratory bronchioles) หลังจากนั้นยังมีการแยกแขนงต่อไปอีก ให้เป็นท่ออัลวีโอลาร์ ดักท์ (alveolar duct) ซึ่งถือเป็นส่วนปลายสุดของท่อลม โดยต่ออยู่กับกระจุกของถุงลม (Alveoli) จำนวนมาก

2.1.5 ถุงลมและถุงลมย่อย (Alveolus Pulmonary Alveoli)

ถุงลม เป็นช่องว่างที่มีถุงลมย่อยหลาย ๆ ถุงมาเปิดเข้าที่ช่องว่างอันนี้ ส่วนถุงลมย่อยมีลักษณะเป็นถุงหกละเอียดมีเซลล์พิเศษหลั่งสารพวกฟอสโฟลิพิด (phospholipid) เรียกว่า เซอร์แฟกแทนท์ (surfactant) เข้าสู่ถุงลมย่อยเพื่อลดแรงตึงผิวของถุงลมย่อยไม่ให้ติดกัน เมื่อปอดแฟบเวลาหายใจออกผนังของถุงลมย่อยที่อยู่ติดกันจะรวมกันเป็นอินเตอร์อัลวีโอลาร์ เซปตัม (Interalveolar septum) ซึ่งมีเส้นเลือดฝอยอยู่ภายใน นอกจากนี้ยังมีรูซึ่งเป็นช่องติดต่อระหว่างถุงลมย่อยทำให้อากาศภายในถุงลมย่อยมีแรงดันเท่ากันทั้งปอด ทั้งถุงลมและถุงลมย่อยจะรวมเรียกว่า ถุงลมปอด ปอดแต่ละข้างจะมีถุงลมปอดประมาณ 300 ล้านถุง แต่ละถุงจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 0.25 เซนติเมตร คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมดของการแลกเปลี่ยนแก๊สของถุงลมปอดทั้งสองข้างประมาณ 90 ตารางเมตรหรือคิดเป็น 40 เท่าของพื้นที่ผิวของร่างกาย การที่ปอดยืดหยุ่นได้ดีและขยายตัวได้มากและการมีพื้นที่ของถุงลมปอดมากมายขนาดนั้นจะทำให้ร่างกายได้รับแก๊สออกซิเจนอย่างเพียงพอและคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้เป็นอย่างดีอีกด้วยปอดของคนมีเส้นเลือดฝอยมาเลี้ยงอย่างมากมายจึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้มากและรวดเร็วจนเป็นที่เพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย

2.1.6 ความจุของปอด (Lung Capacity)

ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าปกติ แต่แต่ละครั้งมีประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าบังคับให้มีการหายใจเข้าเต็มที่มากที่สุด จะมีอากาศเข้าไปยังปอดเพิ่มมากขึ้นจนอาจถึง 6,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับที่ปอดจะจุอากาศได้เต็มที่เช่นเดียวกับการบังคับการหายใจออกเต็มที่ที่อากาศจะออกจากปอดมากที่สุดเท่าที่ความสามารถของกล้ามเนื้อกะบังลมและกล้ามเนื้อซี่โครงจะทำได้ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อหายใจออกเต็มที่แล้วยังคงมีอากาศตกค้างในปอด ประมาณ 1,100 ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 2.2 แสดงถุงลมภายในปอด [3]

2.2 โรคมะเร็งปอด (Lung Cancer)

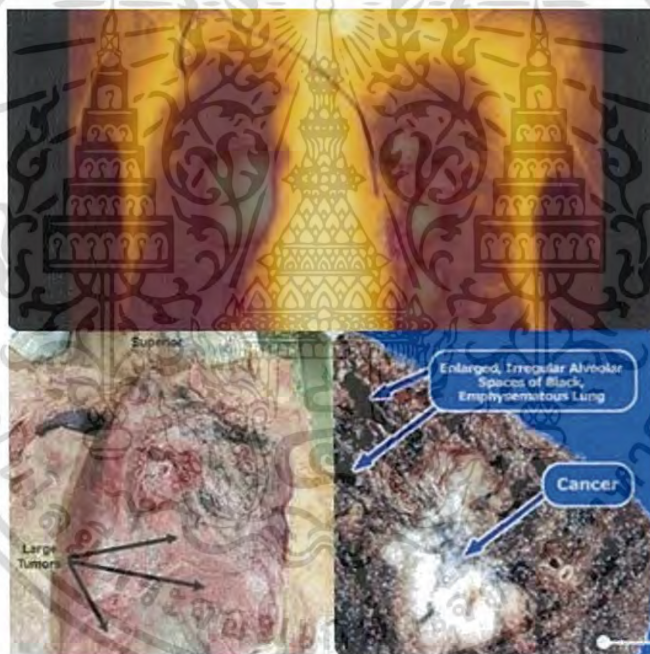
2.2.1 ลักษณะของมะเร็งปอด

มะเร็งปอดเกิดจากเนื้อเยื่อที่แบ่งตัวผิดปกติ ทำให้มีการเติบโตของเนื้อเยื่อและลุกลามไปยังอวัยวะอื่น สาเหตุของมะเร็งปอดที่พบได้บ่อย ซึ่งอาจมีสาเหตุจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ สารก่อมะเร็งที่อยู่ในบุหรี่ และมลภาวะต่างๆ อยู่ในสิ่งแวดล้อม กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ และจากปัจจัยภายใน ได้แก่ ความบกพร่องทางกรรมพันธุ์ หรือความเสื่อมของเซลล์ ทำให้ไม่สามารถซ่อมแซมเซลล์ที่ผิดปกติได้ การที่ร่างกายได้รับสารก่อให้เกิดมะเร็งอย่างต่อเนื่อง สารเหล่านี้จะไปกระตุ้นให้กลไกการควบคุมการแบ่งตัวของเนื้อเยื่อทำงานผิดปกติ ทำให้เซลล์ของปอดมีการแบ่งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มจำนวนที่ผิดปกติขึ้น ภาวะที่เป็นความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดมะเร็งปอด คือ การสูบบุหรี่หรือผลิตภัณฑ์ยาสูบทุกชนิด เนื่องจากในควันบุหรี่จะมีส่วนประกอบมากมายหลายชนิด และพบว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogens) มากกว่า 62 ชนิด เช่น น้ำมันดิน สารไฮโดรคาร์บอน ดังนั้น ผู้ที่สูบบุหรี่อย่างต่อเนื่องจึงมีโอกาสเกิดมะเร็งมากกว่าผู้ที่ไม่สูบประมาณ 10-20 เท่า ส่วนผู้ที่รับควันบุหรี่จากสิ่งแวดล้อม (second-hand smokers) ก็จะมีโอกาสเป็นมะเร็งปอดสูงกว่าบุคคลที่ไม่สูบบุหรี่อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ ปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้มีโอกาสเกิดมะเร็งปอดมากขึ้น ได้แก่ การได้รับแร่ใยหิน (asbestos) จากการหายใจ ซึ่งมักจะได้รับการทำงาน โรคเรื้อรังในปอดบางชนิด เช่น พังผืดในปอด (pulmonary fibrosis) แต่ภาวะเหล่านี้ไม่ใช่สาเหตุที่พบบ่อย นอกจากนั้นพบว่าสารก่อมะเร็งอาจมาจากสภาวะแวดล้อมและการทำงาน ได้แก่ เรดอน (Radon) และ แอสเบสทอส (Asbestos) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของปอดที่เป็นโรคมะเร็ง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 อาการที่แสดง

ผู้ป่วยมะเร็งปอดส่วนใหญ่มักไม่ค่อยแสดงอาการจนกว่าโรคมะเร็งจะลุกลามไปมากแล้ว มีผู้ป่วยประมาณ 10-15% เท่านั้นที่ตรวจพบมะเร็งปอดตั้งแต่ระยะแรก ซึ่งมีโอกาสที่จะหายขาดสูง อาการที่แสดงต่าง ๆ ของมะเร็งปอดมีดังต่อไปนี้ คือ

- ไอเป็นเวลานาน ไม่ทุเลาเหมือนการไอปกติ แต่กลับเป็นมากขึ้นเรื่อย ๆ
- หายใจเหนื่อยหอบ หายใจสั้น เสียงแหบ
- อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย
- ไอ หรือมีเสมหะ ปนเลือด
- เจ็บหน้าอก หัวไหล่ หลัง และแขนเป็นประจำ (อาจเป็นเพราะก้อนเนื้อเบียดกดอยู่)
- เบื่ออาหาร น้ำหนักลด
- มีอาการบวมบริเวณใบหน้า ลำคอ หรือแขน
- โรคปอดบวม หรือหลอดลมอักเสบบ่อย

อาการดังกล่าวที่ได้กล่าวมาแล้ว ไม่ใช่อาการของมะเร็งปอดระยะแรก เพราะมะเร็งปอดระยะแรกจริง ๆ มักไม่มีอาการ แพทย์จะตรวจพบได้โดยบังเอิญจากการตรวจเอกซเรย์ปอด จากการตรวจร่างกายประจำปี

2.2.3 ปัจจัยเสี่ยงมะเร็งปอด

ปัจจัยเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดมี 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายในที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น กรรมพันธุ์ หรือพันธุกรรม กับปัจจัยภายนอกซึ่งสามารถควบคุมได้ เช่น บุหรี่ สารพิษทางอากาศ ซึ่ง ได้แก่

- แอสเบสตอส (Asbestos) หรือแร่ใยหิน ใช้เป็นวัสดุไวไฟ แผ่นกันความร้อนตามอาคาร ฉนวนบางชนิด อุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น การสูดดมแอสเบสตอสเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด

- เรดอน (Radon) เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น พบได้ทั่วไปตามแหล่งดินในธรรมชาติ หรือ บริเวณที่มีแร่ยูเรเนียม โดยเรดอนจะระเหยขึ้นมาจากพื้นดิน ก๊าซนี้จะทำอันตรายต่อปอด

- สารอื่น ๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ผุ่นจากอุตสาหกรรมหนัก ไอสารระเหยน้ำมัน เขม่าควัน ต่าง ๆ รวมถึงมลภาวะทางอากาศที่ไม่บริสุทธิ์

นอกจากนี้โรคเกี่ยวกับปอดก็เช่นกัน ผู้ที่เป็นวัณโรคปอดจะมีโอกาสเกิดโรคมะเร็งปอดมากขึ้น โดยมะเร็งปอดจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งรอยแผลเป็นจากการเกิดเชื้อวัณโรคปอด

2.2.4 ชนิดของโรคมะเร็งปอด

โรคมะเร็งปอดมีหลายชนิดตามความแตกต่างของเซลล์ ที่พบบ่อยมีอยู่ 2 ชนิด คือ มะเร็งปอดชนิดที่ไม่ใช่เซลล์เล็ก (Non-small Cell Lung Cancer, NSCLC) และมะเร็งปอดชนิดเซลล์เล็ก (Small Cell Lung Cancer, SCLC) ชนิดของเซลล์มะเร็งนี้ไม่ได้หมายถึงขนาดของก้อนมะเร็ง แต่มีผลกับการพยากรณ์และการรักษาโรค

มะเร็งปอดชนิดไม่ใช่เซลล์เล็ก (Non-small Cell lung Cancer, NSCLC)

พบได้ประมาณ 75-80% ของผู้ป่วยมะเร็งปอดทั้งหมด สามารถรักษาให้หายขาดได้ด้วยการผ่าตัด ถ้ามีการตรวจพบตั้งแต่ระยะแรก มะเร็งปอดชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดย่อย คือ

1. ชนิดอะดีโนคาร์ซิโนมา (Adenocarcinoma) เซลล์มะเร็งชนิดนี้พบได้ที่ต่อมสร้างน้ำเมือกของปอด อุบัติการณ์ของมะเร็งปอดชนิดนี้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะ 20 ปีมานี้ เนื่องจากมีการพัฒนาเครื่องมือการวินิจฉัยได้ดีขึ้น มะเร็งชนิดนี้พบประมาณ 40% ของมะเร็งปอดทั้งหมด พบบ่อยในผู้หญิงหรือในรายที่ไม่เคยสูบบุหรี่เลย

2. ชนิดสแควร์มีส คาร์ซิโนมา (Squamous Carcinoma) หรือ epidermoid carcinoma จะพบที่เยื่อผิวของหลอดลม พบมากในเพศชายและผู้สูงอายุทั้งชายและหญิง เกี่ยวข้องอย่างมากกับการสูบบุหรี่ มักมีจุดเริ่มต้นที่ท่อทางเดินหายใจขนาดใหญ่ ทำให้มีอาการไอมาก อาจไอเป็นเลือด หรือมีอาการปอดบวม เพราะก้อนเนื้อมะเร็งไปอุดท่อของหลอดลม จนทำให้ไม่สามารถไอเอาเสมหะออกมาได้ พบประมาณ 30-35% ของมะเร็งปอดทั้งหมด

3. ชนิดเซลล์ตัวใหญ่ (Large Cell Carcinoma) เซลล์ชนิดนี้จะพบที่ผิวนอกของเนื้อปอด มักจะเป็นบริเวณขอบริม ๆ มีการแพร่กระจายได้เร็วมาก จนการตรวจวินิจฉัยโรคทำได้ไม่ทันกับการเจริญของโรค พบประมาณ 5-15% ของมะเร็งปอดทั้งหมด

มะเร็งปอดชนิดเซลล์เล็ก (Small Cell Lung Cancer, SCLC)

พบได้ประมาณร้อยละ 15 ของโรคมะเร็งปอดทั้งหมด เซลล์จะมีรูปร่างเล็กกลม จนบางครั้งเรียกว่า Oat cell เริ่มเกิดขึ้นภายในหลอดลมของปอดที่มีขนาดเล็กก่อนแพร่กระจายได้เร็ว แต่ตอบสนองต่อเคมีบำบัดและการฉายรังสีได้ดี พบในผู้ที่สูบบุหรี่หรือผู้ที่เคยสูบบุหรี่มาก่อน มะเร็งปอดชนิดเซลล์อื่น ๆ

- Carcinoid Tumor พบน้อยประมาณ 1-5% ของผู้ป่วยมะเร็งปอด

- Malignant Mesothelioma แร่ใยหินหรือแอสเบสตอสเป็นสาเหตุสำคัญของมะเร็งชนิดนี้ พบมากในผู้สูงอายุ มักเกิดที่เยื่อหุ้มปอดด้านในทำให้ยากต่อการวินิจฉัย

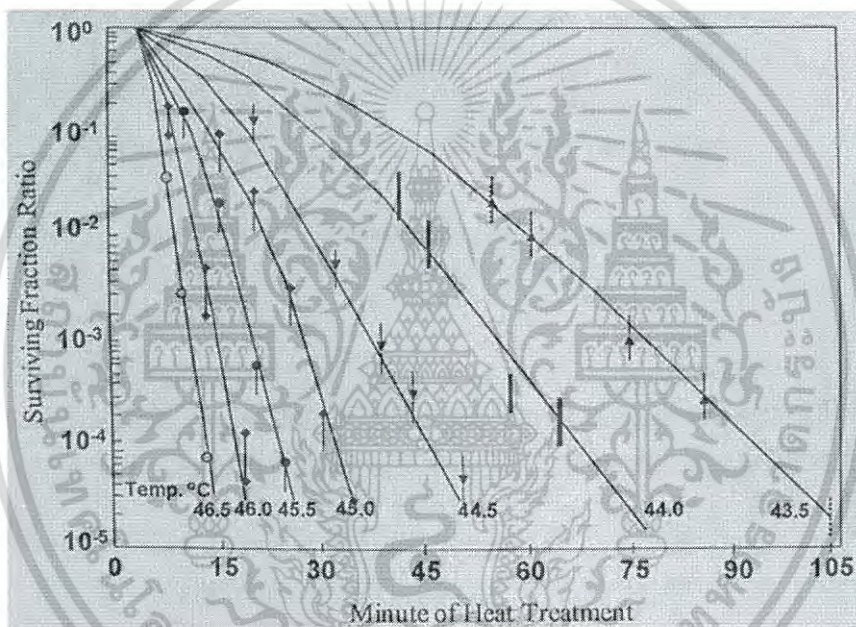
2.3 พื้นฐานการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อ

การใช้ความร้อนในการรักษาโรค เป็นการรักษาที่ทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นสูงขึ้นเกิน 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเซลล์เนื้อเยื่อที่อยู่บริเวณนั้นๆจะได้รับผลกระทบ และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับอุณหภูมิ การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็งนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิคที่เรียกว่า Hyper Thermal Cancer Therapy ซึ่งมีการเริ่มใช้มาตั้งแต่ ปีค.ศ.1960

การรักษาด้วยความร้อน เป็นรูปแบบการรักษาโรคมะเร็งแบบใหม่ ซึ่งมีพื้นฐานและหลักการทางชีววิทยาที่สามารถพิสูจน์, ทดลอง และสามารถอธิบายได้ ซึ่งในปัจจุบันการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อนนี้ สามารถรักษาโรคมะเร็งชนิดต่างๆได้ทั่วร่างกาย และได้ผลการรักษาที่น่าสนใจ การรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน อาศัยหลักการให้ความร้อนกับเซลล์มะเร็งอยู่ในช่วง 41-46 องศาเซลเซียส และรักษาระดับของอุณหภูมิไว้ให้คงที่ พื้นฐานของปรากฏการณ์ทางชีววิทยาสำหรับการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน จะมีอยู่สองปริมาณที่มีความสำคัญในการรักษา คือ อุณหภูมิ และ ระยะเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งในรูปที่ 2.5 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่ส่งผลต่อปริมาณเซลล์มะเร็งที่ยังมีชีวิตอยู่จากการให้ความร้อน โดยเมื่อให้อุณหภูมิสูงแก่เซลล์มะเร็งในระยะเวลาเริ่มต้น เซลล์มะเร็งจะถูกทำลายเป็นจำนวนมาก และเมื่อลดอุณหภูมิที่ให้แก่เซลล์มะเร็ง จะทำให้ต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อให้เซลล์มะเร็งตาย ซึ่งถ้าหากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงไว้ตลอด จำนวนเซลล์มะเร็งจะถูกทำลายมากก็จริง แต่เซลล์ปกติที่อยู่บริเวณรอบๆก็จะได้รับความเสียหายด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการเพิ่มอุณหภูมิ จึงควรตั้งให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้เป็นจำนวนมาก และไม่เกิดอันตรายแก่เซลล์ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brace 2003 สรุปว่า เมื่อให้ความร้อนที่สูงพอในระดับที่สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส เซลล์เนื้อเยื่อก็จะถูกทำลายในทันทีแต่ถ้าใช้ความร้อนต่ำกว่า ระยะเวลาที่กว่าจะทำให้เซลล์ถูกทำลายนั้นก็เพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าต้องการให้เซลล์เนื้อเยื่อถูกทำลายในทันที ภายในเนื้อเยื่อจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ดังนั้นที่ระดับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงเป็นระดับความร้อนที่แน่ใจได้ว่าเซลล์เนื้อเยื่อถูกทำลาย ซึ่งถ้าเราสามารถออกแบบแหล่งกำเนิดความร้อนที่สามารถสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นเฉพาะที่ได้ ก็จะสามารถทำลายเซลล์มะเร็งที่วิยะต่างๆภายในร่างกายได้ และโดยวิธีการสอดใส่อุปกรณ์เข้าไปเฉพาะที่โดยไม่ต้องเปิดช่องท้อง ทำให้การรักษาเกิดขึ้นเฉพาะจุด และมีขนาดแผลหลังการรักษาที่เล็ก ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงแนวทางการสร้างเครื่องต้นแบบในการรักษาโรคมะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ รวมถึงออกแบบสายสัญญาณในการนำสัญญาณความถี่ไมโครเวฟส่งผ่านถึงปอดโดยเฉพาะ



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์มะเร็ง [5]

2.4 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

เมื่อใดก็ตามที่จุดสองจุดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมีการถ่ายเทพลังงานจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า พลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันนี้เรียกว่าความร้อน ซึ่งสามารถแยกพิจารณาออกได้อย่างเด่นชัดเป็น 3 แบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน อันที่จริงแล้วการกระจายของอุณหภูมิในตัวกลางหนึ่ง จะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิรวมของการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบตามที่กล่าวไว้ข้างต้น เพราะอย่างนั้นตามความเป็นจริงแล้ว จึงไม่

สามารถแยกแบบหนึ่งแบบใดได้อย่างสิ้นเชิงจากแบบอื่นๆที่เหลือได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์ เราจะแยกพิจารณาเป็นแบบใดแบบหนึ่งอย่างเดี่ยว เมื่ออิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนแบบที่เหลือมีน้อยมาก ดังนั้นเราจึงสามารถแยกพิจารณาในแต่ละแบบของการถ่ายเทความร้อนได้ตามสมมติฐานดังกล่าว

2.4.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อนคือ เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน เป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุล เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค ซึ่งในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้าในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียงในก๊าซ) วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือค่า k

2.4.2 การพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ในสสารสองสถานะคือ ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยจะมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น เนื่องจาก เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) ก็จะลงมาแทนที่ ปรากฏการณ์นี้มีตัวอย่างคือ การเกิดลมบก ลมทะเล เป็นต้น การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านของแข็งหรือผ่านของไหลที่อยู่กับที่ อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การพาความร้อนสามารถแบ่งเป็นสองประเภทใหญ่ๆได้ คือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติหรือแบบอิสระ และการพาความร้อนแบบบังคับ

1. การพาความร้อนแบบธรรมชาติหรือแบบอิสระ (Natural or Free Convection)

-การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดๆทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลเอง

-แรงลอยตัวเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ที่มีอุณหภูมิของของไหลแตกต่างกันใน 2 บริเวณ

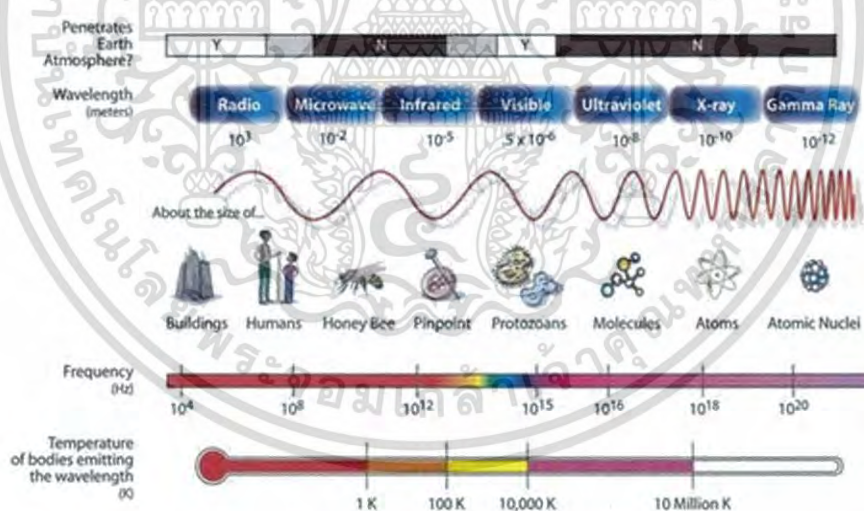
2. การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection)

การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบลม

2.4.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer)

การแผ่รังสีความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานเหมือนกับการถ่ายเทพลังงานแบบอื่น การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -270 องศาเซลเซียส หรือ 0 เคลวิน ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว

2.5 ความหมายของคลื่นไมโครเวฟ และความสามารถในการเกิดความร้อนในเนื้อเยื่อ



รูปที่ 2.5 แสดงตเปกตรัมแถบความถี่ในย่านความถี่ต่างๆ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ความหมายของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับแสง โดยอยู่ในช่วงของคลื่นวิทยุความถี่สูง (High frequency radio wave) เนื่องจากเมื่อคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นจะลดลง คลื่นที่มีความถี่สูงมากความยาวคลื่นจึงสั้นมาก ดังนั้นคลื่นชนิดนี้จึงได้ชื่อว่า ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางอากาศลุผ่านไป, เกิดการสะท้อน หรือถูกดูดกลืน วัตถุที่เป็นโลหะ จะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟทั้งหมด ส่วนวัตถุที่ไม่ใช่โลหะ เช่น แก้ว หรือพลาสติก ไมโครเวฟจะเคลื่อนที่ผ่านไปได้บางส่วนวัตถุที่มีความชื้นเช่น อาหาร หรือร่างกายคนเรานั้น จะดูดกลืนพลังงานของไมโครเวฟ ถ้าพลังงานที่ถูกดูดกลืนเอาไว้มากกว่าพลังงานที่คายออกมา อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น

2.5.2 การนำไมโครเวฟไปใช้งานทางการแพทย์

ในทางการแพทย์สามารถนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการรักษาได้เช่นกัน แต่จะเป็นคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่น้อยกว่าไมโครเวฟที่ใช้ในการปรุงอาหาร เพราะการรักษาส่วนใหญ่จะใช้ความร้อนที่ไม่มากนัก หรือความร้อนที่สูงขึ้นอีกเล็กน้อยพอที่ร่างกายจะทนได้ เช่น ในทางเวชศาสตร์ฟื้นฟู จะใช้ไมโครเวฟความถี่ต่ำเพื่อคลายอาการปวดกล้ามเนื้อ หรือปวดตามข้อ

ทางด้านรังสีรักษา และด้านระบบทางเดินปัสสาวะ จะใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่สูงกว่าทางเวชศาสตร์ฟื้นฟู ซึ่งให้ความร้อนที่สูงขึ้นกว่าแต่ไม่ถึงจุดเดือด ในการรักษาหรือทำลายเซลล์มะเร็งเฉพาะที่ตื้นๆ ร่วมกับการรักษาด้วยรังสี และยารักษามะเร็ง ซึ่งเครื่องเดียวกันนี้ยังสามารถใช้รักษาโรคต่อมลูกหมากโตในชายสูงอายุบางรายได้

2.5.3 ผลต่อสุขภาพเมื่อได้รับไมโครเวฟ

ถ้าได้รับไมโครเวฟในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดความร้อน นครณีของร่างกาย ความร้อนที่สูงเกินไป จะทำให้เกิดอันตรายได้ เช่นเกิดการไหม้ของเนื้อเยื่อที่อยู่ติดลงไป หรือที่เรียกว่า ไฮเปอร์เทอร์เมีย (Hyperthermia) ซึ่งมีงานวิจัยเรื่องนี้กันอย่างกว้างขวาง แต่ยังไม่มีการยืนยันที่แน่นอนจนถึงผลกระทบของการได้รับไมโครเวฟว่าปริมาณระดับใดจะส่งผลให้เกิดมะเร็ง

จากรายละเอียดที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่าคลื่นความถี่ไมโครเวฟสามารถที่จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อเยื่อได้ ซึ่งถ้ามีการออกแบบส่วนนำคลื่นไมโครเวฟที่ดี จะสามารถบังคับจุดปล่อยคลื่นไปยังจุดต่างๆได้ นั่นหมายความว่าเราสามารถนำไปใช้ทำลายเซลล์มะเร็งได้โดยใช้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นความถี่ไมโครเวฟ โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องในส่วนต่อไป คือ รูปแบบของการเดินทางของคลื่น เพื่อให้เข้าใจถึงตัวนำ ที่นำมาใช้ว่ามีรูปแบบของโหมดการเดินทางของคลื่นอย่างไร

2.6 สายนำสัญญาณสำหรับความถี่ไมโครเวฟ

สายนำสัญญาณ หรือทรานสมิซชันไลน์ (Transmission Line) ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการนำพาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และด้วยการที่ความถี่ไมโครเวฟเป็นสัญญาณ ที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง สายนำสัญญาณที่จะใช้เป็นตัวกลางให้คลื่นไมโครเวฟเดินทางผ่านไปนั้นจึงมีความสำคัญมาก จากลักษณะสมบัติของตัวกลางเมื่อสัญญาณที่ส่งผ่านนั้นมีความถี่สูงจะเกิดปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญ อันได้แก่ เรื่อง การสูญเสีย (Loss) ในสายส่ง, การสะท้อน (Reflection), สัญญาณรบกวน (Noise) รวมไปถึง การแทรกสอด (Interference) ของสัญญาณที่เดินทางในสายนำสัญญาณหลายเส้น เป็นต้น ซึ่งสายนำสัญญาณซึ่งใช้กันในความถี่ย่านไมโครเวฟมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน สายโคแอกเซียล เวฟไกด์ สตรีปไลน์และไมโครสตรีป

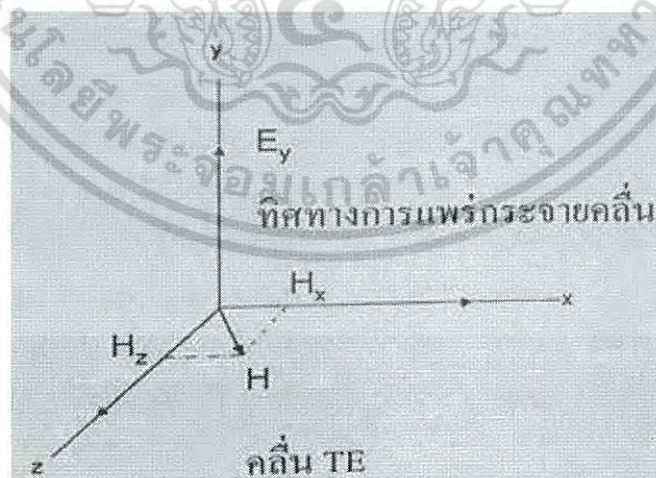
สายนำสัญญาณแบบคู่ขนานนิยมใช้กันในแถบความถี่ย่านต่ำสุดของสเปกตรัมความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากความถี่ที่สูงขึ้น สายชนิดนี้จะมีการสูญเสียมากขึ้น ซึ่งเป็นการสูญเสียเนื่องจากการแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากตัวนำสัญญาณ ดังนั้นที่ความถี่สูงจึงหันมาใช้สายโคแอกเซียลแทน ซึ่งสายโคแอกเซียลได้ขจัดปัญหาการสูญเสียโดยการ ชีลด์ตัวมันเองด้วยแผ่นตัวนำล้อมรอบ แต่สายโคแอกเซียลก็มีข้อเสียตรงที่สามารถทนกำลังงานได้ต่ำ เมื่อความถี่สูงจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากผิวตัวนำหรือที่เรียกว่าสกินเอฟเฟกต์ (Skin Effect) เป็นผลให้มีการลดทอนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านสายโคแอกเซียลมากขึ้น จึงเป็นข้อจำกัดของสายชนิดนี้ ทำให้เหมาะสมสำหรับงานสื่อสารระยะใกล้ ซึ่งความสูญเสียทางกำลังงานระดับนี้ไม่ส่งผลถึงระบบมากนัก ดังนั้นที่ความถี่สูงมากขึ้นการใช้เวฟไกด์จึงเป็นสื่อกลางที่เหมาะสม เพราะมันสามารถนำพาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีกำลังสูงไปได้โดยเกิดการสูญเสียกำลังงานในตัวมันเองน้อยมาก สำหรับ สตรีปไลน์และไมโครสตรีปนิยมใช้ประกอบในตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในย่านควาถี่ไมโครเวฟ ใช้เป็นสายนำสัญญาณขนาดเล็กเชื่อมระหว่างอุปกรณ์ชนิดหนึ่งไปยังอุปกรณ์ข้างเคียง ซึ่งส่วนใหญ่สามารถพบเห็นได้นั้นคือแถบที่ติดอยู่บนแผ่นวงจรของอุปกรณ์ไมโครเวฟนั่นเอง

2.7 โหมดการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นในสายนำสัญญาณ (Mode of Propagation)

ในสภาวะฟรีสเปซ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายออกไปเป็นลักษณะรูปทรงกลม (Spherical-Configuration) ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดการแพร่กระจายออกสู่ฟรีสเปซในลักษณะสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแปรเปลี่ยนตามเวลา เหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลา แล้วสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลาก็เหนี่ยวนำสร้างสนามไฟฟ้าต่อไปเช่นกัน ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการแพร่กระจายออกไปเรื่อยๆ และค่อยๆ ถูกลดทอนด้วยตัวกลางจนหมดไป (ซึ่งในทางอุดมคติ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องแพร่กระจายออกไปในฟรีสเปซได้เรื่อยๆ ไม่มีที่สิ้นสุด โดยไม่ถูกลดทอนด้วยตัวกลางเลย)

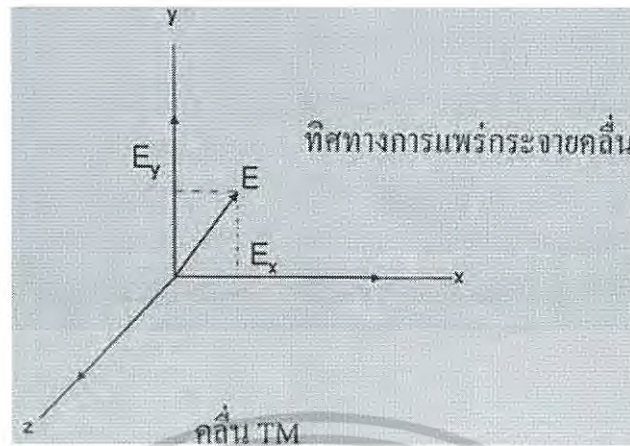


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 2.6 แสดงคลื่น TEM (ก), คลื่น TE (ข), คลื่น TM (ค) [7]

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกไปเป็นรูปทรงกลม เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างไกลจากแหล่งกำเนิดคลื่นมากๆ บนพื้นที่เล็กๆบนพื้นผิวทรงกลมสมมติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะกลายเป็นพื้นที่ระนาบแบน การพิจารณาสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H บนพื้นผิวระนาบนี้ จะทำมุมฉากซึ่งกันและกัน ฉะนั้น คลื่นรูปทรงกลมที่ระยะห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดมากๆ จะกลายเป็นคลื่นระนาบ (Plane Wave) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นรูปทรงระนาบนี้จะได้สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กทำมุมฉากซึ่งกันและกัน โดยระนาบของสนามทั้งสองจะตั้งฉากกับทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นเองด้วย

ขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายไปตามสายนำสัญญาณนั้น กลุ่มประจุและกระแสไฟฟ้าบนพื้นผิวของตัวนำของสายสัญญาณจะมีรูปแบบเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขต สำหรับโหมดในการแพร่กระจายแบบสายนำสัญญาณแบบคู่ขนานที่เป็นโหมดหลัก (Principle Mode) ก็คือ ทรานส์เวิร์สอิเล็กโตรแมกเนติกเวฟ (Transverse Electromagnetic Wave) หรือเรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง โดยที่โหมด (Mode) เป็นคำที่บอกลักษณะการเดินทางหรือการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่น TEM นี้จะเป็นคลื่นที่มีระนาบของคลื่นสนามแม่เหล็กและคลื่นสนามไฟฟ้ารูปไซน์วางอยู่ในลักษณะตามขวางกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังที่แสดงไว้ในรูป 2.6 (ก) กรณีที่ความยาวคลื่นของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าใกล้เคียงกับขนาด (Dimension) ของสายหรือโค๊ด จะทำให้เกิดโหมดการแพร่กระจายคลื่นต่างๆกันนี้รวมเรียกว่าไฮเออร์ โหมด (Higher Mode) ซึ่งไฮเออร์ โหมดเป็นรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น ซึ่งมีความถี่สูงกว่าค่าความถี่เฉพาะที่เรียกว่าความถี่คัทออฟ (Cutoff-Frequency) ของสายนำสัญญาณหรือเวฟไกด์ที่ใช้งานสำหรับความถี่ต่ำสุด (Lowest Frequency) และความยาวคลื่นสูงสุด (Longest Wavelength) ที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายไปได้ในขนาดของสายนำสัญญาณหนึ่งๆจะเป็นความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency: f) และความยาวคลื่นคัทออฟ (Cutoff Wavelength: λ_c) ของสายนำสัญญาณนั้น รูปแบบการส่งคลื่นในลักษณะดังกล่าว จะเป็นโหมดต่ำสุด (Lowest Mode) ในการส่ง โดยมีชื่อเรียกโหมดนี้ว่า โหมดหลักของการแพร่กระจาย (Principal Propagation Mode) ส่วนไฮเออร์โหมด จะเป็นรูปแบบการส่งในโหมดที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับโหมดหลัก คลื่นที่แพร่กระจายในเวฟไกด์จะมี 2 โหมด คือ ทรานส์เวิร์ส-อิล็กทริก เวฟ (Transverse Electric Wave : TE) หรือคลื่นที่มีแนวสนามไฟฟ้าตามขวาง และ ทรานส์เวิร์ส-แมกเนติก เวฟ (Transverse Magnetic Wave : TM) หรือคลื่นที่มีแนวสนามแม่เหล็กตามขวาง ซึ่งทรานส์เวิร์ส-อิล็กทริกเวฟ ที่สนาม H มีส่วนประกอบหรือเวกเตอร์ย่อยอยู่ในแกน x และ z ของสนาม E จะแสดงในรูป 2.6 (ข) และทรานส์เวิร์ส-แมกเนติก เวฟ ที่สนาม E มีส่วนประกอบหรือเวกเตอร์ย่อยอยู่ในแกน x และ y ของสนาม H จะแสดงในรูป 2.6 (ค)

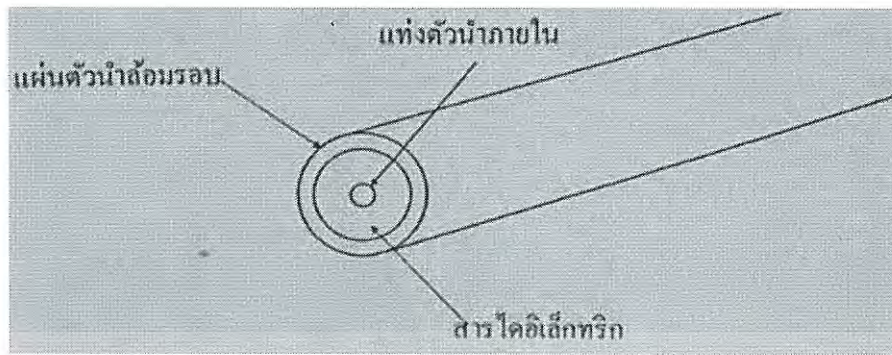
2.8 สายโคแอกเชียล

เมื่อความถี่ในการใช้งานสูงขึ้น การใช้สายคู่ขนานแบบเดิมไม่เหมาะสมจึงได้เปลี่ยนมาใช้สายอีกแบบหนึ่งที่มีชื่อว่าสายโคแอกเชียล สายโคแอกเชียลนี้ประกอบด้วยตัวนำ 2 เส้นขนานกันเช่นเดิม แต่ตัวนำภายนอกจะเปลี่ยนรูปเป็นแผ่นตัวนำล้อมรอบแท่งตัวนำที่เหลือนี้ ซึ่งวางในแนวศูนย์กลางใช้แกนร่วมกัน ดังแสดงในรูป 2.7 (ก) แท่งตัวนำภายในจะถูกจัดให้อยู่ในแนวได้ด้วยไดอิเล็กทริกสเปซเซอร์ ในรูป 2.7 (ข) หรือจะใช้สารไดอิเล็กทริกอัดแน่นเพื่อบังคับให้แท่งตัวนำวางตัวในแนวศูนย์กลาง ในรูป 2.7 (ค) ก็ได้ สายโคแอกเชียลที่ใช้งานกันนั้นมีอยู่หลายแบบ แบ่งออกเป็นประเภทหลักๆ ได้ตามลักษณะรูปร่างภายนอกคือ แบบเฟล็กซิเบิล (Flexible), เซมิริจิด (Semi Rigid) และริจิด (Rigid)



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 2.7 สายโคแอกเชียล (ก), แบบใช้โซลิตไดอิเล็กทริก (ข) [8]

2.8.1 การส่งคลื่นในสายโคแอกเชียล

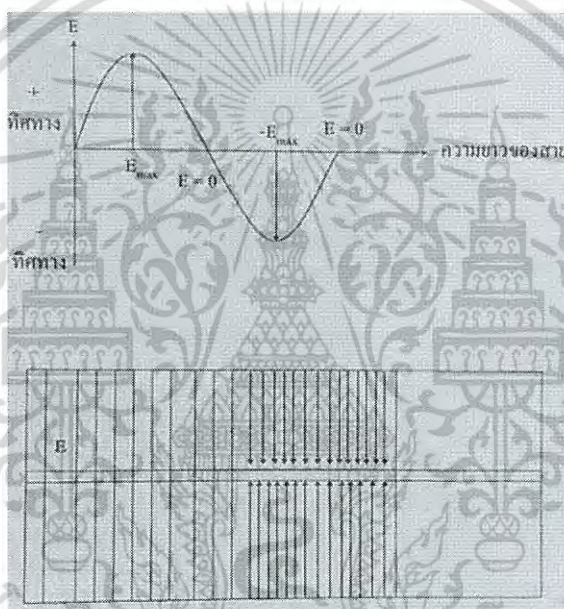
สายโคแอกเชียลนั้นเป็นการดัดแปลงมาจากสายแบบคู่ขนาน ดังนั้นมันจึงสามารถรับส่งคลื่นแบบ TEM ได้ และเรียกโหมดการส่งคลื่น TEM นี้ว่าโหมดหลัก (Principle Mode) หรือ โหมดเด่น (Dominant Mode)



รูปที่ 2.8 แสดงการกระจายของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กในสายโคแอกเชียล [9]

การส่งกำลังไฟฟ้า หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในสายโคแอกเชียลนั้นกระทำโดยอาศัยการเดินทางของคลื่นแรงดันและคลื่นกระแส ซึ่งเป็นผลให้เกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กขึ้นในสาย ดังรูปที่ 2.8 โดยเส้นทึบแสดงสนามไฟฟ้า เส้นประแสดงสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า E จะเกิดลักษณะเป็นรัศมีกระจายออกจากแท่งตัวนำศูนย์กลางไปยังตัวนำภายนอกที่ล้อมรอบอยู่ และจากตัวนำ

ภายนอกพุ่งเข้าสู่แท่งตัวนำศูนย์กลางสลับกันไป ส่วนสนามแม่เหล็ก H จะเกิดล้อมรอบแท่งตัวนำศูนย์กลางภายในทำมุมฉากกับสนามไฟฟ้า E สนามแม่เหล็กจะเกิดเป็นวงกลม มีศูนย์กลางร่วมกับตัวนำทั้งสองจากแท่งตัวนำภายในขยายออกเป็นวงกว้างไปสู่ตัวนำภายนอก ทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นไปตามยาวของสายนั้นหาได้จากพอยน์ติ่งเวกเตอร์ (Pointing Vector) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่กระจายไปตามที่ว่างระหว่างตัวนำทั้งสอง โดยที่ความเข้มของสนามไฟฟ้าขึ้นกับความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้าระหว่างตัวนำในและตัวนำภายนอก ส่วนความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ TEM นี้ประกอบจากคลื่นสนามไฟฟ้าและคลื่นสนามแม่เหล็กที่เป็นรูปไซน์ ดังนั้น สนาม E และสนาม H จึงกลับทิศทางทุกๆครึ่งความยาวคลื่นดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงทิศทางสนาม E และ H ที่แพร่กระจายไปตามสายโคแอกเซียล [10]

สำหรับความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางไปตามสายนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของมันเอง และค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของสารไดอิเล็กทริก ระหว่างตัวนำทั้งสอง

สายโคแอกเซียลนั้นไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความถี่คัทออฟในโหมดการส่งคลื่น TEM จึงสามารถปรับกระแส และแรงดันตามความถี่ที่ใช้งานได้ ดังนั้นสายโคแอกเซียลซึ่งทำงานในโหมดหลักหรือโหมด TEM จึงถืออุปกรณ์ที่ใช้งานในแถบความถี่กว้าง หรืออุปกรณ์บรอดแบนด์ (Broad Band Device) และค่าความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสายโคแอกเซียล คำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{r, \text{tissue}}}}$$

สมการที่ (2.1)

จากสมการจะเห็นว่า ถ้าสารไดอิเล็กทริกที่ใช้ในสายเป็นอากาศ ค่าความยาวคลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลง คือเท่ากับความยาวคลื่นในฟรีสเปซ

2.9 สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes)

สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยจากการประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของของไหล เช่น การไหลของอากาศผ่านปีกเครื่องบิน การไหลของอากาศในหลอดลม การไหลของเลือดในเส้นเลือด เป็นต้น ซึ่งการซิมูเลชันปอดด้วยโปรแกรม COMSOL จำเป็นต้องใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์สำหรับอากาศที่ไหลเข้า-ออกปอด

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

สมการที่ (2.2)

u = ความเร็ว [m/s]
 ρ = ความหนาแน่น
 η = Dynamic viscosity [Pa·s]
 I = Unity tensor
 Γ = Volume forces [N/m³]

2.10 สมการการพาและการนำ (Convection and Conduction Equation)

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

สมการที่ (2.3)

ρ = ความหนาแน่น [Pa]
 C_p = Heat Capacity at Constant Pressure
 T = อุณหภูมิ [°C]
 t = เวลา [s]
 k = Thermal conductivity
 Q = Spatial heat source (Microwave)
 u = Velocity [m/s]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 อาร์ดูโน้ (Arduino)

Arduino คือ แพลตฟอร์มโอเพน ซอร์ส (open-source) ซึ่งมีส่วนที่เป็นทั้งซอฟต์แวร์ (Software) คือไอ ดี อี (Arduino IDE) และฮาร์ดแวร์ (Hardware) คือตัวบอร์ด (Arduino Board) สำหรับการสร้างต้นแบบ (Prototype) หรืออุปกรณ์ต้นแบบของโปรเจกต์ที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์และ Embedded System โดยArduinoนั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เหมาะกับผู้เริ่มต้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ พัฒนาต่อยอดได้หลากหลาย

2.11.1 Arduino Board

Arduino Board คือ บอร์ด PCB (Printed Circuit Board) ที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยมีชิป Microcontroller ที่สามารถโปรแกรมได้สำหรับใช้ในการควบคุมหรือรับค่าจากอุปกรณ์ต่างๆผ่านพอร์ตInputและOutput ตัวอย่างการรับค่าInput เช่น การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ การตรวจจับการกดปุ่ม หรือ การรับสัญญาณอะนาล็อก (Analog) ต่างๆ เป็นต้น ส่วนการส่งงาน Outputนั้นArduinoก็สามารถทำได้ เช่น การส่ง Pulse ไปควบคุมมอเตอร์ หรือ การเปิด-ปิดหลอดไฟLED เป็นต้น นอกจากนี้บอร์ด Arduino ยังสามารถเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆจากภายนอกได้ หรือเพื่อให้ง่ายขึ้นไปอีกก็มียักษ์พัฒนาหลายคนได้ทำบอร์ดเสริมหรือ Arduino Shield ออกมา ซึ่งเป็นบอร์ดวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับทำงานเฉพาะอย่างที่สามารถต่อขึ้นไปเป็นชั้นๆบนบอร์ด Arduino ได้เลย เช่น Ethernet Shield เป็น Shield ที่มีพอร์ต Ethernet ไว้สำหรับต่อ LAN เป็นต้น



รูปที่ 2.10 ตัวอย่าง Arduino Board Uno R3 [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 Arduino IDE

Arduino IDE (Arduino Integrated Development Environment) คือ Software ที่ใช้สำหรับเขียนโค้ด คอมไพล์และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด Arduino ซึ่งเป็นการบอกกับส่วนควบคุมขนาดเล็ก (Microcontroller) ว่าเราต้องการจะให้มันทำงานอะไร ตัวอย่างเช่น สามารถที่จะเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งงานให้หลอด LED เปิด-ปิด หรือกระพริบตามที่เรากำหนดได้ หรือ ต่อปุ่ม Pushbutton เพิ่มเข้าไปและทำการเขียนโค้ดเพิ่มอีกเล็กน้อย ก็สามารถควบคุมการเปิด-ปิดไฟของหลอด LED ด้วยการกดปุ่มได้ โดยในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุม Arduino นั้นเราจะใช้ภาษา Arduino Programming Language ซึ่งมีรากฐานมาจากภาษา Wiring



```
code_pull_ud | Arduino 1.6.12
File Edit Sketch Tools Help
code_pull_ud
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MCP4725.h>
#define voltsIn A0
float dac_value;
Adafruit_MCP4725 dac; // constructor
const int buttonPinUP = 2; // the number of the pushbutton pin
int buttonStateUP = 0; // variable for reading the pushbut
const int buttonPinDOWN = 3; // the number of the pushbutton pin
int buttonStateDOWN = 0; // variable for reading the pushk

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  dac.begin(0x60); // The I2C Address; Run the I2C Scanner if you'
  // initialize the pushbutton pin as an input:
  pinMode(buttonPinUP, INPUT);
  pinMode(buttonPinDOWN, INPUT);
}

void loop(void) {
```

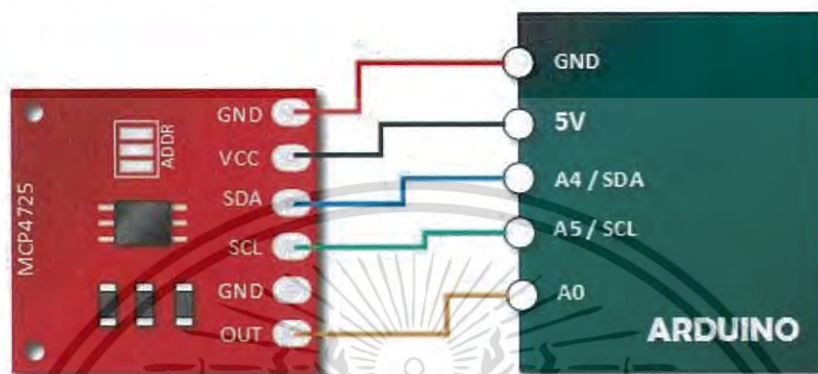
Arduino/Genuino Uno on COM3

รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง Arduino IDE และโค้ดที่ใช้ในปริญญาโท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12. MCP4725 I2C DAC Breakout Boards

MCP4725 I2C DAC Breakout Boards เป็นโมดูล DAC ใช้สำหรับแปลงสัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณ อนุาล็อก โดยใช้ MCP4725 เชื่อมต่อแบบ I2C ซึ่งให้ความละเอียด 12 Bit โดยมีค่าเป็นตัวเลขดิจิทัลคือระหว่าง 0-4096

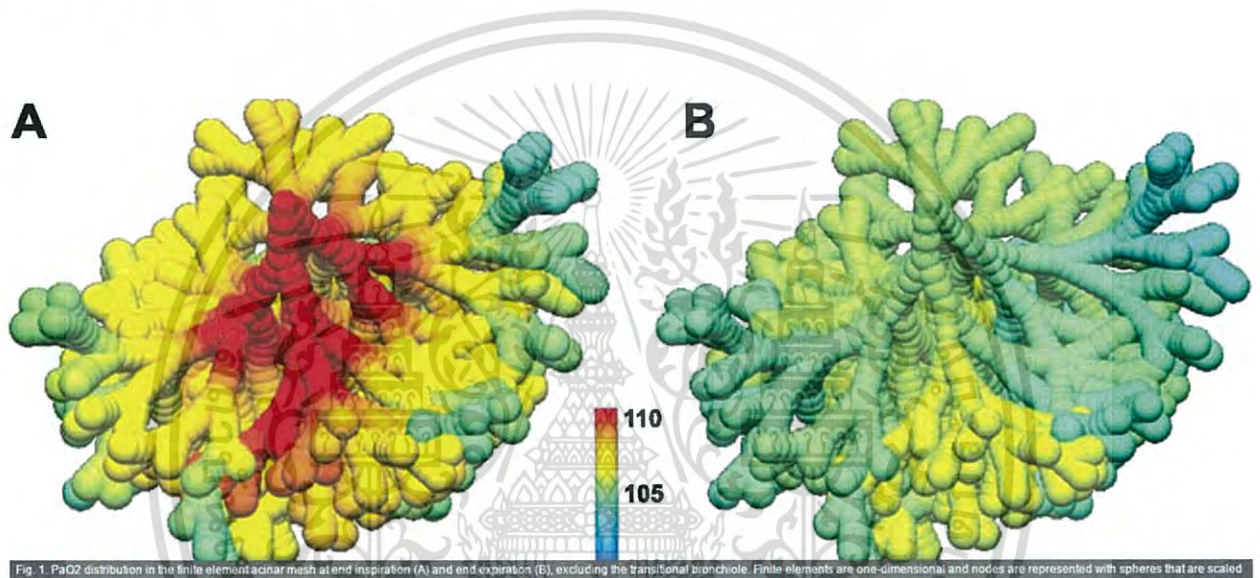


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการต่อ MCP4725 I2C DAC Breakout Boards เข้ากับบอร์ด Arduino [12]

2.13 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (อังกฤษ: finite element method, finite element analysis) หรือที่เรียกย่อๆว่า FEM คือเทคนิควิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อมๆกับสมการปริพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ (สำหรับปัญหาที่อยู่ในสภาวะคงที่) หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์เช่น Euler method Runge-Kutta methods ในการวิเคราะห์ปัญหาใดปัญหาหนึ่งนั้น ปัญหานั้นมักประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ผลแม่นยำ ตรงที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้จะประกอบด้วยค่าของตัวแปรตามของตำแหน่งต่างๆกันบนรูปลักษณะของปัญหานั้น

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังบ่งชี้ว่าผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต้องสอดคล้อง (Satisfy) กับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้สำหรับปัญหานั้นๆ ซึ่งหมายความว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องห้มีพิจารณาที่ละเอลิเมนต์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้นจากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์มาประกอบเข้าด้วยกัน ก่อให้เกิดระบบสมการรวม ซึ่งในความหมายทางกายภาพคล้ายกับการนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริง แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ลงไปในระบบสมการรวมนี้ก่อนทำการแก้ระบบสมการดังกล่าว เพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณที่ต้องการตามตำแหน่งต่างๆของปัญหานั้น



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการทำไฟไนต์เอลิเมนต์ ซิมูเลชันการกระจายของ PaO₂ ในปอดของมนุษย์ ขณะหายใจเข้า (รูปA) และขณะหายใจออก (รูป B) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 แมกนีตรอน (Magnetron)

แมกนีตรอนเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้กำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz มีลักษณะดังแสดงในรูปที่3 ซึ่งประกอบด้วยไส้หลอด(Filament) คาโทด(Cathode)ซึ่งเป็นขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอด และถูกบรรจุอยู่ในช่องสุญญากาศซึ่งส่วนของผนังรอบๆจะทำหน้าที่เป็นขั้วอโนด(Anode) คลื่นไมโครเวฟที่ถูกกำเนิดขึ้นจะถูกส่งออกมาภายนอกโดยAntenna ในการทำงานของแมกนีตรอนนั้นแมกนีตรอนจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมากกว่า 4,000 โวลต์ไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับขั้วอโนด ก็จะทำให้อิเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะทำให้แมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในช่องสุญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วอโนด ให้เท่ากับ 2.45 GHz



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างแมกนีตรอน (รูป ก) และโครงสร้างแมกนีตรอน (รูป ข) [14]

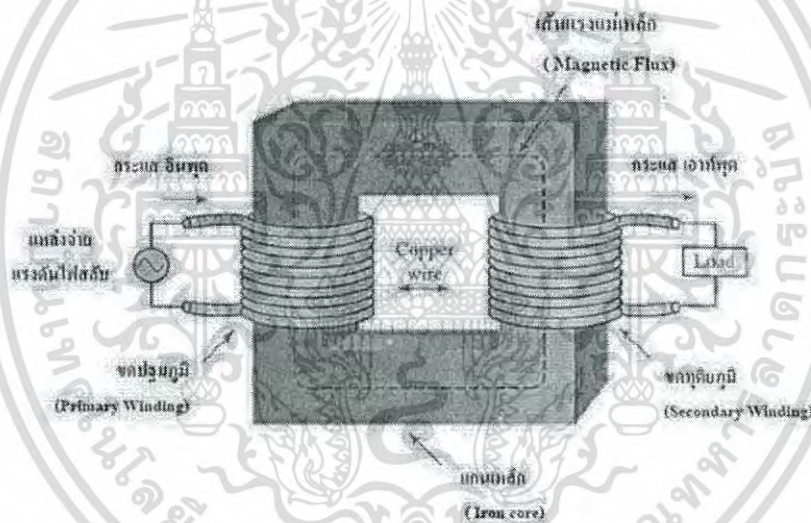
2.15 เรกกูเลเตอร์แปลงไฟสลับชนิดSCR(SCR Regulator)

ตัวเรียงกระแสควบคุมชนิด ซิลิคอน อุปกรณ์ใช้ โซลิตสเตททำหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอัตโนมัติ รับสัญญาณอนาล็อก (Analog Input) 4-20mA จากคอนโทรเลอร์ หรือควบคุมแมนนวลผ่าน ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor)ช่วยให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นเนื่องจากลดการ overshoot ของอุณหภูมิ จากการทดสอบสามารถประหยัดพลังงานได้สูงสุดถึง 30% เปรียบเทียบกับระบบแมนนวล หากมีการใช้งานร่วมกับ Temperature controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) คือเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่ในการเพิ่มหรือลดระดับแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้ยังใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวปรับอิมพีแดนซ์ (Impedance Matching) และใช้เป็นตัวแยกระบบไฟฟ้าไม่ให้ต่อเนื่องกัน (Isolation Transformer) เพื่อวัดกับเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น อาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้น และถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวตัดผ่านตัวนำ ก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำนั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก และความเร็วในการตัดผ่านตัวนำของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของภาวะการพาความร้อนในการรักษาเซลล์มะเร็งปอด บทนี้จะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลอง โครงสร้างและองค์ประกอบของวงจรกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศและการจัดการจำลองการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1 การออกแบบการจำลอง

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบการจำลอง ซึ่งในบทนี้จะเป็นการจำลองสายอากาศที่อยู่ในปอดขณะและจำลองทั้งการจำกัดช่วงของสายอากาศที่เปิดออก

3.1.1 แบบจำลองของสายอากาศที่อยู่ในเนื้อเยื่อปอด

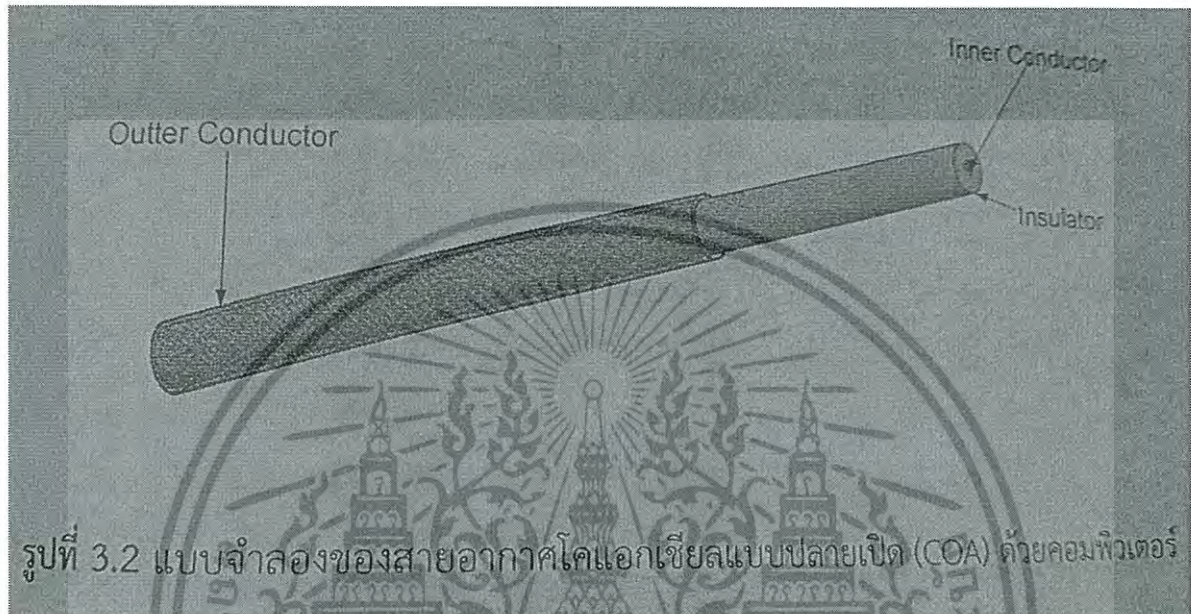
ในแบบจำลองนี้จะใช้สายอากาศแบบโคแอกเซียลปลายเปิด(COA) แบบ Semi-Rigid นำมาปลอกตัวนำนอกออก ความยาว 2 เซนติเมตร ส่วนปลายของสายอากาศที่ปลอกตัวนำนอกออก เรียกว่าเป็นส่วนปลายเปิด



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศโคแอกเซียลแบบปลายเปิด(COA) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปจะแสดงโครงสร้างของสายอากาศ โดยสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Solidworks ดังรูป 3.1.2 และทำการเชื่อมต่อกับโปรแกรมCOMSOL Multiphysics V3.5a เพื่อใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ และจำลองการทำงานด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยขนาดของสายอากาศจะแสดงดังตาราง 3.1



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของสายอากาศโคแอกเซียลแบบปลายเปิด (COA) ด้วยคอมพิวเตอร์

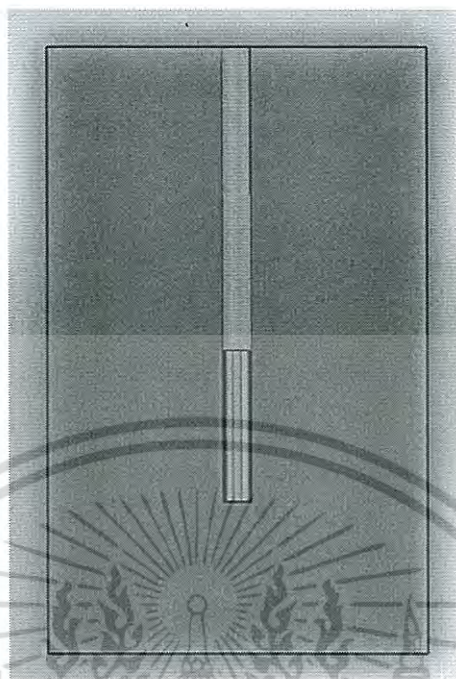
รูปที่ 3.2 แบบจำลองสายอากาศโคแอกเซียลแบบปลายเปิด(COA)ด้วยคอมพิวเตอร์ [17]

ตาราง 3.1 รายละเอียดขนาดของสายอากาศ

พารามิเตอร์	ขนาด(มิลลิเมตร)
เส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำใน(D1)	0.912
เส้นผ่านศูนย์กลางไดอิเล็กทริก(D2)	2.985
เส้นผ่านศูนย์กลางตัวนำนอก(D3)	3.581
ความยาวที่เปิดออกของเสาอากาศ(L2)	20
ความยาวทั้งหมดของเสาอากาศ(L1)	60

และต่อไปเป็นการจำลองให้สายอากาศอยู่ภายในเนื้อเยื่อปอด(ชนิดหัด) โดยกำหนดให้เนื้อเยื่อปอดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 มิลลิเมตรและยาว 80 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่อยู่ในเนื้อเยื่อปอด(ขณะหด)

3.2 แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์

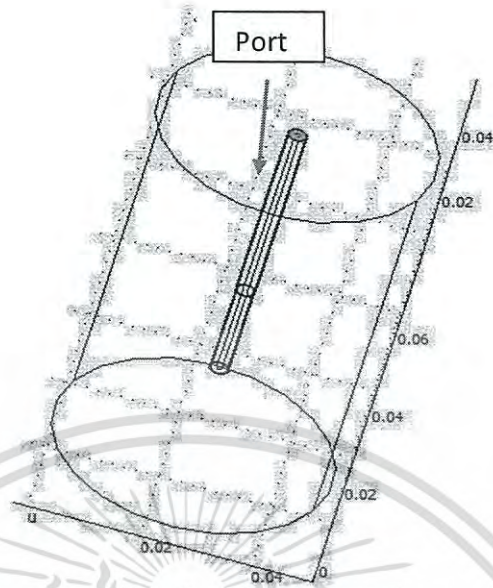
ในการจำลองการทำงาน เราใช้การจำลองการทำงานด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics V3.5a บนระบบปฏิบัติการ 64 บิต การจำลองการทำงานนั้นจะประกอบด้วยสองโมดูล คือ

1. Bioheat equation
2. Electromagnetic waves

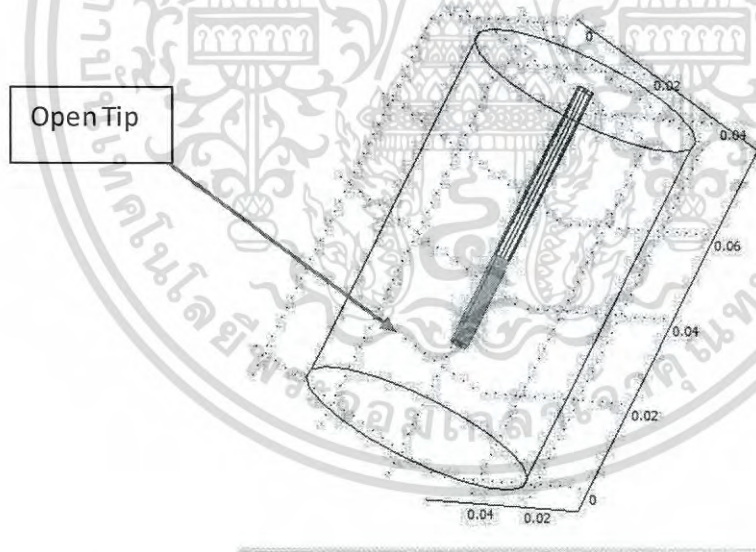
3.2.1 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

ในการกำหนดขอบเขตของเงื่อนไข ในระบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำลายเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ทำการกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตโมดูล เพื่อกำหนดรายละเอียดที่ใช้คำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



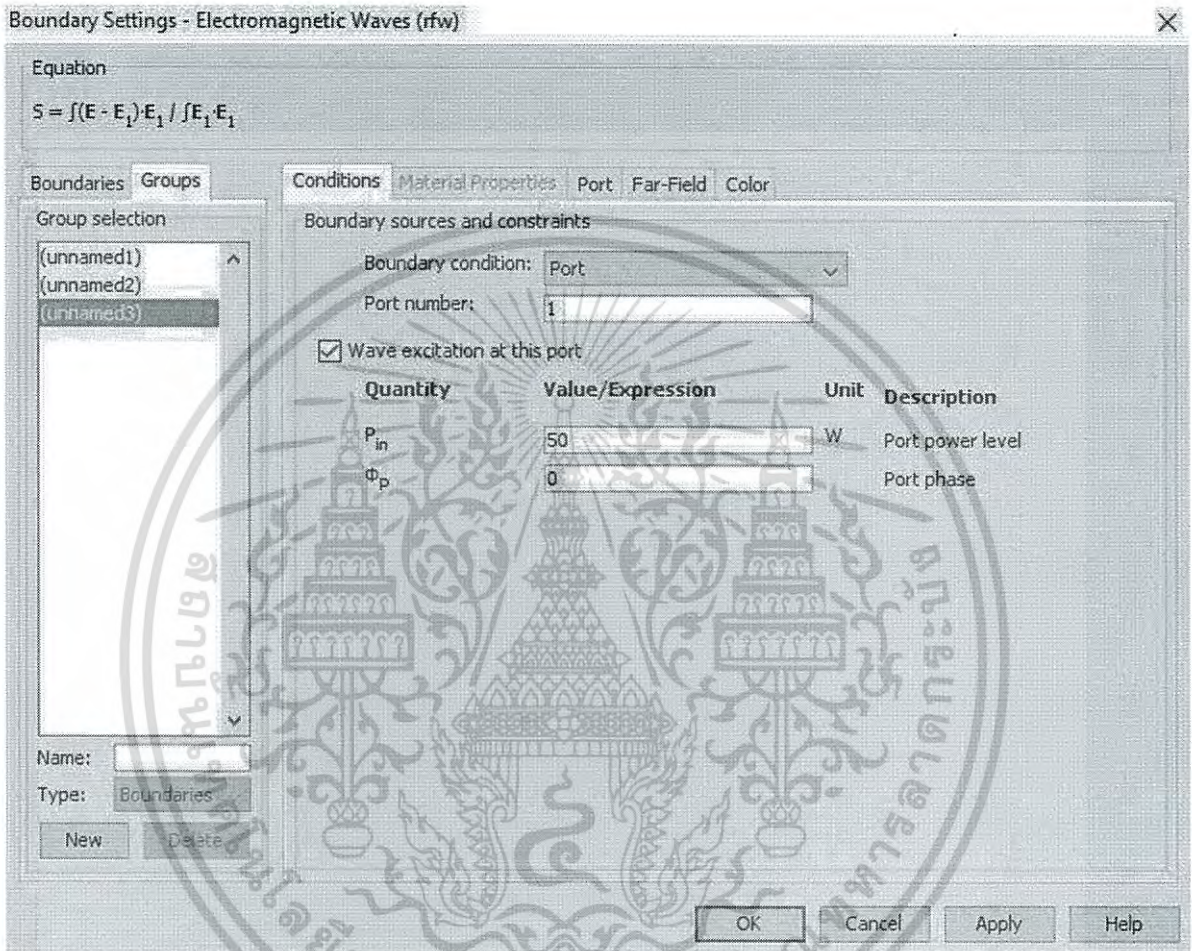
รูปที่ 3.4 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของ Port ในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 3.5 แสดงเงื่อนไขขอบเขตของ Open Tip ในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.5 เป็นขอบเขตจุดที่คลื่นไมโครเวฟออกจากสายอากาศ โดยคลื่นจะออกจากบริเวณ Open-tip เพื่อไปทำลายเซลล์มะเร็งปอด(ขณะหัด)แสดงขอบเขตบริเวณของเนื้อเยื่อปอด



รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนดพลังงานให้กับ Port

หลังจากกำหนดขนาดของกำลังงานที่ใส่ให้กับขอบเขต ที่เป็น Port เรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นการกำหนดความถี่ไมโครเวฟ 2.45GHz โดยกำหนดที่ Application Scalar Variable แสดงดังรูป 3.7

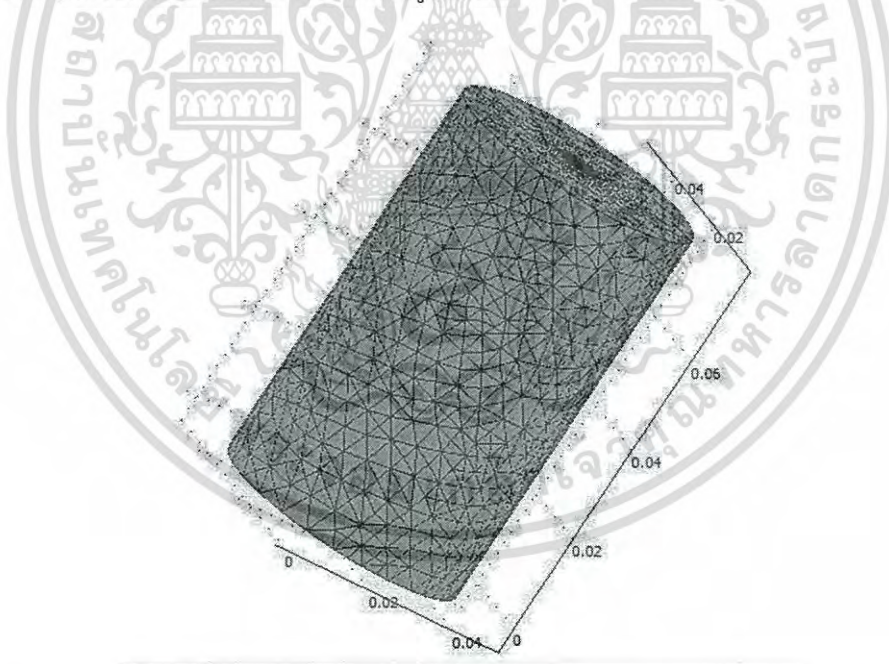
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	Expression	Unit	Description
epsilon0_rfw	8.854187817e-12	F/m	Permittivity of vacuum
mu0_rfw	4*pi*1e-7	H/m	Permeability of vacuum
nu_rfw	2.45e9	Hz	Frequency
E0ix_rfw	exp(-j*k0_rfw*z)	V/m	Incident electric field, x component
E0iy_rfw	0	V/m	Incident electric field, y component
E0iz_rfw	0	V/m	Incident electric field, z component
psi0_rfw	psi0_guess_rfw	V/m ²	Gauge fixing variable scaling

Synchronize equivalent variables

OK Cancel Apply Help

รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดความถี่ 2.45GHz ให้กับ Electromagnetic ในการคำนวณผลลัพธ์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อนำไฟล์ที่สร้างรูปทรงจากโปรแกรม SolidWork วาดรูปทรง 3 มิติ เป็นที่เรียบร้อย เราจะใช้โปรแกรม Comsol v3.5a ในการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นย่อยๆ ที่เรียกว่า เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แบบจำลองสายอากาศทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด(ขณะหด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของสายอากาศ เนื้อเยื่อปอด(ขณะหด)จะถูกแบ่งออกเป็นชั้นย่อย ๆ ด้วยเอลิเมนต์ที่มีรูปเป็นสามเหลี่ยม โดยบริเวณรอบๆ สายอากาศจะมีขนาดของเอลิเมนต์ที่เล็ก ส่วนบริเวณที่ห่างออกจากสายอากาศจะมีขนาดเอลิเมนต์ที่ใหญ่ขึ้น จำนวนเอลิเมนต์ของสายอากาศที่ใช้แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในเนื้อเยื่อปอดขณะหดมีจำนวน 361071 เอลิเมนต์

รายละเอียดจำนวนเอลิเมนต์จะสัมพันธ์กับความซับซ้อนของโครงสร้างและการจัดวางสายอากาศ และจะใช้หน่วยความจำในการประมวลผลที่มากกว่าแบบจำลองที่มีเอลิเมนต์น้อยๆ ดังนั้นในการประมวลผลจำเป็นจะต้องคำนึงถึงจำนวนเอลิเมนต์ เพื่อจัดสรรหน่วยความจำให้เพียงพอและจำนวนเอลิเมนต์ยิ่งมาก แสดงถึงมีความละเอียดมากขึ้นเพิ่มเติมด้วย

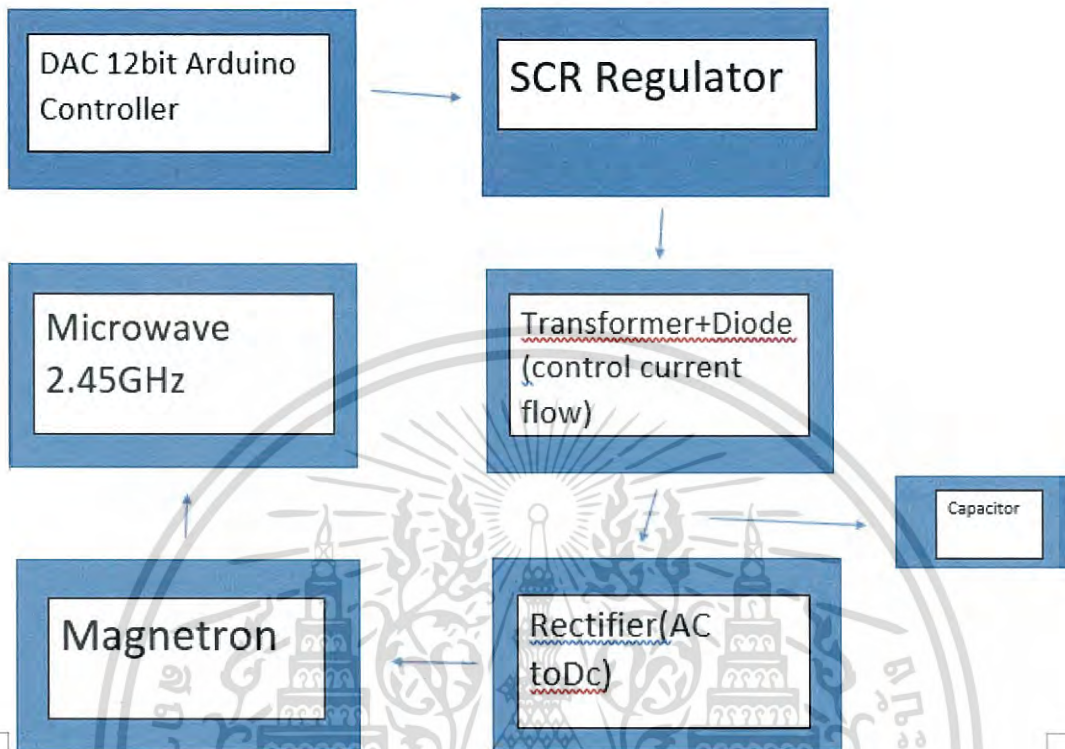
โดยสร้างรูปแบบของสายอากาศและส่วนประกอบต่างๆด้วยโปรแกรม Solidwork ส่งออกไปยัง Comsol Multiphysics V3.5a เพื่อทำการใส่ Boundary และค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน รายละเอียดของพารามิเตอร์ของการ Simulation แสดงได้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อเยื่อปอดขณะหด

ρ_{Lungs} = Density of Lungs(Deflated)	$1050 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
C_{Lungs} = Specific heat of lungs	$3886 \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{k}} \right]$
ρ_{Blood} = blood density	$1000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
C_{blood} = specific heat of blood	$3639 \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{k}} \right]$
W Blood = blood perfusion rate	$3.6 \times 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}} \right]$
k = Thermal conductivity of lungs	$0.39 \left[\frac{\text{S}}{\text{m}} \right]$
σ_{Lungs} = electrical conductivity of lungs	$1.6825 \left[\frac{\text{S}}{\text{m}} \right]$
ϵ_{Lungs} = relative permittivity of Lungs	48.381
ϵ_{diel} = relative permittivity of dielectric	2.03
ϵ_{insul} = relative permittivity of insulator	2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ไมโครเวฟ



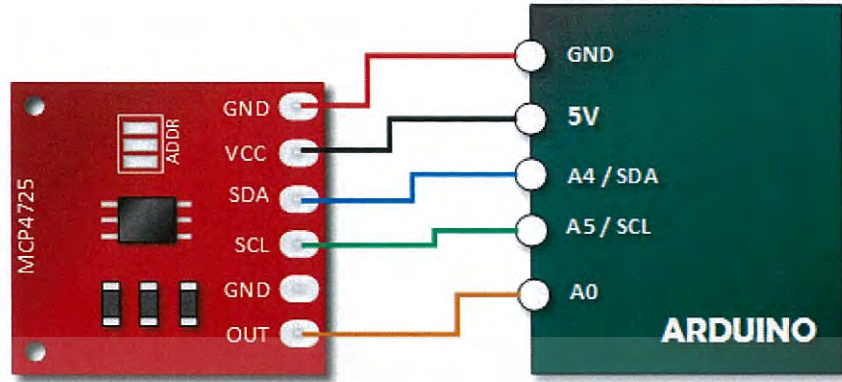
รูปที่ 3.9 แสดงภาพรวมวงจรกำเนิดคลื่นแมกนีตรอน

3.3.1 หน่วยประมวลผล

หน่วยประมวลผลที่ใช้ในปฏิยานิพนธ์นี้คือ Arduino เนื่องจากโปรแกรมของ Arduino นั้นสามารถพัฒนาได้ง่ายและสะดวก รวมทั้งมีlibrary รองรับหลายแบบ

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน hardware และ software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

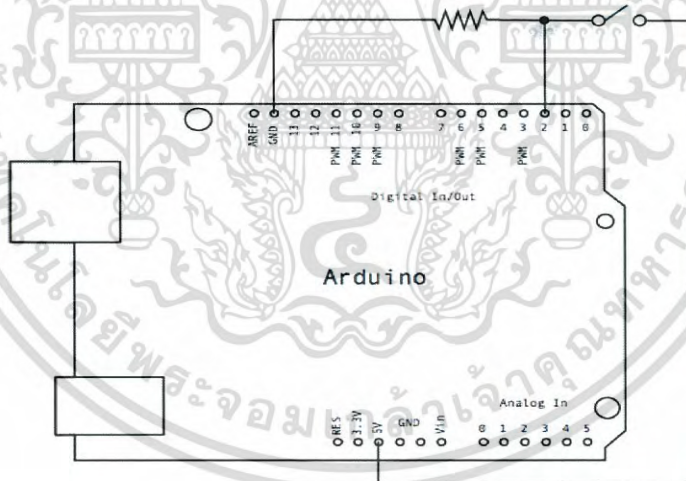
อุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายไฟนั้นคือ MCP4725 โดยจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยรับคำสั่งสัญญาณดิจิทัลจากการประมวลผลของ Arduino



รูปที่ 3.10 แสดงการเชื่อมต่อMCP4725ด้วยArduino [18]

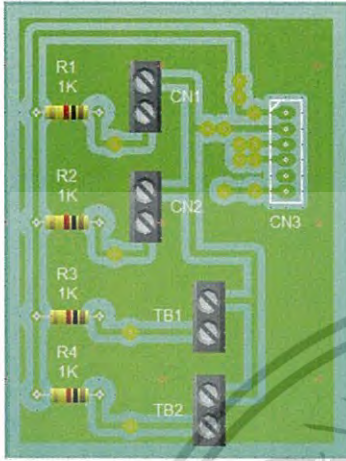
Arduino จะส่งสัญญาณ clock ที่ควบคุมจังหวะการทำงานของ DAC ผ่านทาง pin-analog (A5) หรือ SCL และส่งข้อมูลผ่าน analog pin(A4) หรือ SDA

3.3.2 หน่วยควบคุมvoltage

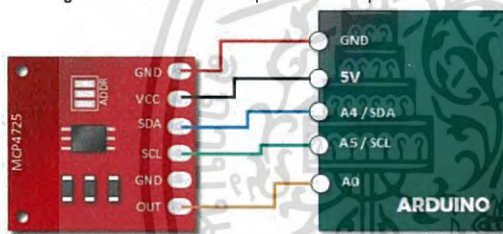


รูปที่ 3.11 แสดงการต่อ Switch กับArduino [19]

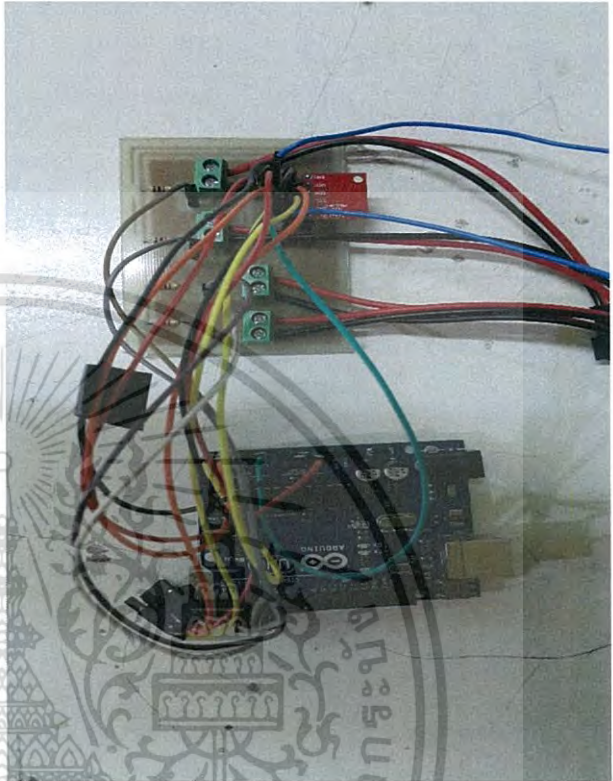
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรปุ่มกดควบคุม

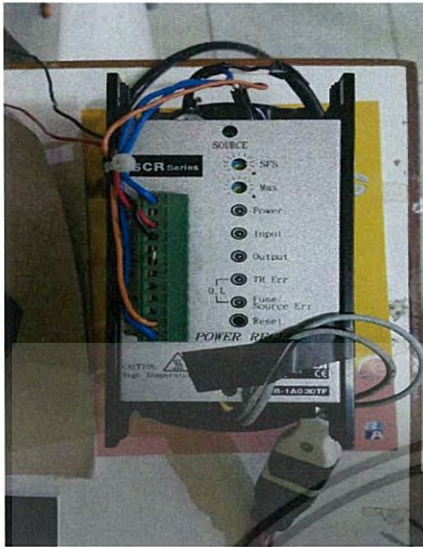


รูปที่ 3.13 MCP4725 With Arduino



การควบคุมนั้นจะใช้สวิตช์กดติดปล่อยดับโดยจะจ่ายไฟเป็นขั้นๆตามคำสั่งของโค้ดจากโปรแกรม Arduinoและมีการเชื่อมต่อกับLCD interface Module (1602 LCD (Blue Screen) 16x2 LCD with backlight of the LCD screen พร้อม I2C Interface) เพื่อแสดงผลของการจ่ายไฟของ MCP4725 โดยเชื่อมต่อกับArduino โดยให้MCP4725 ทำหน้าที่ในการแปลง สัญญาณDigitalเป็น Analogและมีการใช้ชุดRegulatorแปลงไฟกระแสสลับในการควบคุมกระแสไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่ใช้ในการขับMagnetron จะอยู่ในช่วง110-120 Vac และจะต้องนำไปขยายและแปลงเป็นDCและใช้กำลัง 50 W ในการขับแมกนีตรอนโดยจะมีชุดหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับไมโครเวฟทำหน้าที่ในการขยายศักย์ไฟฟ้าและนำไปขับเคลื่อนการทำงานของแมกนีตรอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ชุดRegulatorแปลงไฟกระแสสลับ



รูปที่ 3.15 ตัวอย่าง 1602 LCD (Blue Screen) 16x2 LCD และ backlight of the LCD screen พร้อม I2C Interface [20]

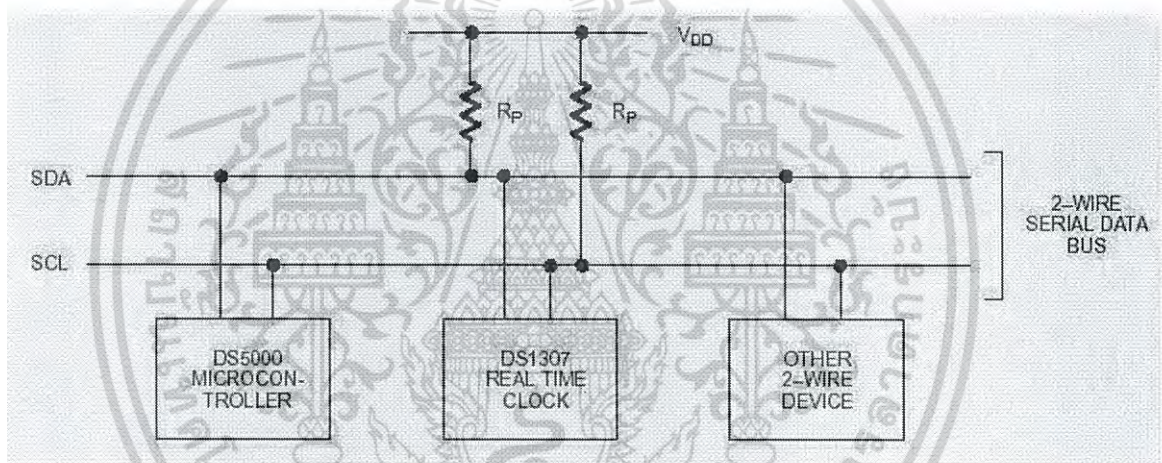


รูปที่ 3.16 I2C Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1 การทำงานของ I2C Bus

I2C Bus ย่อมาจาก Inter Integrate Circuit Bus (IIC) นิยมเรียกสั้นๆว่า BUS (ไอ-แสดคว-ซี-บัล) เป็นการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ติดต่อสื่อสาร ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) ซึ่งสามารถ เชื่อมต่ออุปกรณ์ จำนวนหลายๆ ตัว เข้าด้วยกันได้ ทำให้ MCU ใช้พอร์ตเพียง 2 พอร์ตเท่านั้นใช้สายสัญญาณ 2 เส้น คือ SCL ,SDA สำหรับติดกับอุปกรณ์แบบ 2 ทิศทาง โดยที่ขาสัญญาณทั้ง 2 จะต้องต่อกับตัวต้านทานแบบ pull up 2-10K เนื่องจากเอาต์พุตมีลักษณะเป็น แบบ Open Darin หรือเป็นแบบ Open Collector เพื่อให้เอาต์พุตเชื่อมต่อกันได้หลายตัว



รูปที่ 3.17 ลักษณะการการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I2C BUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 แมกนีตรอนและชุดหม้อแปลงไฟฟ้า

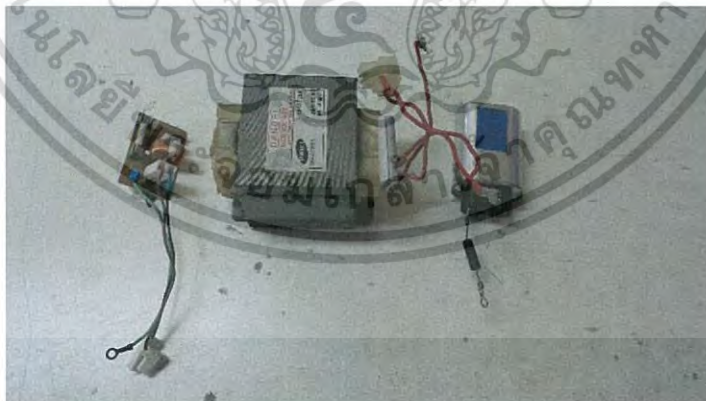
เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกผ่านมายังชุดหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า, แรกติฟายเออร์, ตัวเก็บประจุคัปปีไฟฟ้าสูงสำหรับไมโครเวฟจะทำหน้าที่ในการขยายศักย์ไฟฟ้าและทำให้แมกนีตรอนทำงานเพื่อสร้างคลื่นไมโครเวฟออกไปยังกล่องcouplingและนำไปใช้ต่อไปโดยจะมีพัดลมระบายอากาศเพื่อขับความร้อนให้กับแมกนีตรอนเมื่อมีกระแสไฟฟ้ามาสู่ขั้วลบของแมกนีตรอนก็จะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าหาทรงกระบอกกลม ทรงกระบอกนี้ล้อมรอบขั้วลบและทำหน้าที่เป็นขั้วบวกและสนามแม่เหล็กกับขั้วแม่เหล็กประกอบกับลักษณะร่องยาวทำให้อิเล็กตรอนเกิดแรงผลักรังเป็นวงกลมล้อมรอบขั้วลบเกิดสภาพเสมือนกรแสไฟฟ้าไหลกลับมาอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดคลื่นไมโครเวฟและส่งคลื่นไปท่อนำคลื่นต่อไป



รูปที่ 3.18 แมกนีตรอน



รูปที่ 3.19 พัดลมระบายอากาศ



รูปที่ 3.20 ชุดหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 Virtual Power Meter Software และ Wideband Power Sensor และวงจรรวม

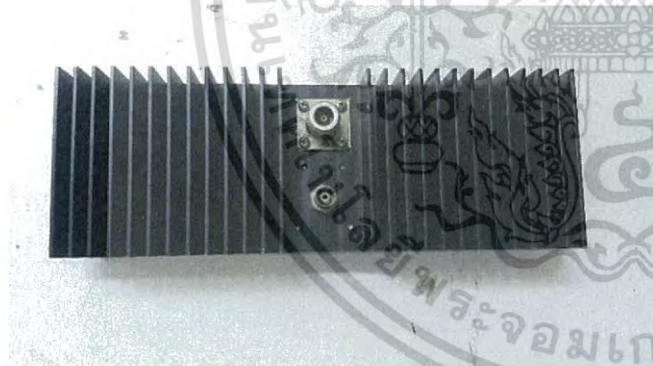
ในการตรวจวัดค่ากำลังของแมกนีตรอนนั้นจะเราซอฟต์แวร์ชื่อว่า VPM หรือ Virtual Power Meter Software และจะใช้ Wideband Power Sensor ให้คลื่นไมโครเวฟนั้นไหลผ่าน โดยจะมีสายอากาศสองด้านเพื่อนำคลื่นจากกล่องcouplingมายังsensor และจะมี load รับเพื่อไม่ให้โครเวฟรั่วและตรวจจับกำลังเพื่อที่จะนำไปใช้ต่อไปโดยจะมีการตั้งค่าที่ 40 วัตต์ 60 วัตต์ และ 80 วัตต์ และนำส่วนประกอบต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อสร้างวงจรผลิตไมโครเวฟ



รูปที่ 3.21 Wideband Power Sensor



รูปที่ 3.22 ขั้วสายอากาศนำไมโครเวฟ



รูปที่ 3.23 โหลดสำหรับไมโครเวฟ

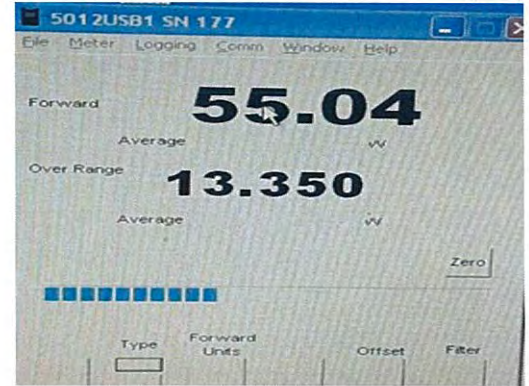


รูปที่ 3.24 ตัวอย่างการเชื่อมต่อ Power Sensor

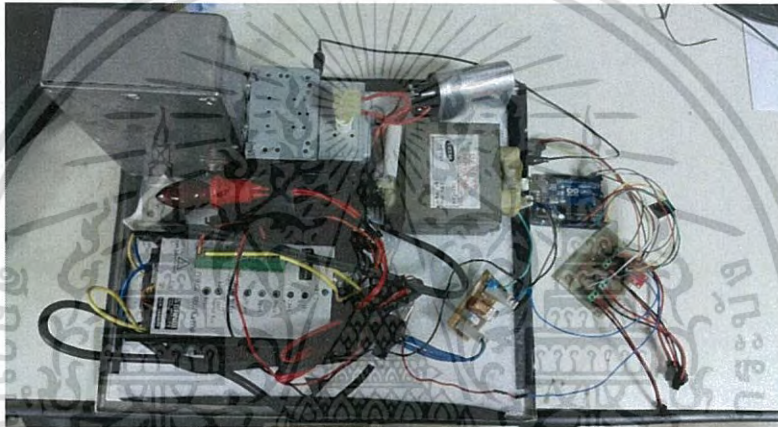
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 การตรวจจับกำลังไมโครเวฟด้วย VPM



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการแสดงผลการตรวจจับค่ากำลังไมโครเวฟ



รูปที่ 3.27 การเชื่อมต่อวงจรระบบสร้างคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 3.28 ส่วนครอบวงจรและLCDแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การจัดเตรียมการทดลอง (Experiment Setup)

ในการทดลองนั้นจะใช้เครื่องช่วยหายใจต่อเข้ากับปอดหมูและตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้สอดคล้องกับการหายใจปกติของมนุษย์และทำลายจ่ายคลื่นไมโครเวฟที่กำลังต่างๆเพื่อเก็บผลของการทดลอง



รูปที่ 3.29 การจัดเตรียมการทดลอง



รูปที่ 3.30 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องช่วยหายใจโดยปรับค่าให้เท่ากับการหายใจของมนุษย์ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

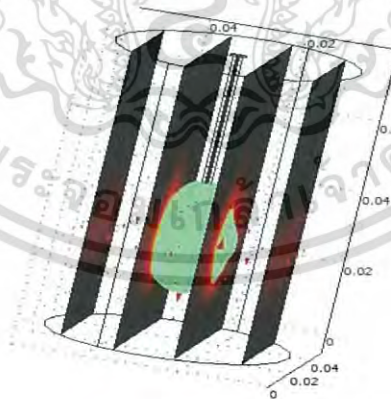
ผลการจำลองการทำงานและผลการทดลอง

4.1 บทนำทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นการจำลองการกระจายความร้อนของคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz โดยแสดงผลการทำงานในรูปของการกระจายอุณหภูมิ, สนามไฟฟ้า(E) SAR และแสดงขนาดการกระจายอุณหภูมิของการทำลายเซลล์มะเร็งที่เกิดขึ้นในบริเวณเนื้อเยื่อปอดและมีการสร้างวงจรควบคุมการปล่อยไฟฟ้าโดยแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและทำการควบคุมด้วยArduinoโดยมีMCP4725เป็น DACตัวแปลงและทำการขยายผ่านแรกกยูเลเตอร์แปลงไฟสลับจากนั้นจะจ่อไปที่ชุดหม้อแปลงไฟฟ้าไมโครเวฟเพื่อขยายศักย์ไฟฟ้าและนำขับเคลื่อนการทำงานของแมกนีตรอนและดึงไมโครเวฟผ่านสายอากาศมาใช้งานและทำการจับกำลังที่ได้ด้วยโปรแกรม VPM และทำการจ่ายกำลังเพื่อดูประสิทธิภาพในการทำลายโดยใช้คลื่นไมโครเวฟโดยทดลองกับปอดเมื่อมีไม่มีการหายใจและมีการหายใจ

4.2 ผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กำหนดเงื่อนไขในการทดลอง คือ ค่าพลังงานเท่ากับ 50 วัตต์ ระยะเวลา 60 วินาที ทดลองกับคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz โดยการส่งผ่านความร้อนสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) โดยผู้วิจัยได้จำลองการทำลายเซลล์มะเร็งปอด(ชนิด)ของสายอากาศแบบปลายเปิด(COA)



รูปที่ 4.1 แสดงผลจำลองการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อขณะหด

โดยจากรูปนั้นอุณหภูมิสูงสุดที่ทำลายคือ 77.431 c และต่ำสุด 37.015 c และสีเขียวแสดงการกระจายอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

การทดลองของงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองแบบ in-vitro โดยใช้เนื้อเยื่อของปอดหมูมาทดลองซึ่ง การทดลองจะเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาการกระจายความร้อนในไขขาว การทดลองที่ 2 ศึกษาการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อปอด(จำลองการหายใจโดยใช้เครื่องช่วยหายใจ) และการทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพการทำลายโดยการวัดอุณหภูมิของเนื้อเยื่อปอดบริเวณใกล้สายอากาศเมื่อได้รับความร้อนจากไมโครเวฟ

4.3.1 ผลการทดลองที่ 1

การทดลองให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟในไขขาว เพื่อศึกษาลักษณะการทำลายแบบ 3 มิติ เมื่อไขขาวได้รับความร้อนจะเกิดการแข็งตัวทำให้เห็นเป็นลักษณะรูปร่างได้อย่างชัดเจน หลังจากนั้นจะนำไขขาวที่แข็งมาวัดขนาด ทำให้ทราบถึงขนาดการทำลายหรือการกระจายตัวของ อุณหภูมิได้



รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายความร้อนในไขขาวของคลื่นไมโครเวฟของสายอากาศแบบปลายเปิด

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นลักษณะการกระจายความร้อนของคลื่นไมโครเวฟที่เกิดในไขขาวหลังจาก ป้อนคลื่นไมโครเวฟผ่านสายอากาศแบบปลายเปิด(COA) การทดลองในไขขาวจะทำให้เห็นถึง ลักษณะการทำลายแบบ 3 มิติ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

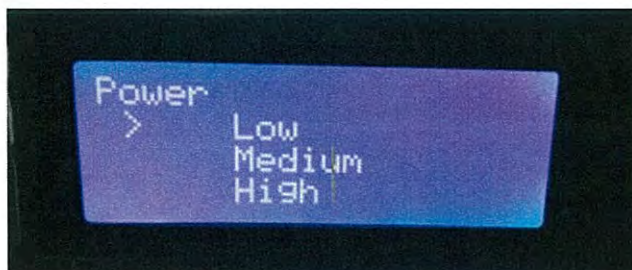


รูปที่ 4.3 แสดงขนาดการกระจายความร้อนในไขขาวของสายอากาศแบบปลายเปิด(COA)

หลังจากให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผ่านสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) ในไขขาวแล้วจะนำไขขาวที่เกิดการแข็งตัวติดกับสายอากาศมาทำการวัดขนาดเพื่อดูปริมาณการกระจายความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ จากรูปที่ 4.2 ขนาดการกระจายความร้อนในไขขาวของสายอากาศแบบปลายเปิด(COA) มีค่าเท่ากับ 10.61 มิลลิเมตร

4.3.2 ผลการทดลองที่ 2

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบปลายเปิด(COA) ในเนื้อเยื่อปอดเมื่อมีการหายใจ(จำลองการหายใจใช้เครื่องช่วยหายใจ)โดยจะทดสอบทั้งสามช่วงกำลังไมโครเวฟคือช่วง 40วัตต์(Low) 60วัตต์(Medium) และ 80วัตต์(High) โดยจะปล่อยคลื่นเป็นเวลา 5 นาทีและทำการวัดขนาดการทำลายบนเนื้อเยื่อ



รูปที่ 4.4 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าบนจอ LCD



รูปที่ 4.5 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้า40W(Low)



รูปที่ 4.6 ทดสอบการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด(40วัตต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้า60W(Medium)



รูปที่ 4.8 ทดสอบการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด(60วัตต์)



รูปที่ 4.9 แสดงผลการเลือกจ่ายค่ากำลังไฟฟ้า80W(High)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ทดสอบการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบปลายเปิด (COA) ในเนื้อเยื่อปอด(80วัตต์)



รูปที่ 4.11 สายอากาศโคแอกเซียลแบบปลายเปิด(COA)



รูปที่ 4.12 ส่วนของชิ้นเนื้อที่ถูกทำลายด้วยความร้อนเรียงตามหมายเลขกำลังไฟฟ้า40W,60Wและ80W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 4.8 และ 4.10 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการกระจายความร้อนของสายอากาศแบบ ปลายเปิด(COA)เพื่อดูขนาดการทำลายบนเนื้อเยื่อปอดแบบไม่มีการหายใจและหลังจากปล่อยคลื่น ความร้อนตามระยะเวลาที่กำหนดคือ 5 นาที ทำการวัดขนาดของเนื้อเยื่อและดูผลการกระจาย ความร้อนในเนื้อเยื่อ ตามกำลังที่จ่ายเรียงลำดับคือ 40วัตต์ 60วัตต์ และ 80วัตต์ พบว่าขนาดของ เนื้อเยื่อที่ถูกทำลายมีขนาด 4.5 มิลลิเมตร 8.7 มิลลิเมตร และ 17.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

4.3.3 ผลการทดลองที่ 3

การทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำลาย โดยพิจารณาจากเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียง และใช้โหมตการตรวจวัดอุณหภูมิของ Fluke Multimeter เพื่อทำการตรวจจับอุณหภูมิที่บริเวณ ใกล้เคียงโดยเก็บผลเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อดูแนวโน้มการเพิ่มของอุณหภูมิและทำการแสดงผลใน รูปแบบของกราฟ



รูปที่ 4.13 การตรวจวัดอุณหภูมิด้วยโหมตการตรวจวัดอุณหภูมิของ Fluke Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low power 40 watts 5 นาที เวลา (วินาที)	อุณหภูมิเนื้อเยื่อปอด (องศาเซลเซียส)
เริ่มต้นให้พลังงาน (วินาทีที่ 0)	17.2
หยุดให้พลังงาน (วินาทีที่ 300)	48.5
ทิ้งไว้ 1 นาที (วินาทีที่ 360)	35.6

ตาราง 4.1 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการใช้คลื่นไมโครเวฟทำลายเนื้อเยื่อปอด โดยใช้พลังงาน 40 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที พร้อมวัดอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดที่เปลี่ยนแปลง

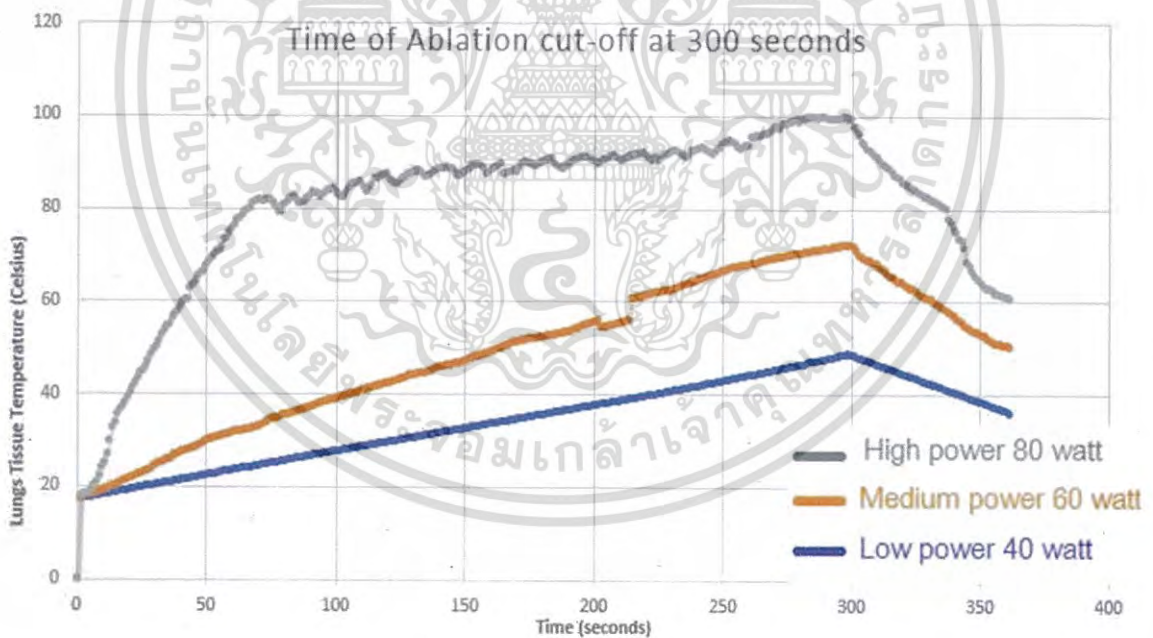
Medium power 60 watts 5 นาที เวลา (วินาที)	อุณหภูมิเนื้อเยื่อปอด (องศาเซลเซียส)
เริ่มต้นให้พลังงาน (วินาทีที่ 0)	17.0
หยุดให้พลังงาน (วินาทีที่ 300)	72.0
ทิ้งไว้ 1 นาที (วินาทีที่ 360)	50.1

ตาราง 4.2 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการใช้คลื่นไมโครเวฟทำลายเนื้อเยื่อปอด โดยใช้พลังงาน 60 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที พร้อมวัดอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High power 80 watts 5 นาที เวลา (วินาที)	อุณหภูมิเนื้อเยื่อปอด (องศาเซลเซียส)
เริ่มต้นให้พลังงาน (วินาทีที่ 0)	17.8
หยุดให้พลังงาน (วินาทีที่ 300)	99.3
ทิ้งไว้ 1 นาที (วินาทีที่ 360)	60.6

ตาราง 4.3 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการใช้คลื่นไมโครเวฟทำลายเนื้อเยื่อปอด โดยใช้พลังงาน 80 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที พร้อมวัดอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื้อเยื่อปอดบริเวณใกล้เคียงสายอากาศ(COA).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ ซึ่งการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการสร้างแบบจำลองก่อนการสร้างระบบการทดสอบจริงเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งช่วยให้เราสามารถออกแบบและสร้างระบบขึ้นมาตามที่เรต้องการทดสอบหรือนำมาใช้ในการทดลองจริงได้ วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จะช่วยวิเคราะห์รูปแบบการทำลายเซลล์มะเร็งโดยแสดงผลในรูปของสนามไฟฟ้าและความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อ วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นวิธีการที่ทำให้เราประหยัดเวลา เพราะจะช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาที่ยุ่งยากก่อนที่จะทำการทดลองจริงและจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของการพาความร้อนในการรักษาเซลล์มะเร็งปอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งการสร้างระบบทดลองจริงจะมีวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายในการทดลองค่อนข้างสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 3 มิติ มาช่วยวิเคราะห์ผลการทดลองก่อนที่จะทำการทดลองจริง (ขณะหด) ด้วยคลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาค่าของเนื้อเยื่อ การกระจายของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อปอด

ในส่วนของวงจรสร้างคลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนควบคุมการปล่อยไฟฟ้า?r Microcontroller ArduinoUno , MCP4725, แรกกูเลเตอร์แปลงไฟกระแสสลับ,ชุดหม้อแปลงไฟฟ้าไมโครเวฟ,แมกนีตรอนโดยจะมีหลักการทำงานคือmicrocontrollerจะจ่ายไฟผ่านวงจรของMCP4725และผ่านไปยังแรกกูเลเตอร์แปลงไฟสลับเพื่อทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับและผ่านไปยังชุดหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำการขยายศักย์ไฟฟ้าและแปลงกลับมาเป็นกระแสตรงเพื่อให้แมกนีตรอนนั้นทำงานและจ่ายคลื่นไมโครเวฟเพื่อให้นำไปใช้ในการทำลายเนื้อเยื่อปอดโดนในส่วนของการควบคุมการจ่ายไฟฟ้านั้นจะทำการควบคุมค่าการจ่ายออกเป็น 3 ช่วงคือ ต่ำ(Low,40วัตต์) กลาง(Medium,60วัตต์) สูง(High,80วัตต์) จากการทดลองเมื่อจ่ายไฟจากmicrocontroller 2.036 โวลต์ จะได้ค่ากำลัง 40W 2.07 โวลต์ จะได้ค่ากำลัง 60วัตต์ 2.087 โวลต์ จะได้ค่ากำลัง 80วัตต์ โดยเมื่อนำไปวงจรไปทดลองในการทำลายเนื้อเยื่อปอดนั้นเมื่อปรับค่ากำลังของไมโครเวฟ สามระดับ ระยะเวลาที่กำหนดคือ 5 นาที ทำการวัดขนาดของเนื้อเยื่อและดูผลการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อ ตามกำลังที่จ่ายเรียงลำดับคือ 40วัตต์ 60วัตต์ และ 80วัตต์ พบว่าขนาดของเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายมีขนาด 4.5 มิลลิเมตร 8.7 มิลลิเมตร และ 17.5 มิลลิเมตร ตามลำดับและได้มีการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำลาย โดยพิจารณาจากเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียงและใช้โหมมการตรวจวัดอุณหภูมิของ Fluke Multimeter เพื่อทำการตรวจจับอุณหภูมิที่บริเวณใกล้เคียงโดยเก็บผลเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อดูแนวโน้มการเพิ่มของอุณหภูมิ โดยที่ 40วัตต์ อุณหภูมิสูงสุดที่ได้คือ 48.5 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ 60วัตต์ อุณหภูมิสูงสุดที่ได้คือ 72.0 องศาเซลเซียส โดยที่ 80วัตต์ อุณหภูมิสูงสุดที่ได้คือ 99.3 องศาเซลเซียส โดยจะเห็นได้ว่ายิ่งกำลังมากขึ้นระยะการเผาทำลายก็จะมากขึ้นด้วยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของไมโครเวฟและพื้นที่ในการทำลายจะเป็นแบบแปรผันตรง

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

1) สายอากาศรูปแบบใหม่ๆ อาจจะต้องใช้สายอากาศในรูปแบบที่มีโครงสร้างโค้งงอได้และมีขนาดที่หลากหลาย เพื่อการเลือกใช้งานให้มีความเหมาะสมกับลักษณะเซลล์มะเร็งปอดที่มีขนาดต่างกันและสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกบริเวณที่มีโครงสร้างซับซ้อน

2) การควบคุมวงจรกำเนิดคลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นควรมีการปรับค่าการจ่ายไฟฟ้าเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำและเสถียรมากขึ้นโดยในการตรวจจับกำลังไฟฟ้านั้นถ้ามีการรั่วไหลของสายอากาศจะทำให้ค่าของไมโครเวฟนั้นไม่แม่นยำได้

แนวทางในการพัฒนาต่อไป ส่วนที่มีความสนใจ คือ สายอากาศรูปแบบใหม่ๆ อาจจะต้องใช้สายอากาศในรูปแบบที่มีโครงสร้างมีส่วนยึดเกาะกับเนื้อเยื่อปอดได้มากขึ้นและจะทำให้การเผาทำลายมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1],[2] ความรู้โรคมะเร็งปอดหน่วยสารสนเทศมะเร็งโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_ca.php?newsID=2&typeID=18

[3],[4] โรคมะเร็งปอด บริษัทในเครือสีมาเฮลทแคร์

<http://www.simaxray.com/roks15.php>

[5] นวัตกรรมใหม่ในการรักษามะเร็งตับด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ มนตรีไชยชาญยุทธ์ และ
สุพันธ์ตั้งจิตกุศลมัน วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 พ.ค. - ส.ค.
2557 The Journal of KMUTNB., Vol. 24, No. 2, May. - Aug. 2014

[6],[7],[8],[9],[10],[16],[17] Analysis of Heat Sink Effect in Hepatic Cancer
Treatment Near Arterial for Microwave Ablation by Using Finite Element Method
P.Phasukkit, P.Yhamyindee, S.Tungjitektusolmun and A.Sanpanich The 2012
BMEiCON-2012

[11] BASIC ARDUINO ตอนที่ 1: ARDUINO คืออะไร,
<http://www.sat2you.com/site/?p=2702>

[12],[18] <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-output-devices/arduino-mcp4725-digital-to-analog-converter-tutorial/>

[13] Journal of Applied Physiology งานวิจัยของ Annalisa J. Swan, Merryn H. Tawhai

[14] http://thep-center.org/src/article_edu_t.php?article_edu_id=5

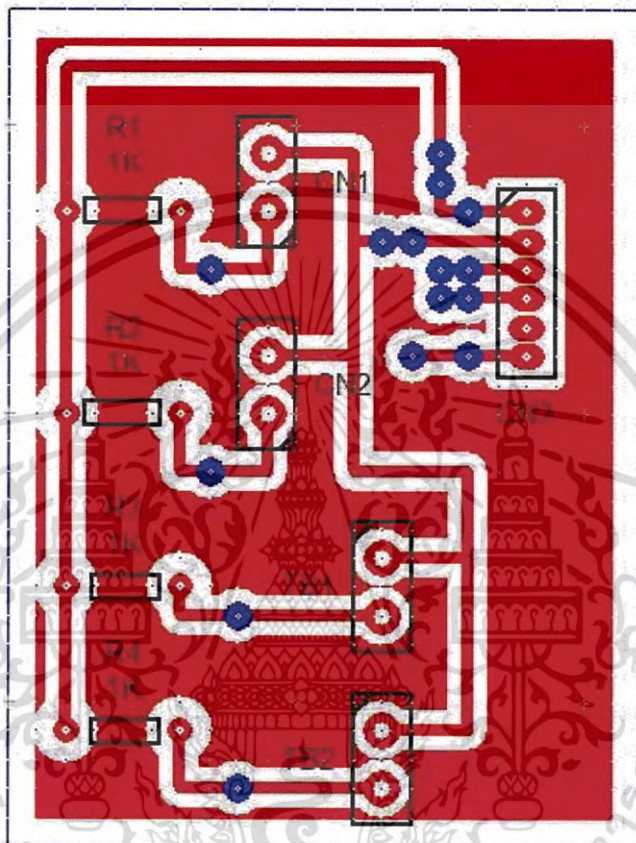
[15] <http://www.pspstech.co.th/หลักการทํางานของหม้อแปลงไฟฟ้าtransformer-16777>

[19] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Button>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

แบบลายวงจร PCB ปุ่มกดแบบ กดติด ปล่อยดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดโปรแกรม Arduino

```

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_MCP4725.h>

#include <LCD.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define voltsIn A0

#define I2C_ADDR 0x3F

#define BACKLIGHT_PIN 3

LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7);

float dac_value;

Adafruit_MCP4725 dac; // constructor

const int buttonPinUP = 2; // the number of the pushbutton pin

int buttonStateUP = 0; // variable for reading the pushbutton status

const int buttonPinDOWN = 3; // the number of the pushbutton pin

int buttonStateDOWN = 0; // variable for reading the pushbutton status

const int startPin = 4; // the number of the pushbutton pin

int startPinState = 0; // variable for reading the pushbutton status

int i = 0, j = 0, k = 0, m = 0;

const int Back = 5; // the number of the pushbutton pin

int BackState = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void setup(void) {

  Serial.begin(9600);

  dac.begin(0x60); // The I2C Address: Run the I2C Scanner if you're not sure

  // initialize the pushbutton pin as an input:

  pinMode(buttonPinUP, INPUT);

  pinMode(buttonPinDOWN, INPUT);

  pinMode(startPin, INPUT);

  pinMode(Back, INPUT);

  lcd.begin (20, 4);

  lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN, POSITIVE);

  lcd.setBacklight(HIGH);

  lcd.home ();

}

void loop() {

  int adcValueRead = 0;

  float voltageRead = 0;

  float dac_expected_output;

  Serial.print(i);

  Serial.print("  ");

  Serial.print(j);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// read the state of the pushbutton value:

buttonStateUP = digitalRead(buttonPinUP);

buttonStateDOWN = digitalRead(buttonPinDOWN);

startPinState = digitalRead(startPin);

BackState = digitalRead(Back);

if (startPinState == HIGH) {

    m++;

    if (m > 3) {

        m = 3;

    }

    i++;

    if (i > 2) {

        i = 2;

    }

    k = 1;

    delay(500);

    lcd.clear();

}

if (BackState == HIGH) {

    m--;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (m < 3) {

    m = 1;

}

i--;

if (i < 1) {

    i = 1;

}

delay(500);

k = 0;

dac_value = 0;
dac_expected_output = 0;

lcd.clear();

}

if (i != 0) {

    if (buttonStateUP == HIGH) {

        j++;

        delay(500);

        lcd.clear();

    }

    if (buttonStateDOWN == HIGH) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

j--;

delay(500);

lcd.clear();

}

if (j < 0) {

j = 0;

}

if (j > 2) {

j = 2;

}

if (j == 0 && i == 1) {

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Power");

lcd.setCursor(1, 1);

lcd.print(">");

lcd.setCursor(6, 1);

lcd.print("Low");

lcd.setCursor(6, 2);

lcd.print("Medium");

lcd.setCursor(6, 3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print("High");
}

else if (j == 1 && i == 1) {

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Power");

    lcd.setCursor(1, 2);

    lcd.print(">");

    lcd.setCursor(6, 1);

    lcd.print("Low");

    lcd.setCursor(6, 2);

    lcd.print("Medium");

    lcd.setCursor(6, 3);

    lcd.print("High");
}

else if (j == 2 && i == 1) {

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Power");

    lcd.setCursor(1, 3);

    lcd.print(">");

    lcd.setCursor(6, 1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print("Low");

lcd.setCursor(6, 2);

lcd.print("Medium");

lcd.setCursor(6, 3);

lcd.print("High");

}

else if (j == 0 && i == 2 && m == 2) {

    if (k == 1) {

        dac_value = 0;

        lcd.setCursor(0, 0);

        lcd.print(dac_value);

        delay(1000);

        lcd.clear();

        k = 0;

    }

    if (dac_value < 4096) {

        dac_value++;

        if (dac_value > 1668 - 120) {

            dac_value = 1668 - 120;

        }

    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dac_value = dac_value + 120;

delay (1000);

}

dac_expected_output = (5.0 / 4096.0) * dac_value; //dac_value=2.5

dac.setVoltage(dac_value, false); //functionส่งออก

// delay(250);

adcValueRead = analogRead(voltIn);

voltageRead = (adcValueRead * 5.0 ) / 4096.0;

lcd.setCursor(6, 0);

lcd.print("dac value");

Serial.print("DAC Value: ");

Serial.print(dac_value);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(dac_value);

lcd.setCursor(7, 2);

lcd.print("VOLTAGE");

Serial.print("\tExpected Voltage: ");

Serial.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(0, 3);

lcd.print(dac_expected_output, 3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.setCursor(7, 3);

lcd.print("Volt.");

}

else if (j == 0 && i == 2 && m == 3) {

    if (k == 1) {

        dac_value = 0;

        lcd.setCursor(0, 0);

        lcd.print(dac_value);

        delay(500);

        lcd.clear();

        k = 0;

    }

    if (dac_value < 4096) {

        dac_value++;

        if (dac_value > 0) {

            dac_value = 0;

        }

        dac_value = dac_value + 0;

        delay (500);

    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dac_expected_output = (5.0 / 4096.0) * dac_value; //dac_value=2.5

dac.setVoltage(dac_value, false); //functionส่งออก

// delay(250);

adcValueRead = analogRead(voltsIn);

voltageRead = (adcValueRead * 5.0 ) / 4096.0;

lcd.setCursor(6, 0);

lcd.print("dac value");

Serial.print("DAC Value: ");

Serial.print(dac_value);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(dac_value);

lcd.setCursor(7, 2);

lcd.print("VOLTAGE");

Serial.print("\tExpected Voltage: ");

Serial.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(0, 3);

lcd.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(7, 3);

lcd.print("Volt.");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

else if (j == 1 && i == 2 && m == 2) {

    if (k == 1) {

        dac_value = 0;

        lcd.setCursor(0, 0);

        lcd.print(dac_value);

        delay(1000);

        lcd.clear();

        k = 0;
    }

    if (dac_value < 4096) {

        dac_value++;

        if (dac_value > 1696 - 120) {

            dac_value = 1696 - 120;

        }

        dac_value = dac_value + 120;

        delay (1000);

    }

    dac_expected_output = (5.0 / 4096.0) * dac_value; //dac_value=2.5

    dac.setVoltage(dac_value, false); //functionส่งออก

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// delay(250);

adcValueRead = analogRead(voltIn);

voltageRead = (adcValueRead * 5.0 ) / 4096.0;

lcd.setCursor(6, 0);

lcd.print("dac value");

Serial.print("DAC Value: ");

Serial.print(dac_value);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(dac_value);

lcd.setCursor(7, 2);

lcd.print("VOLTAGE");

Serial.print("\tExpected Voltage: ");

Serial.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(0, 3);

lcd.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(7, 3);

lcd.print("Volt.");

}

else if (j == 1 && i == 2 && m == 3) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (k == 1) {

    dac_value = 0;

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print(dac_value);

    delay(500);

    lcd.clear();

    k = 0;

}

if (dac_value < 4096) {

    dac_value++;

    if (dac_value > 0) {

        dac_value = 0;

    }

    dac_value = dac_value + 0;

    delay (500);

}

dac_expected_output = (5.0 / 4096.0) * dac_value; //dac_value=2.5

dac.setVoltage(dac_value, false); //functionส่งออก

// delay(250);

adcValueRead = analogRead(voltsIn);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

voltageRead = (adcValueRead * 5.0 ) / 4096.0;

lcd.setCursor(6, 0);

lcd.print("dac value");

Serial.print("DAC Value: ");

Serial.print(dac_value);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(dac_value);

lcd.setCursor(7, 2);

lcd.print("VOLTAGE");

Serial.print("\tExpected Voltage: ");

Serial.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(0, 3);

lcd.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(7, 3);

lcd.print("Volt.");

}

else if (j == 2 && i == 2 && m == 2) {

    if (k == 1) {

        dac_value = 0;

        lcd.setCursor(0, 0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.print(dac_value);

delay(1000);

lcd.clear();

k = 0;

}

if (dac_value < 4096) {

    dac_value++;

    if (dac_value > 1710 - 120) {

        dac_value = 1710- 120;

    }

    dac_value = dac_value + 120;

    delay (1000);

}

dac_expected_output = (5.0 / 4096.0) * dac_value; //dac_value=2.5

dac.setVoltage(dac_value, false); //functionส่งออก

// delay(250);

adcValueRead = analogRead(voltsIn);

voltageRead = (adcValueRead * 5.0 ) / 4096.0;

lcd.setCursor(6, 0);

lcd.print("dac value");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print("DAC Value: ");

Serial.print(dac_value);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(dac_value);

lcd.setCursor(7, 2);

lcd.print("VOLTAGE");

Serial.print("\tExpected Voltage: ");

Serial.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(0, 3);

lcd.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(7, 3);

lcd.print("Volt.");
}

else if (j == 2 && i == 2 && m == 3) {

    if (k == 1) {

        dac_value = 0;

        lcd.setCursor(0, 0);

        lcd.print(dac_value);

        delay(500);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd.clear();

k = 0;

}

if (dac_value < 4096) {

    dac_value++;

    if (dac_value > 0) {

        dac_value = 0;

    }

    dac_value = dac_value + 0;

    delay (500);

}

dac_expected_output = (5.0 / 4096.0) * dac_value; //dac_value=2.5

dac.setVoltage(dac_value, false); //functionส่งออก

// delay(250);

adcValueRead = analogRead(voltsIn);

voltageRead = (adcValueRead * 5.0 ) / 4096.0;

lcd.setCursor(6, 0);

lcd.print("dac value");

Serial.print("DAC Value: ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(dac_value);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(dac_value);

lcd.setCursor(7, 2);

lcd.print("VOLTAGE");

Serial.print("\tExpected Voltage: ");

Serial.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(0, 3);

lcd.print(dac_expected_output, 3);

lcd.setCursor(7, 3);

lcd.print("Volt.");
}
}

else
{

if (dac_value < 4096) {

    dac_value++;

if (dac_value > 0) {

    dac_value = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

dac_value = dac_value + 0;

delay (500);

}

}

dac_expected_output = 0 * dac_value; //dac_value=2.5

dac.setVoltage(dac_value, false); //functionส่งออก

adcValueRead = analogRead(voltsIn);

}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้