สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบให้ความร้อนสำหรับการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

DEVELOPMENT OF COMPUTER-CONTROLLED MICROWAVE HEATING SYSTEM FOR HYPERTHERMIA CANCER THERAPY

นายมนตรี ธนภควัต

MR.MONTRI THANAPHAKAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 28907
วัน, เดือน, ปี 11 พ.ย. 2540

พ.ศ. 2540

ISBN 974-621-837-9

ลิขสิทธิ์เป็นของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF COMPUTER-CONTROLLED MICROWAVE HEATING SYSTEM FOR HYPERTHERMIA CANCER THERAPY

MONTRI THANAPHAKAWAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEERING ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

ISBN 974-621-837-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบให้ความร้อนสำหรับการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายมนตรี ธนกควัต
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2540

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เกี่ยวกับการศึกษาและพัฒนาระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งใช้กับสายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลม โดยระบบจะประกอบไปด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบวัดอุณหภูมิ ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน หลอดแมกนีตรอน สายอากาศปล่อยคลื่นและระบบระบายความร้อนที่ผิว จากผลการทดสอบคุณสมบัติของระบบในสารเนื้อเทียม พบว่าเราสามารถให้ความร้อนได้ลึกถึง 2 เซนติเมตรจากผิว และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เป็นไปตามความต้องการของการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of Computer-Controlled Microwave Heating System for Hyperthermia Cancer Therapy
Student	Mr.Montri Thanaphakawat
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Monai Krairiksh
Level of Study	Master of Engineering Electrical Engineering
Department	Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1997

Abstract

This thesis presents the investigation and development of a 2450 MHz computer-controlled microwave hyperthermia system using a spherical slot array applicator. The system consists of a computer, a temperature measurement system, a magnetron power controller, a magnetron, an applicator and a surface cooling system. It is found from experiments, in human muscle phantom, that the system is able to heat the heating material to the depth of 2 cm from the surface and temperature can be controlled to keep constant. This satisfies the hyperthermia cancer therapy requirement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคำแนะนำ ตลอดจนความรู้ความเข้าใจต่างๆ

ขอขอบคุณ อาจารย์ประสาร ดังติสานนท์ ที่ได้ให้คำแนะนำในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณกิตติศักดิ์ วาฤภักตร์ ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆและนักศึกษาในห้องปฏิบัติการการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lab) โดยเฉพาะ

คุณคมศักดิ์ เมฆสมุทร คุณวงศกร วัชรนานนท์ คุณชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ คุณวุฒิไกร วรรณภิญโญชีพ คุณปัทมวรรณ จิรหฤทัย คุณอณุตรา จันทมงคล คุณนิทัศน์ วัฒนการุณ คุณวทัญญู เกิดศรี คุณปณยา เสมดี คุณชัยสิทธิ์ สีหามาตย์ คุณบัณฑิต สุนทรมณี คุณราอีน่า ศิริยานุมาตย์ คุณคนองนึก ภิรมย์ คุณอุทิศ ภูหงษ์สูง คุณวัลย์ลิกา บัวสมบูรณ์และคุณวิมลศรี รอดศิริ ที่ได้มีส่วนช่วยในการสร้างเครื่องต้นแบบและเก็บข้อมูลต่างๆ ตลอดจนจัดเตรียมต้นฉบับในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในโครงการทุนส่งเสริมวิชาชีพนักวิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย และทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มนตรี ธนภควัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....VII

คำอธิบายสัญลักษณ์.....IX

บทที่

1. บทนำ.....1

กล่าวนำ.....1

การใช้งานไมโครเวฟ.....1

วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....3

2. กลไกการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก.....6

กล่าวนำ.....6

การเกิดโพลาไรซ์ของไดอิเล็กตริก.....6

คุณสมบัติของไดอิเล็กตริก.....14

รูปแบบของการเกิดความร้อนและการกระจายอุณหภูมิ.....14

สรุป.....17

3. การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง.....19

กล่าวนำ.....19

ความร้อนที่มีผลต่อเซล.....19

ผลการใช้งานการใช้ความร้อนและการฉายรังสีในการรักษาโรคมะเร็ง.....21

ผลการใช้งานการใช้ความร้อนและการใช้เคมีในการรักษาโรคมะเร็ง.....23

ความถี่ในการใช้งาน.....23

ชนิดของสายอากาศปล่อยคลื่น.....26

สรุป.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

4. ระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์.....31

กล่าวนำ.....31

หลักการทำงานของระบบ.....31

หลอดแมกนีตรอน.....34

ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน.....37

สายอากาศปล่อยคลื่น.....39

ระบบระบายความร้อน.....42

ระบบวัดอุณหภูมิ.....44

โปรแกรม.....48

สรุป.....52

5. ผลการทดลอง.....53

กล่าวนำ.....53

ผลการกระจายความร้อนของสายอากาศปล่อยคลื่น.....53

ผลการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน.....55

ผลการวัดอุณหภูมิ.....59

ผลการทดลองระบบ.....61

สรุป.....69

6. สรุปและวิจารณ์.....70

บรรณานุกรม.....72

บทความเกี่ยวข้องที่ได้รับการตีพิมพ์.....75

ภาคผนวก.....76

ภาคผนวก ก.....77

ภาคผนวก ข.....78

ประวัติผู้เขียน.....111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. แสดงผลเปรียบเทียบการรักษาโรคมะเร็งบริเวณเต้านมโดยการฉายรังสีในการรักษาเพียงอย่างเดียวกับการรักษาโดยการฉายรังสีและการใช้ความร้อน.....22
2. แสดงผลเปรียบเทียบการรักษาโรคมะเร็งบริเวณหัวและคอโดยการฉายรังสีในการรักษาเพียงอย่างเดียวกับการรักษาโดยการฉายรังสีและการใช้ความร้อน.....22
3. แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าความนำและความลึกที่ใช้งานที่ความถี่ต่างๆ.....25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1. แสดง (ก) อะตอมไม่ถูกรบกวนด้วยสนามไฟฟ้า.....7
(ข) เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าให้กับอะตอม.....7
2. แสดงการหมุนของไดโพลที่เปลี่ยนแปลงตามคาบเวลา เมื่อถูกป้อนด้วยสนามไฟฟ้าสลับ.....12
3. แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซล.....20
4. แสดงผลของการใช้เคมีบำบัดร่วมกับการใช้ความร้อนที่มีผลต่อเซล.....24
5. แสดงรูปร่างด้านหน้าของสายอากาศปล่อยคลื่น.....26
6. แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น.....27
7. แสดงรูปร่างของสายอากาศปล่อยคลื่น.....28
8. แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น.....28
9. แสดงรูปร่างของสายอากาศปล่อยคลื่น.....29
10. แสดงรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น.....30
11. แสดงผังภูมิของระบบ.....32
12. แสดงภาพถ่ายของระบบ.....33
13. แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดแมกนีตรอน.....34
14. แสดงการจัดสนามทั้งสองให้กับหลอดแมกนีตรอน (ก) การจัดสนามไฟฟ้า.....35
(ข) การจัดสนามแม่เหล็ก.....35
15. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด
กับความเข้มสนามแม่เหล็ก.....36
16. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน.....38
17. แสดงส่วนประกอบของสายอากาศปล่อยคลื่น.....41
18. แสดงการเจาะร่องบนผิวทรงกลมใน.....41
19. แสดงการรวมกันของคลื่นที่ออกมาจากสายอากาศปล่อยคลื่น.....42
20. แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น.....42
21. แสดงถุงน้ำระบายความร้อนและพัมป์น้ำที่ใช้ในระบบระบายความร้อน.....43
22. แสดงการเชื่อมต่อโลหะสองชนิด.....44
23. แสดงการเชื่อมต่อโลหะสองชนิดเพียงด้านเดียว.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

24. แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลในการใช้งาน....45
25. แสดงภาพถ่ายเทอร์โมคัปเปิล....46
26. แสดงวงจรที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ....47
27. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าที่ได้รับจากการ์ด A/D....48
28. แสดงโฟลว์ชาร์ตของระบบ....50
29. แสดงสารเนื้อเทียม....54
30. แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียม....55
31. แสดงหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ในระบบ....56
32. แสดงการติดตั้งระบบเพื่อทำการทดลอง....57
33. แสดงผลการทดสอบระบบ....58
34. แสดงการแสดงผลบนหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์....58
35. แสดงการเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิของระบบการวัดอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท....59
36. แสดงการแสดงผลของอุณหภูมิของระบบ....60
37. แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในสารเนื้อเทียม....61
38. แสดงการติดตั้งระบบเพื่อทดสอบ....62
39. แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล สายอากาศปล่อยคลื่นและถุงน้ำระบายความร้อน....63
40. แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 12 มิลลิเมตร โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 1.2 ลิตร/นาที....64
41. แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 12 มิลลิเมตร โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 2.3 ลิตร/นาที....65
42. แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 22 มิลลิเมตร โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 1.2 ลิตร/นาที....66
43. แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 22 มิลลิเมตร โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 2.3 ลิตร/นาที....67
44. แสดงการแสดงผลของเครื่องคอมพิวเตอร์....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

$\mathbf{p}$: ไดโพลไฟฟ้าถาวร (Permanent electric dipole)

$\mathbf{l}$: เวกเตอร์ตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative position vector)

α' : การเกิดโพลาไรซ์ (Polarization)

$\mathbf{E}_{loc}$: สนามไฟฟ้าภายใน (Local field)

χ : ค่าซัสเซพติบิลิตี้ (Susceptibility) ของไดอิเล็กตริก

$\mathbf{D}$: ความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้า (Electric flux density)

$\mathbf{E}$: สนามไฟฟ้า (Electric field)

ε_o : ค่าเพอร์มิตติวิตี้ (Permittivity) ของฟรีสเปซ (Free space)

χ_r : ค่าซัสเซพติบิลิตี้สัมพัทธ์ (Relative susceptibility)

ε_r' : ค่าเพอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ (Relative permittivity)

C : คู่คัปเปิล (Couple) ที่เกิดบนไดโพลโมเมนต์ถาวร

k_B : ค่าคงที่ของโบลท์ซแมนน์ (Boltzmann's constant)

T : อุณหภูมิ (Temperature)

ε_∞ : ค่าเพอร์มิตติวิตี้ของแสง (Optical permittivity)

η : ดัชนีของแสง (Optical index)

ε_s: ค่าเพอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์สถิตย์(Static relative permittivity)

$\varepsilon_{r\infty}$: ค่าเพอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ของแสง (Optical relative permittivity)

t : เวลา (Time)

τ : ค่าคงที่เวลา (Time constant)

ζ : ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน (Frictional coefficient)

ξ : ค่าความหนืด (Viscousity) ของตัวกลาง

ω : ความถี่เชิงมุม (Radian Frequency)

ε^* : ค่าเพอร์มิตติวิตี้เชิงซ้อน (Complex permittivity)

ε' : ปัจจัยการแพร่ (Dispersion Factor)

ε_{eff}'' : ปัจจัยในการสูญเสียยังผล (Effective loss factor)

$\tan\delta_{eff}$: ลอสแทนเจนต์ (Loss tangent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

σ_d : ค่าความนำของไดอิเล็กตริก (Dielectirc conductivity)

f : ความถี่ (Frequency)

α : ค่าคงที่ของการลดทอน (Attenuation constant)

k : ความนำเชิงอุณหภูมิ (Thermal conductivity)

ρ : ความหนาแน่นของวัสดุ (Density)

C_p : ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)

D_p : ระยะความลึกที่คลื่นแพร่เข้าไปในตัวกลาง (Penetration depth)

λ : ความยาวคลื่น (Wavelength)

P_d : ค่ากำลังงานที่ดูดซับต่อหนึ่งหน่วยมวล (Power absorbed per unit mass)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1 กล่าวนำ

การใช้ความร้อนในการรักษาโรคต่างๆได้มีมาเป็นเวลานานแล้ว แต่เนื่องจากการให้ความร้อนและการควบคุมอุณหภูมิทำได้ยากจึงไม่เป็นที่นิยมในระยะแรก เมื่อวิวัฒนาการทางด้านวิทยุได้เจริญขึ้นได้มีการใช้คลื่นวิทยุเพื่อทำให้เกิดความร้อนเพื่อใช้ในการรักษาโรค การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็งก็ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีการวิจัยอย่างแพร่หลายเพื่อพัฒนาวิธีการทำให้เกิดความร้อนอย่างเหมาะสมและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการรักษา ได้แก่ การพัฒนาการคำนวณให้แม่นยำขึ้น การพัฒนาวิธีการปล่อยคลื่น และการพัฒนาระบบควบคุมในการให้ความร้อน ซึ่งเป็นสาระสำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2 การใช้งานไมโครเวฟ

การใช้สนามไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนเพื่อใช้ในการทำลายเซลมะเร็งมีมาเป็นเวลานานแล้ว [1-2] และได้เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1840 ในเวลาต่อมาก็ได้มีการคิดค้นและพัฒนาเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ต่างๆขึ้นมาเรื่อยๆและได้มีการประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคต่างๆ เช่น โรคไขข้ออักเสบ โรคเท้าบวม ซึ่งเกิดความนิยมอย่างแพร่หลาย จึงได้ทำการตั้งสมาคมขึ้นมาเรียกว่า American Electro Therapy Association ซึ่งจะทำการศึกษา ค้นคว้าและเผยแพร่ความรู้ทางด้านการรักษาโรคด้วยวิธีทางไฟฟ้า ในปี ค.ศ. 1899 ได้มีการค้นพบเกี่ยวกับกลไกการเกิดความร้อนเนื่องจากคลื่นความถี่สูง โดยเชื่อว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังเนื้อเยื่อ ซึ่งเปรียบเสมือนกับการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน ในปี ค.ศ. 1908 ได้มีการสร้างและทดสอบระบบที่มีประสิทธิภาพและมีกำลังงานสูง โดยเครื่องนี้จะใช้ในการรักษาโรคต่างๆด้วยความร้อน เช่น โรคไขข้ออักเสบ โรคไขสันหลังอักเสบและโรคกระดูกเชิงกราน ซึ่งเครื่องนี้ได้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายก็เมื่อได้ใช้เครื่องนี้ในการรักษาอาการป่วยของกษัตริย์ของอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1928 ได้มีการสร้างแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ 100 เมกะเฮิรตซ์ ที่สามารถให้กำลังงานได้ถึง 400 วัตต์ และได้มีการนำเอาแหล่งกำเนิดคลื่นมาใช้ในการสร้างเครื่องให้ความร้อนขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง ในปี ค.ศ. 1935 บริษัทต่างๆได้เริ่มสร้างเครื่องให้ความร้อนและขายได้เป็นจำนวนมาก โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องให้ความร้อนนี้ใช้ในการรักษาโรคฝีในท้องและมะเร็ง ในงานทางด้านคลีนิกนั้นในปี ค.ศ. 1900 ได้มีการนำเอาคลื่นความถี่สูงมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็งที่ผิวหนัง แต่กำลังงานของแหล่งกำเนิดคลื่นยังต่ำเกินกว่าที่จะทำลายเซลมะเร็งได้ ในปี ค.ศ. 1906 ได้มีการใช้การประกายไฟฟ้า (Spark) ในการทำลายเซลมะเร็งในงานประชุม International Congress of Electrology ที่เมืองมิลาน ประเทศอิตาลี ซึ่งเป็นการค้นพบที่ยิ่งใหญ่ในการทำลายเซลมะเร็งด้วยคลื่นความถี่สูง Doyen เชื่อว่าเซลปกติสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 60 องศาเซลเซียสแต่เซลมะเร็งจะโดนทำลายที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ในปี ค.ศ. 1920 ได้มีการทดลองการใช้ความร้อนร่วมกับการฉายรังสีเอ็กซ์ในการรักษาโรคมะเร็ง ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองเป็นที่น่าพอใจ ในการศึกษาเกี่ยวกับคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้น Reiter ได้ทำการทดลองโดยใช้คลื่นที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ถึง 15 เมตร เขาพบว่าปรากฏการณ์ทางชีววิทยาของเซลจะเกี่ยวข้องกับความยาวคลื่นและเขาได้รายงานว่า การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้คลื่นที่มีความยาวคลื่น 3.5 เมตร จะได้ผลดีที่สุด H.J. Johnson ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มอุณหภูมิในเซลมะเร็งและศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลมะเร็ง เขาได้ศึกษาอุณหภูมิในช่วง 43.5 ถึง 47 องศาเซลเซียส Johnson พบว่าการที่จะทำให้เซลมะเร็งลดลงครึ่งหนึ่งที่อุณหภูมิ 47 45 และ 43.5 องศาเซลเซียสนั้นจะต้องใช้เวลา 45 นาที 1.5 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเขาได้ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล

ในช่วงปลายทศวรรษ 1930 และต้นทศวรรษ 1940 ได้มีความสนใจกันอย่างแพร่หลายเกี่ยวกับการใช้คลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นมากในการรักษาโรค Williams ได้พบว่าคลื่นที่มีความยาวคลื่นไม่กี่เซนติเมตรสามารถโฟกัสคลื่นได้ และ Southworth พบว่า คลื่นสามารถเดินทางไปในท่อได้ (ท่อนำคลื่น) รายงานฉบับแรกที่รายงานเกี่ยวกับการใช้คลื่นไมโครเวฟในการรักษาโรคได้เกิดขึ้นที่ประเทศเยอรมันโดย Hollman ในช่วงปี ค.ศ. 1938-1939 เขาได้พบว่ามีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้คลื่นที่มีความยาวคลื่น 25 เซนติเมตร ในการโฟกัสคลื่น เพื่อทำให้เกิดความร้อนในเนื้อเยื่อที่อยู่ลึกลงไปจากผิว โดยที่จะไม่ทำให้เกิดความร้อนที่บริเวณผิวหนัง ซึ่งความคิดนี้ได้ทำให้เป็นจริงโดย Hemingway และ Stenstrom

ในปี ค.ศ. 1938 หลอดแมกนีตรอนได้ถูกพัฒนาขึ้นที่ห้องปฏิบัติการเบล (Bell Lab) แต่สามารถให้กำลังงานออกมาเพียง 2-3 วัตต์เท่านั้น และได้มีการพัฒนาต่อมาจนกระทั่งเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 ขึ้น ได้มีการนำเอาหลอดแมกนีตรอนไปประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 หลอดแมกนีตรอนก็ได้มีการพัฒนาขึ้นที่ MIT ซึ่งสามารถปล่อยกำลังงานออกมาได้ถึง 400 วัตต์ โดยมีความถี่ 3000 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งสามารถใช้ในทางการแพทย์ได้ ในเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1946 บริษัท Raytheon ได้สร้างระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อน โดยใช้คลื่นความถี่ 3000 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งสามารถปล่อยกำลังงานออกมาได้ 65 วัตต์ โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ และได้มอบระบบให้ความร้อนนี้กับคลีนิก Mayo เพื่อทำการวิจัยทางด้านการแพทย์ต่อไป จากการค้นพบคุณสมบัติของการโฟกัสได้ของคลื่นไมโครเวฟในเวลานั้นได้มีการเชื่อว่าเราสามารถสร้างรูปแบบการแพร่กระจายของความร้อนได้มากมาย โดยผู้ป่วยจะได้รับคลื่นจากสายอากาศปล่อยคลื่น (Applicator) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งไม่จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ต่างๆมากมายเหมือนในสมัยก่อน จากนั้นได้มีการศึกษาคุณสมบัติของสารไดอิเล็กตริกขึ้นที่ MIT โดยได้พบว่าการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ของน้ำที่ 100 องศาฟาเรนไฮต์ จะมีค่าเป็น 7000 เท่าของการดูดกลืนของน้ำที่คลื่นความถี่ 27 เมกะเฮิรตซ์ หลังจากนั้นมาก็ได้มีการตื่นตัวและสนใจในการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟและได้มีการพัฒนาระบบและสายอากาศปล่อยคลื่นแบบต่างๆเรื่อยมา

ในการให้ความร้อนแก่บริเวณเซลมะเร็งนั้น ในสมัยก่อนได้มีการให้ความร้อนด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การแช่ในน้ำร้อน การเผาไฟ ซึ่งเป็นวิธีการให้ความร้อนโดยอาศัยการนำความร้อน(Conduction) จากบริเวณผิวเข้าไปยังเนื้อเยื่อที่อยู่ภายในร่างกาย หรือแม้แต่การฉีดเชื้อโรคเข้าไปในร่างกาย เพื่อทำให้ผู้ป่วยเป็นไข้ซึ่งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิภายในร่างกายได้ แต่วิธีการต่างๆเหล่านี้ทำได้ยุ่งยากและมีผลเสียต่อผู้ป่วยด้วย อีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในร่างกายได้ แต่ในการใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนนั้น ความร้อนจะเกิดขึ้นภายในเซลมะเร็งได้โดยตรง เนื่องจากสนามไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ภายในเวลาสั้นๆ ซึ่งการควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากคลื่นไมโครเวฟยังสามารถทำได้ง่ายและสะดวกด้วย

3 <u>วัตถุประสงค์ในการศึกษา</u>

ในปัจจุบันการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งมีจำนวนผู้เสียชีวิตจัดเป็นอันดับสองรองจากโรคหัวใจ ซึ่งวิธีการรักษาโรคมะเร็งในปัจจุบันนี้ก็มีวิธีการรักษาต่างๆเช่น การรักษาด้วยรังสี การรักษาทางเคมี และการรักษาด้วยการผ่าตัด เป็นต้น แต่วิธีการรักษาต่างๆเหล่านี้ก็ยังมีขีดจำกัดและขอบเขตในการรักษาอยู่ โดยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการตื่นตัวและให้ความสนใจกับการรักษาโรคมะเร็งด้วยวิธีใหม่ ซึ่งจะเป็นวิธีการรักษาโดยการให้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง ซึ่งจะเป็นการให้ความร้อนแก่บริเวณเซลมะเร็งให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 41-46 องศาเซลเซียสแล้วรักษาระดับของอุณหภูมินั้นไว้ระยะเวลาหนึ่ง โดยจะใช้ในการรักษาโรคมะเร็งร่วมกับการรักษาด้วยรังสีหรือการรักษาทางเคมีหรือใช้ร่วมกับทั้งสองวิธี ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการรักษาโรคมะเร็งนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากเดิม 20% ไปเป็น 70% และในปัจจุบันก็ได้มีการประยุกต์การให้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็งโดยการใช้คลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากการควบคุมกำลังงานของคลื่นไมโครเวฟทำได้ง่าย และสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ภายในระยะเวลาสั้นๆ โดยในต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีการพัฒนาเป็นระบบให้ความร้อนโดยการใช้คลื่นไมโครเวฟกันอย่างแพร่หลาย และได้มีผลการทดลองออกมาอย่างมากมาย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษา ออกแบบและสร้างระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการรักษาโรคมะเร็ง โดยได้มีการออกแบบและพัฒนาระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ เนื่องจากแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟสามารถหาได้ภายในประเทศและมีราคาถูก โดยระบบนี้ได้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับสายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลม (Spherical Slots Array Applicator) [3-5] ซึ่งเป็นสายอากาศปล่อยคลื่นแบบไม่ต้องเสียบเข้าไปในร่างกายซึ่งมีการระบายความร้อนด้วยน้ำ และสามารถใช้งานได้ลึกประมาณ 3 เซนติเมตร โดยทำได้การพัฒนาขึ้นที่สถาบันแห่งนี้

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยบทนี้เป็นบทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาในการนำความร้อนมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็งและการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อน รวมไปถึงวัตถุประสงค์ในการศึกษาและออกแบบระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ และรายละเอียดทั่วไปของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงกลไกการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ซึ่งขบวนการที่ทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริกที่สำคัญก็คือ การเกิดโพลาไรเซชั่น (Polarization) นอกจากนั้นก็จะกล่าวถึงคุณสมบัติของไดอิเล็กตริก รูปแบบของการเกิดความร้อนและการกระจายของอุณหภูมิภายในไดอิเล็กตริก

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงการใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง ผลของความร้อนที่มีต่อเซล และผลการทดลองที่มีการใช้ในการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนร่วมกับการรักษาทางเคมีและใช้ร่วมกับการรักษาทางรังสี พร้อมทั้งกล่าวถึงคุณสมบัติของเนื้อเยื่อที่ความถี่ต่างๆ ตลอดจนชนิดของสายอากาศปล่อยคลื่น

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการศึกษา ออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่างๆของระบบได้แก่ หลอดแมกนีตรอน ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน สายอากาศปล่อยคลื่น ระบบระบายความร้อน ระบบวัดอุณหภูมิ และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ

บทที่ 5 เป็นการกล่าวถึงการทดลอง เพื่อทดสอบระบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาจากส่วนประกอบต่างๆที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 โดยมีการทดสอบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศปล่อยคลื่นโดยการวัดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในสารเนื้อเทียม การควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน การวัดอุณหภูมิ ตลอดจนการทดสอบทั้งระบบในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 เป็นการสรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา ออกแบบและสร้างระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

ท้ายสุดในภาคผนวกได้แสดงส่วนประกอบและวิธีการทำสารจำลองเนื้อคนที่ใช้ในการทดลอง และโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
กลไกการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

1 กล่าวนำ

ในการใช้งานคลื่นไมโครเวฟ เพื่อทำให้เกิดความร้อนภายในไดอิเล็กตริกใดๆนั้น จำเป็นต้องทราบหลักการในการเกิดความร้อนภายในไดอิเล็กตริก, คุณสมบัติของไดอิเล็กตริกและรูปแบบในการแพร่กระจายความร้อนภายในไดอิเล็กตริก เพื่อนำคุณสมบัติเหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบระบบหรือสายอากาศปล่อยคลื่นที่เหมาะสม ในบทนี้จะกล่าวถึง กลไกในการเกิดความร้อนภายในไดอิเล็กตริก, คุณสมบัติของไดอิเล็กตริกและการแพร่กระจายความร้อนภายในไดอิเล็กตริก เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับไดอิเล็กตริกและการเกิดความร้อนภายในไดอิเล็กตริกได้ดียิ่งขึ้น

2 การเกิดโพลาไรซ์ของไดอิเล็กตริก

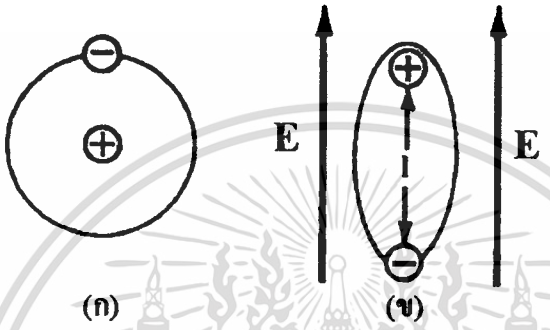
เราทราบกันดีว่าวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริก (Dielectric) สามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงเข้าไปในไดอิเล็กตริก การทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาไรซ์ขึ้นภายในไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าสถิตย์ สนามไฟฟ้าสถิตย์จะทำให้เกิดโพลาไรซ์ขึ้น แต่ในกรณีที่เป็นสนามไฟฟ้าสลับสนามไฟฟ้าสลับจะทำให้เกิดโพลาไรซ์ดังแสดงตามภาพที่ 1 (ก) และ (ข) และจะทำให้ไดโพลเกิดการหมุนไปมาตามคาบเวลาของสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้ การหมุนของไดโพลที่ทำให้เกิดความร้อนโดยเกิดจากความเสียดทานภายในของโมเลกุล โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment) สูงพอ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

โดยปกติแล้วสารที่เป็นไดอิเล็กตริก สามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบ ที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจากการป้อนสนามไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล กลไกของการเกิดการแยกห่างกันของประจุจะขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไดอิเล็กตริก โดยการแบ่งชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ของไดอิเล็กตริกได้ 4 แบบใหญ่ ซึ่งในแต่ละแบบจะเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายกัน แต่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบบความเป็นกลางทางไฟฟ้าจะถูกรบ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กวน เนื่องจากการป้อนสนามไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกห่างออกจากกันของประจุลบและประจุบวก โดยที่สนามไฟฟ้าสลับ ความถี่จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ จะอธิบายการเกิดโพลาไรซ์ชนิดต่างๆได้ดังนี้

ภาพที่ 1



แสดง (ก) อะตอมไม่ถูกรบกวนด้วยสนามไฟฟ้า
(ข) เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าให้กับอะตอม

<u>การเกิดโพลาไรซ์แบบสเปซชาร์ต</u> (Space charge polarization) การเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจะเป็นช่วง VLF, LF โดยการเกิดโพลาไรซ์จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุหรือตัวกลางมีอิเล็กตรอนอิสระ โดยที่ระยะห่างของประจุบวกและประจุลบจะถูกจำกัดโดยสิ่งกีดขวาง เมื่อมีการป้อนสนามไฟฟ้าเข้าไปยังไดอิเล็กตริก อิเล็กตรอนก็จะไปสะสมกันอยู่ที่สิ่งกีดขวาง ซึ่งจะทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกห่างออกจากกัน ซึ่งจะทำให้ไดอิเล็กตริกเกิดโพลาไรซ์ การเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้เป็นพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ

<u>การเกิดโพลาไรซ์แบบการจัดเรียงไดโพล</u> (Polarization by dipole alignment) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง ช่วง HF, ไมโครเวฟ ซึ่งจะเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล โดยหลักการนี้จะใช้เป็นพื้นฐานของการเกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก

<u>การเกิดโพลาไรซ์แบบไอโอนิก</u> (Ionic polarization) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ของอินฟราเรด โดยจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแยกห่างจากกันของประจุบวกและประจุลบภายในโมเลกุล

<u>การเกิดโพลาไรซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์</u> (Electronic polarization) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูงๆที่ใกล้กับความถี่ของอัลตราไวโอเลต โดยนิวเคลียสของอะตอม ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุบวกจะอยู่กับที่ในเมตริกซ์ของไดอิเล็กตริก โดยกลุ่มของประจุลบที่อยู่รอบนิวเคลียสจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา

2.1 การเกิดโพลาไรซ์โดยการจัดเรียงไดโพลในสนามสถิตย์

2.1.1 ตัวกลางที่มีขั้วและไม่มีขั้ว (Polar and nonpolar media)

ในไดอิเล็กตริกที่มีขั้ว ภายในโมเลกุลจะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลาง แต่ที่จุดศูนย์กลางของโมเลกุลจะประกอบไปด้วยประจุบวก(+q) และประจุลบ(-q) ซึ่งไม่ได้ทับซ้อนกันหมด การไม่สมมาตรนี้จะทำให้เกิดไดโพลไฟฟ้าถาวร (Permanent electric dipole) ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$p = ql \quad (C.m) \tag{2.1}$$

เมื่อ p คือ ไดโพลไฟฟ้าถาวร

l คือ เวกเตอร์ตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative position vector) ของประจุบวกและประจุลบ

ในตัวกลางที่มีค่าเวกเตอร์ตำแหน่งสัมพัทธ์ของประจุบวกและประจุลบเป็นศูนย์ ตัวกลางนั้นก็จะเรียกว่าเป็นตัวกลางแบบไม่มีขั้ว

2.1.2 ไดโพลโมเมนต์ที่ถูกเหนี่ยวนำ (Induced dipole moment)

ในไดอิเล็กตริกที่เป็นแบบไม่มีขั้ว ภายในโมเลกุลก็จะไม่มีไดโพลไฟฟ้าถาวร แต่ก็จะสามารถเหนี่ยวนำโมเมนต์ได้โดยการทำให้โมเลกุลมีรูปร่างที่เปลี่ยนไปโดยการป้อนสนามไฟฟ้าเข้าไปยังไดอิเล็กตริก

ความสามารถในการเกิดโพลาไรซ์ (Polarization, α') จะสามารถวัดได้จากการเหนี่ยวนำไดโพลโมเมนต์ของสนามไฟฟ้า ซึ่งจะแสดงได้ดังนี้

$$\mathbf{p} = \alpha' \mathbf{E}_{loc} \tag{2.2}$$

เมื่อ $\mathbf{E}_{loc}$ คือ สนามไฟฟ้าภายใน

ถ้าสมมติให้มี N โมเลกุลในหนึ่งหน่วยปริมาตร จะแสดงไดโพลโมเมนต์รวมได้เป็น

$$\mathbf{P} = N\alpha' \mathbf{E}_{loc} \quad (C/m^2) \tag{2.3}$$

หรือ อาจจะแสดงเป็นฟังก์ชันของการป้อนสนามได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{P} = \chi\mathbf{E} \qquad (2.4)$$

เมื่อ χ คือ ค่าซัสเซพติบิลิตี้ (Susceptibility) ของไดอิเล็กตริก

ในตัวกลางที่เป็นฟรีสเปซ (Free space) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้า (D) และสนามไฟฟ้า จะแสดงได้ตามสมการ

$$\mathbf{D} = \varepsilon_{\circ}\mathbf{E} \qquad (2.5)$$

สำหรับในไดอิเล็กตริกก็จะเป็น

$$\mathbf{D} = \varepsilon_{\circ}\mathbf{E} + \mathbf{P} \qquad (2.6)$$

แทนค่าสมการ (2.4) ลงใน สมการ (2.6) แล้วจัดรูปใหม่ก็จะได้

$$\mathbf{D} = (\varepsilon_{\circ}+\chi)\mathbf{E} \qquad (2.7)$$

หรือ

$$\mathbf{D} = \varepsilon'\mathbf{E} \qquad (2.8)$$

เมื่อ $\chi = \varepsilon' - \varepsilon_{\circ}$ (2.9)

เราจะสามารถหาค่าซัสเซพติบิลิตี้สัมพัทธ์ (Relative susceptibility, χ_r) ได้จาก

$$\chi_r = \frac{\chi}{\varepsilon_{\circ}} \qquad (2.10)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (2.9) ลงในสมการ (2.10) แล้วจัดรูปใหม่ก็จะได้

$$\chi_r = \varepsilon_r' - 1 \qquad (2.11)$$

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอร์มิตติวิตี้สัมพัทธ์ (Relative permittivity, ε_r') ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกลางไดอิเล็กตริกกับค่าความสามารถในการเกิดโพลาไรซ์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของโมเลกุล ค่าของสนามไฟฟ้าภายในจะแตกต่างจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา ยกเว้นสำหรับกรณีของก๊าซความดันต่ำ (low pressure gases) ก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{N\alpha'}{\varepsilon_o} = \varepsilon_r' - 1 \qquad (2.12)$$

สำหรับในตัวกลางอื่น จะสามารถแสดงค่าสนามไฟฟ้าภายใน ได้เป็น

$$E_{loc} = E + \frac{P}{3\varepsilon_o} = E\left(1 + \frac{\chi}{3\varepsilon_o}\right)$$

$$= \frac{\varepsilon' + 2\varepsilon_o}{3\varepsilon_o}E = \frac{\varepsilon_r' + 2}{3}E \qquad (2.13)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (2.13) ลงในสมการ (2.3) จะเขียนสมการการเกิดโพลาไรซ์ ได้ว่า

$$P = N\alpha' \frac{\varepsilon_r' + 2}{3}E \qquad (2.14)$$

จากสมการ (2.14) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ε_r' กับ α' ได้ดังนี้

$$\frac{N\alpha'}{3\varepsilon_o} = \frac{\varepsilon_r' - 1}{\varepsilon_r' + 2} \qquad (2.15)$$

จะเรียกสมการ (2.15) ว่า สูตรของ Clausius-Mosotti [6]

2.1.3 <u>ไดโพลโมเมนต์ถาวร</u> (Permanent dipole moment)

ในตัวกลางที่มีขั้ว สนามไฟฟ้าที่ป้อนคู่คัปเปิล (Couple) บนไดโพลโมเมนต์ถาวรของแต่ละโมเลกุล จะแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ [6]

$$C = p \times E \qquad (2.16)$$

โดยที่คู่คัปเปิลจะถูกจัดเรียงไดโพลโมเมนต์ด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งแต่ละโมเมนต์จะมีค่าเฉลี่ยเป็นดังนี้

$$p_{av} = p(\cos\theta)_{av} \qquad (2.17)$$

เมื่อ $(\cos\theta)_{av}$ คือค่าโคซายน์เฉลี่ยของมุมที่เกิดขึ้นระหว่าง p และ E เมื่อจัดรูปใหม่จะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_{av} = p\left(\tanh^{-1}\frac{pE_{loc}}{k_BT} - \frac{k_BT}{pE_{loc}}\right) \qquad (2.18)$$

ถ้าในกรณีที่สนามไฟฟ้ามีค่าน้อย เมื่อเทียบกับพลังงานที่ทำให้เกิดความร้อน (Thermal agitation energy) จะได้

$$p_{av} \approx \frac{p^2E_{loc}}{3k_BT} \qquad (2.19)$$

ดังนั้นเมื่อเกิดโพลาไรซ์ของตัวกลางก็จะได้เป็น

$$p \approx \frac{Np^2E_{loc}}{3k_BT} \qquad (2.20)$$

2.2 <u>การเกิดโพลาไรซ์โดยการจัดเรียงไดโพลในสนามไฟฟ้าสลับ</u>

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้พิจารณาในกรณีของสนามไฟฟ้าสถิตย์ โดยได้มีการใช้ ε' แทนค่าเพอร์มิตติวิตี้ในสนามไฟฟ้าสถิตย์ ในกรณีของสนามไฟฟ้าสลับจะใช้ ε_r แทนค่าเพอร์มิตติวิตี้ต่อไป

ในสนามไฟฟ้าสลับ การหมุนของไดโพลจะเปลี่ยนแปลงตามคาบเวลา (Period) ของสนามไฟฟ้าที่ป้อน ดังแสดงได้ตามภาพที่ 2 ในกรณีความถี่ต่ำ ไดโพลจะหมุนตามจังหวะของสนามไฟฟ้า แต่เมื่อใช้ความถี่สูงขึ้น ความเฉื่อยของโมเลกุลและแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไดโพลและคุณสมบัติของไดอิเล็กตริก ค่าเพอร์มิตติวิตี้จะมีค่าเข้าใกล้ค่าเพอร์มิตติวิตี้ของแสง (Optical permittivity, ε_∞) โดยที่

$$\varepsilon_\infty = \eta^2 \qquad (2.21)$$

เมื่อ η เป็นดัชนีของแสง (Optical Index) ของตัวกลาง

ดังนั้นสมการ (2.12) และ (2.19) ของสนามไฟฟ้าสถิตย์จะเปลี่ยนเป็น

$$\varepsilon_{rs} - 1 = \frac{N}{\varepsilon_o}\left(\alpha' + \frac{p^2}{3k_BT}\right) \qquad (2.22)$$

$$\varepsilon_{r\infty} - 1 = \frac{N\alpha'}{\varepsilon_o} \qquad (2.23)$$

จากสมการ (2.22) และ (2.23) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varepsilon_{rs} - \varepsilon_{r\infty} = \frac{Np^2}{3k_B T\varepsilon_o} \qquad (2.24)$$

จากสมการของ Clausius-Mosotti ตามสมการ (2.15) จะได้ความสัมพันธ์

$$\frac{N}{3\varepsilon_o}\left(\alpha' + \frac{p^2}{3k_B T}\right) = \frac{\varepsilon_{rs} - 1}{\varepsilon_{rs} + 2} \qquad (2.25)$$

$$\frac{N\alpha'}{3\varepsilon_o} = \frac{\varepsilon_{r\infty} - 1}{\varepsilon_{r\infty} + 2} \qquad (2.26)$$

ภาพที่ 2

แสดงการหมุนของไดโพลที่เปลี่ยนแปลงตามคาบเวลา เมื่อถูกป้อนด้วยสนามไฟฟ้าสลับ

2.3 <u>การเกิดรีแล็คเซชั่นในไดอิเล็กตริก</u>

การเกิดรีแล็คเซชั่นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากผลตอบสนองที่เชื่องช้าของระบบที่มีต่อแรงกระทำจากภายนอก

การเกิดรีแล็คเซชั่นในไดอิเล็กตริก จะเกิดขึ้นเมื่อสนามไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำโพลาไรซ์ในไดอิเล็กตริกหมดไป ในไดอิเล็กตริกก็จะมีช่วงของเวลาในการกลับไปยังสภาพเดิมที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ไม่เป็นระเบียบ และโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นจะมีการลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยค่าคงที่เวลา (τ) หรือเวลาในการเกิดรีแล็คเซชั่น ซึ่งค่าคงที่เวลานี้จะเป็นเวลาในการที่โพลาไรซ์ของไดอิเล็กตริกจะลดลงด้วยแฟกเตอร์ e^{-1}

ถ้า P_1 และ P_2 เป็นโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนรูปและการจัดเรียงไดโพลตามลำดับ จากสมการของสนามไฟฟ้าสลับ

$$E = E_o e^{j\omega t} \qquad (2.27)$$

P_2 จะลดลงเป็นเอ็กซ์โพเนนเชียลกับค่าสูงสุด [6] ก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_2 = (P-P_1)(1-e^{-t/\tau}) \quad (2.28)$$

จากสมการ (2.4) และ (2.11) จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$P = (\varepsilon_{rs}-1)E \quad (2.29)$$

$$P_1 = (\varepsilon_{r\infty}-1)E \quad (2.30)$$

จากสมการ (2.28) เมื่อแทนค่าแล้วจะได้

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{P - P_1 - P_2}{\tau} = \frac{(\varepsilon_{rs} - \varepsilon_{r\infty})}{\tau} E_0 e^{jwt} - \frac{P_2}{\tau} \quad (2.31)$$

จากสมการ (2.31) จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$P_2 = \frac{(\varepsilon_{rs} - \varepsilon_{r\infty})}{1 + j\omega\tau} E \quad (2.32)$$

2.4 <u>เวลาในการเกิดรีแล็คเซชั่น</u>

ไดโพลของโมเลกุลจะเกิดการหมุน เมื่อมีการเกิดคู่คัปเปิลตามสมการ (2.16)

$$C = p \times E$$

เมื่อมีการป้อนสนามไฟฟ้า อัตราเร็วเชิงมุม (Angular velocity) $\frac{d\theta}{dt}$ จะแปรผันกับคู่คัปเปิล ตามสมการดังนี้

$$C = \zeta \frac{d\theta}{dt} \quad (2.33)$$

เมื่อ ζ คือค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน (Frictional coefficient) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุลและการยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุล สำหรับในกรณีที่โมเลกุลมีทรงกลม รัศมี a หมุนอยู่ภายในของเหลวที่มีความหนืดมีค่า ξ โดยใช้กฎของสโตกส์ (Stokes' law) จะได้ว่า

$$\zeta = 8\pi\xi a^3 \quad (2.34)$$

เราสามารถแสดงค่าเวลารีแล็คเซชั่นได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = \frac{1}{\omega} = \frac{\zeta}{2k_BT} = \frac{4\pi a^3 \xi}{k_BT} \qquad (2.35)$$

จากสมการ (2.35) จะเห็นได้ว่า ค่าความถี่ในการเกิดรีเล็คเซชั่นจะเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดของโมเลกุลเล็กลง, อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความหนืดลดลง เวลาในการเกิดรีแล็คเซชั่นของโมเลกุล (τ') ในกรณีทั่วๆไป จะแตกต่างจากกรณีของมาโคร (τ) ในทฤษฎีของเดอบาย (Debye's theory) จะได้

$$\tau' = \frac{(\varepsilon_{rs} + 2)}{(\varepsilon_{rs} + 2)}\tau \qquad (2.36)$$

3 <u>คุณสมบัติของไดอิเล็กตริก</u>

จากความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกของวัสดุใดๆในการใช้งานเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ จะเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบสายอากาศปล่อยคลื่นและระบบที่ใช้งานคลื่นไมโครเวฟ โดยการศึกษาการเกิดและการแพร่กระจายความร้อนในไดอิเล็กตริก โดยคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกจะอธิบายได้ด้วยพฤติกรรมของไดอิเล็กตริกภายใต้การใช้งานคลื่นความถี่สูง ซึ่งจะเป็นค่าเพอร์มิตติวิตี้เชิงซ้อน (Complex permittivity, $\dot{\varepsilon}$) หรือเรียกว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกยังผล (Effective dielectric constant) ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon_{eff}'' \qquad (2.37)$$

เมื่อ ε_{eff}'' คือ ปัจจัยในการสูญเสียยังผล (Effective loss factor) ในการพิจารณาการเกิดการสูญเสีย จะพิจารณาจากส่วนที่เป็นส่วนจินตภาพของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความถี่และอุณหภูมิที่ใช้งาน

ในการนิยามลอสแทนเจนท์ (Loss tangent) จะเป็นไปตามสมการ

$$\tan\delta_{eff} = \varepsilon_{eff}''/\varepsilon' \qquad (2.38)$$

4 <u>รูปแบบของการเกิดความร้อนและการกระจายอุณหภูมิ</u>

การทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะเกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งพลังงานที่แพร่กระจายนี้จะทำให้เกิดการหมุนของไดโพล และจะเกิดความเสียดทานจากการหมุนทำให้เกิดความร้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายของกำลังงาน ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนในหนึ่งหน่วยปริมาตร V จะแปรผันตรงกับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายในหนึ่งหน่วยปริมาตรนี้ ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ [6]

$$\frac{P_d}{V} = \sigma_d E_{loc}^{\ 2} \tag{2.39}$$

เมื่อ σ_d คือ ค่าความนำของไดอิเล็กตริก (Dielectric conductivity) ซึ่งมีค่า

$$\sigma_d = \omega \varepsilon' \varepsilon_o \tan \delta_{eff} \tag{2.40}$$

เมื่อแทนค่าสมการ (2.40) ลงในสมการ (2.39) จะได้

$$\frac{P_d}{V} = \omega \varepsilon_o \varepsilon' \tan \delta_{eff} (E_{loc})^2 \tag{2.41}$$

$$= 2\pi f \varepsilon_o \varepsilon' \tan \delta_{eff} (E_{loc})^2$$

$$= 55.6325 \times 10^{-12} f \varepsilon' \tan \delta_{eff} (E_{loc})^2$$

ในกรณีของคลื่นภายในตัวกลางที่มีความแตกต่างจากคลื่นที่ให้จากภายนอก ถ้าคลื่นเดินทางภายในตัวกลางในทิศทาง z เราจะได้กำลังงานของคลื่นภายในตัวกลางดังนี้

$$P(z) = P_o e^{-2\alpha z} \tag{2.42}$$

เมื่อ P_o คือ กำลังงานคลื่นที่ตกกระทบตัวกลาง α คือ ค่าคงที่ของการลดทอนกำลังงานคลื่นในไดอิเล็กตริก

ถ้าพิจารณาสนามที่เคลื่อนที่ในระยะทาง d_1 จะได้

$$\int_0^{d_1} e^{-2\alpha z} dz = \frac{1}{2\alpha}\left(1 - e^{-2\alpha d_1}\right) \tag{2.43}$$

ถ้าเราพิจารณาสมการ (2.41) ใหม่จะได้ความสัมพันธ์

$$\frac{P_d(d_1)}{V} = 55.6325 \times 10^{-12} f \varepsilon' \tan \delta_{eff} E_o^{\ 2} \frac{1}{2\alpha}(1 - e^{-2\alpha d_1}) \tag{2.44}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดความร้อนภายในตัวกลางจะมีการแพร่กระจายของความร้อนภายในตัวกลางด้วยวิธีการต่างๆเช่น การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแพร่ (Radiation) ในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะการแพร่กระจายของความร้อนโดยการนำเท่านั้น การเกิดความร้อนเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟภายในตัวกลางจะสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบสมการมาตรฐานของสมการการส่งถ่ายความร้อน (Heat transfer equation) ซึ่งรวมทั้งเทอมของความร้อนภายในด้วย ในกรณีของระบบคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate) จะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [6]

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}+\frac{q(x,y,z)}{k} = \frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2.45)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (°K)

$q(x,y,z)$ คือ กำลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (W/m^3)

k คือ ความนำเชิงอุณหภูมิ (Thermal conductivity) (W/m °K)

a คือ ความสามารถในการแพร่กระจายอุณหภูมิ (Thermal diffusivity) (m^2/s)

$$a = \frac{k}{\rho C_p}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)

C_p คือ ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) (J/kg.K)

ในการใช้งานคลื่นไมโครเวฟ จะต้องพิจารณาถึงความลึกในการใช้งานของคลื่นในตัวกลาง ซึ่งจะเป็นระยะความลึกที่คลื่นแพร่เข้าไปในตัวกลาง (Penetration depth) คือเป็นระยะทางจากผิวของตัวกลางไปจนถึงความลึกที่ทำให้คลื่นมีกำลังงานลดลงเหลือ e^{-1} ของกำลังงานที่ผิว ซึ่งจะแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ [7]

$$D_p = \frac{1}{2\alpha} \qquad (2.46)$$

เมื่อ $$\alpha = \omega\left(\frac{\mu_o\mu'\varepsilon'\varepsilon_o}{2}\right)^{1/2}\left[\left(1+\left(\varepsilon_{eff}''/\varepsilon'\right)^2\right)^{1/2}-1\right]^{1/2}$$

$$D_p = \frac{1}{2\omega}\left(\frac{2}{\mu_o\mu'\varepsilon'\varepsilon_o}\right)^{1/2}\left[\left(1+\left(\varepsilon_{eff}''/\varepsilon'\right)^2\right)^{1/2}-1\right]^{-1/2} \qquad (2.47)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (2.47) ในฟรีสเปซ ซึ่งมี $\mu' = 1$ หลังจากที่จัดรูปสมการใหม่แล้ว จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_p = \frac{\lambda}{2\pi(2\varepsilon')^{1/2}}\left[\left(1+\left(\varepsilon_{eff}''/\varepsilon'\right)^2\right)^{1/2}-1\right]^{-1/2} \qquad (2.48)$$

ในกรณีของไดอิเล็กตริกที่มีความสูญเสียต่ำ $(\varepsilon_{eff}''/\varepsilon') << 1$ จะจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$D_p = \frac{\lambda(\varepsilon')^{1/2}}{2\pi\varepsilon_{eff}''} \qquad (2.49)$$

หรือ

$$D_p = \frac{c\,(\varepsilon')^{1/2}}{2\pi f\varepsilon_{eff}''} \qquad (2.50)$$

ในการใช้งานคลื่นไมโครเวฟ เมื่อคลื่นเดินทางเข้ามาในตัวกลาง การหาสนามไฟฟ้าภายในตัวกลางโดยวิธีการวิเคราะห์เป็นวิธีการที่ยากมาก แต่เราอาจจะทำได้โดยการวัดหรือการประมาณโดยวิธีทางแบบจำลองเชิงเลข (Numerical modeling) โดยที่ค่ากำลังงานที่ดูดซับต่อหนึ่งหน่วยมวล (Power absorbed per unit mass, P_d) หรืออัตราการดูดกลืนจำเพาะ (Specific Absorbtion Rate, SAR) จะเป็นตัวบอกถึงการวัดค่ากำลังงานที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลาง ซึ่งจะแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ [6]

$$P_d = SAR = \frac{\sigma}{\rho}E_{loc}^2 = \frac{1}{\rho}\omega\varepsilon_o\varepsilon'\tan\delta_{eff}\,E_{loc}^2 \qquad (2.51)$$

ในการคำนวณหาอุณหภูมิสูงขึ้นก็สามารถหาได้จาก

$$\Delta T = \frac{1}{C_p}P_d\Delta t \qquad (2.52)$$

เมื่อ t คือ เวลา

5 สรุป

การทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่อยู่ภายในไดอิเล็กตริก ความร้อนจะเกิดขึ้นจากการเกิดโพลาไรซ์ภายในอะตอมหรือโมเลกุล และเกิดการหมุนของไดโพลเนื่องจากสนามไฟฟ้าสลับ และเกิดจากแรงเสียดทานภายในโมเลกุลหรืออะตอมของไดอิเล็กตริก การเกิดโพลาไรซ์จะแบ่งออกได้กว้างๆตามความถี่ในการใช้งาน ในการอธิบายถึงคุณสมบัติของไดอิเล็ก-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28907

ตริกจะอธิบายได้ด้วยค่าเพอร์มิตติวิตี้เชิงซ้อน โดยที่ส่วนจินตภาพ จะแสดงถึงการเกิดสูญเสียภายในไดอิเล็กตริกนั้นๆ ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความถี่ และอุณหภูมิที่ใช้งาน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในไดอิเล็กตริก สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของการส่งถ่ายความร้อน เพื่อหาค่าของอุณหภูมิที่แพร่กระจายภายในไดอิเล็กตริกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง

1 กล่าวนำ

การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง เป็นการรักษาโดยการทำให้บริเวณเซลมะเร็งมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิร่างกายปกติคือ 37 องศาเซลเซียส สูงขึ้นอยู่ในระดับ 41-46 องศาเซลเซียส โดยวิธีการนี้จะเป็นวิธีการรักษาโรคมะเร็งที่นำมาช่วยเสริมให้วิธีการอื่นที่มีอยู่ เช่น การรักษาโดยทางเคมีบำบัด รังสีรักษา ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยรูปแบบการให้ความร้อนและความลึกของการให้ความร้อนจะถูกกำหนดโดยสายอากาศปล่อยคลื่นและความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้

2 ความร้อนที่มีผลต่อเซล

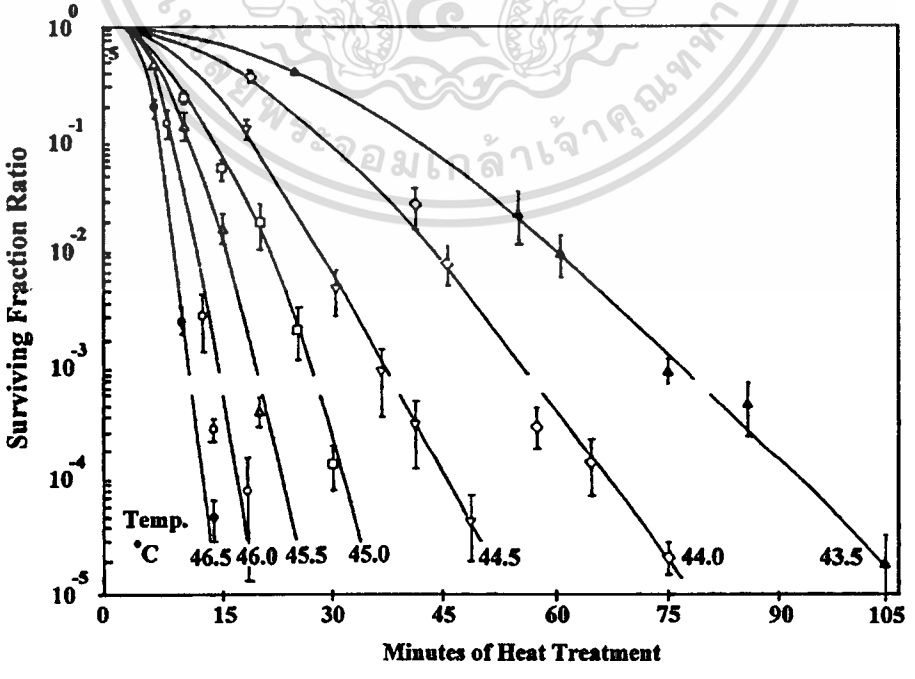
การใช้ความร้อนในการรักษาโรค เป็นที่รู้จักกันมาตั้งแต่สมัยกรีกโรมัน โดยได้มีการค้นพบว่า การเป็นไข้สามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตหรือแพร่ขยายของเชื้อโรคได้ แต่ในสมัยนั้นก็เป็นเพียงสมมติฐานเท่านั้น ซึ่งไม่มีข้อมูลชัดเจนยืนยันได้ ในช่วงก่อนหน้านี้ความก้าวหน้าและความสนใจของมนุษย์ในช่วงระยะแรกต่อการนำความร้อนมารักษาโรคมะเร็งมีน้อย เนื่องจากความยากลำบากทางเทคนิคและการพัฒนาก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของการรักษาด้วยวิธีอื่น ได้แก่ การผ่าตัด รังสีรักษา และเคมีบำบัด จึงทำให้ความสนใจต่อการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนมีไม่มากเท่าที่ควร แต่เมื่อเวลาผ่านไป มนุษย์ก็ตระหนักถึงข้อจำกัดของการรักษาหลัก 3 วิธีนั้น ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาของโรคมะเร็งระยะลุกลามที่ผ่าตัดไม่ได้ ปัญหาของเซลมะเร็งที่ดื้อต่อรังสี ดื้อต่อยาและอาการข้างเคียงอันเกิดจากรังสีและยา เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็งหรือที่เรียกว่า Hyperthermia cancer therapy ซึ่งเริ่มใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา โดยการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อนนี้ เป็นรูปแบบการรักษาโรคมะเร็งแบบใหม่แบบหนึ่ง ซึ่งมีพื้นฐานและหลักการทางชีววิทยาที่สามารถพิสูจน์ทดลองและอธิบายได้ เมื่อไม่นานมานี้มีการค้นพบว่า การรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อนนี้ สามารถรักษาโรคมะเร็งชนิดต่างๆได้ทั่วร่างกายและได้ผลการรักษาที่น่าสนใจ

การรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนเป็นการรักษาโรคมะเร็ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิของเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเร็งให้สูงขึ้นอยู่ในช่วง 41-46 องศาเซลเซียส [1-2] แล้วรักษาระดับของอุณหภูมิไว้ให้คงที่ตลอดช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยการให้ความร้อนจากภายนอกและจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของเซลปกติไม่ให้สูงนัก ในส่วนของการให้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Hyperthermia) จะเป็นการทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นโดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในร่างกาย เพื่อทำให้อุณหภูมิของเซลมะเร็งสูงขึ้นอยู่ในระดับ 41-46 องศาเซลเซียส ปริมาณพื้นฐานของปรากฏการณ์ทางชีววิทยา สำหรับการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน จะมีอยู่ 2 ปริมาณที่มีความสำคัญในการรักษาคือ อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อปริมาณเซลมะเร็งที่รอดตายได้ตามภาพที่ 3 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้อุณหภูมิสูงแก่เซลมะเร็ง เมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย เซลมะเร็งจะตายเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อมีการลดอุณหภูมิที่ให้แก่เซลมะเร็ง จะต้องใช้เวลามากขึ้นในการทำให้เซลมะเร็งตาย จนกระทั่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้เซลมะเร็งให้มีอุณหภูมิ 43.5 องศาเซลเซียส เซลมะเร็งจะมีการตายเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม้ว่าจะใช้เวลามากก็ตาม แม้ว่าจะทราบว่าการเพิ่มอุณหภูมิสูงๆให้แก่เซล จะสามารถทำลายเซลได้มากก็ตาม แต่ก็จะทำให้เซลปกติที่อยู่รอบๆเซลมะเร็งได้รับความเสียหายได้ ดังนั้นในการใช้งานจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่เซลมะเร็งประมาณ 43 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำลายเซลมะเร็งได้เป็นจำนวนมากและไม่เป็นอันตรายต่อเซลปกติด้วย

ภาพที่ 3



แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซล [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเบื้องต้นทางชีววิทยาของความร้อน (Thermobiology)

ในทางชีววิทยา อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการทางชีววิทยา พบว่า โครงสร้างและการทำงานของเซล องค์ประกอบภายในเซล การทำงานของสารโมเลกุลใหญ่ในเซล เช่น DNA โปรตีน มีความทนทานต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เมื่อมีการนำการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนมาใช้ในทางคลินิก จึงเท่ากับมีแรงผลักดันให้มีการวิจัยและค้นคว้าในระดับเซลมากขึ้น รวมไปถึงการศึกษากลไกพื้นฐานที่จะอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาของการเพิ่มอุณหภูมิให้กับเซล ในปัจจุบันแม้จะยังไม่เข้าใจถึงกลไกทางชีววิทยาของความร้อนอย่างละเอียดชัดเจน แต่ก็มีหลักฐานและข้อมูลทางวิชาการมากขึ้น ซึ่งสามารถนำไปช่วยในการพิจารณาวางแผนการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการรักษาดีที่สุดและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดอันจะเกิดขึ้นจากการรักษา ซึ่งจะนำการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนมาใช้รักษาโรคมะเร็งต่อเมื่อ [8]

1. เซลดื้อต่อรังสี ซึ่งเป็นปัญหาของการรักษาทางรังสีจะถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน

2. ความร้อนจะเพิ่มประสิทธิภาพการทำลายเซลมะเร็งของรังสีและยารักษาโรคมะเร็งบางชนิด จะยับยั้งขบวนการฟื้นตัวของเซล หลังถูกรบกวนด้วยรังสีและยา

3. เซลมะเร็งในร่างกายจะถูกทำลายโดยความร้อนได้ง่ายกว่าปกติ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของเซลมะเร็ง ได้แก่ สภาพออกซิเจนต่ำ, สภาพความเป็นกรดสูง, เซลขาดอาหารเพราะเส้นเลือดที่เลี้ยงเซลไม่สมบูรณ์เท่าเซลปกติ

4. การวิจัยเบื้องต้นทางคลินิกพบว่า เซลมะเร็งที่ได้รับความร้อนในช่วง 41-46 องศาเซลเซียส มีการตอบสนองที่ดีต่อการรักษากว่า 70 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อาการแทรกซ้อนไม่มากขึ้น

3 ผลการใช้งานการใช้ความร้อนและการฉายรังสีในการรักษาโรคมะเร็ง

การใช้งานการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนร่วมกับการฉายรังสีได้มีการทดลองในทางคลินิคอย่างแพร่หลายและได้มีข้อมูลในการรักษาเปรียบเทียบระหว่างการรักษาโดยใช้การฉายรังสีอย่างเดียวกับการใช้การฉายรังสีร่วมกับการรักษาด้วยความร้อนออกมาอย่างมาก [9-10] ซึ่งจะแสดงข้อมูลบางส่วนตามตารางที่ 1 และ 2 ดังนี้ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

แสดงผลเปรียบเทียบการรักษาโรคมะเร็งบริเวณเต้านมโดยการฉายรังสีในการรักษาเพียงอย่างเดียว กับการรักษาโดยการฉายรังสีและการใช้ความร้อน

ผู้รวบรวมข้อมูล	อัตราการทำลายเซลมะเร็ง (%)	
	การใช้รังสีเพียงอย่างเดียว	การใช้รังสีร่วมกับความร้อน
Dunlop	50	60
Linholm	25	57
Overgaard	40	78
Steeves	31	65
Paraz	51	86
Scott	47	94
Gonzalez	33	78
Kjellen	27	67
Li	36	73

ตารางที่ 2

แสดงผลเปรียบเทียบการรักษาโรคมะเร็งบริเวณหัวและคอโดยการฉายรังสีในการรักษาเพียงอย่างเดียวกับการรักษาโดยการฉายรังสีและการใช้ความร้อน

ผู้รวบรวมข้อมูล	อัตราการทำลายเซลมะเร็ง (%)	
	การใช้รังสีเพียงอย่างเดียว	การใช้รังสีร่วมกับความร้อน
Arcangell	42	79
Scott	22	88
Valdagni	37	82
Perez	17	69
Emami	13	38
Goldobenko	86	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 จะแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างการรักษาโดยการฉายรังสีกับการรักษาโดยการฉายรังสีร่วมกับการใช้ความร้อนโดยเป็นการรักษาโรคมะเร็งบริเวณเต้านม (Breast Cancer) จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าการใช้ความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการฉายรังสีได้ต่ำสุดประมาณ 10% จากข้อมูลของ Dunlop และสูงสุดประมาณ 47% สำหรับข้อมูลของ Scott ในตารางที่ 2 จะแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างการรักษาโดยการฉายรังสีกับการรักษาโดยการฉายรังสีร่วมกับการใช้ความร้อนโดยเป็นการรักษาโรคมะเร็งบริเวณหัวและคอ (Head and Neck Cancer) จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าการใช้ความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการฉายรังสีได้ต่ำสุดประมาณ 14% สำหรับข้อมูลของ Goldobenko และสูงสุดประมาณ 66% สำหรับข้อมูลของ Scott ดังนั้นจากข้อมูลที่แสดงนี้จะเห็นได้ว่าการใช้ความร้อนร่วมกับการฉายรังสีในการรักษาโรคมะเร็ง สามารถทำให้ประสิทธิการรักษาเพิ่มขึ้นประมาณ 50-60% ในบางกรณี

4 ผลการใช้งานการใช้ความร้อนและการใช้เคมีในการรักษาโรคมะเร็ง

ในการใช้งานการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนและการรักษาโรคมะเร็งด้วยวิธีเคมีบำบัด จะพบว่า เมื่อมีการใช้งานการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนควบคู่ไปกับการรักษาโรคมะเร็งด้วยวิธีเคมีบำบัด จะทำให้การรักษาโรคมะเร็งด้วยวิธีเคมีบำบัด มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [2] โดยได้มีการนำไปใช้ในทางคลินิกและมีผลการทดลองออกมา เช่น [12-13]

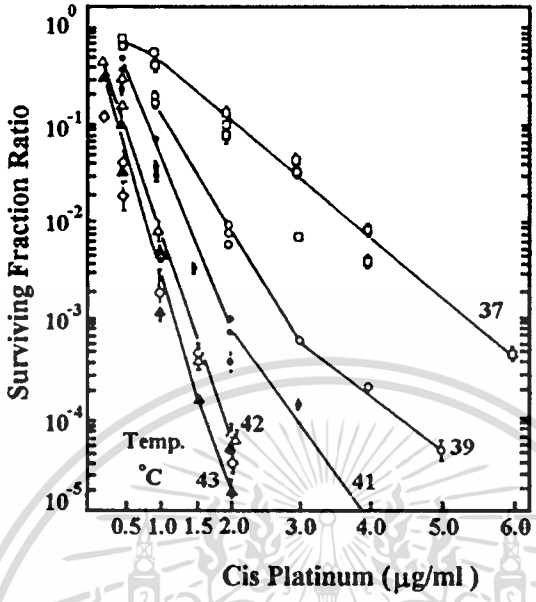
จากผลการทดลองและในการใช้งานพบว่า ความร้อนจะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำลายเซลมะเร็งของการรักษาโรคมะเร็งด้วยวิธีเคมีบำบัด ดังภาพที่ 4 แสดงผลการทดลอง เมื่อทำการทดลองกับหนู (Chinese hamster) จะพบว่า เซลจะมีความไวต่อยาที่ใช้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิบริเวณนั้นสูงขึ้น

5 ความถี่ในการใช้งาน

ในการใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนสำหรับการรักษาโรคมะเร็งนั้น สิ่งที่มีความสำคัญในการกำหนดความลึกและรูปแบบในการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็คือสายอากาศปล่อยคลื่นและความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้งาน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้งาน ซึ่งจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความลึกในการใช้งาน, ค่าคงที่ของไดอิเล็กตริกและค่าความนำของเนื้อเยื่อที่คลื่นเดินทางเข้าไป ดังแสดงได้ตามตารางที่ 3 [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4



แสดงผลของการใช้เคมีบำบัดร่วมกับการใช้ความร้อนที่มีผลต่อเซล [2]

ข้อมูลจากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ความถี่ต่ำจะสามารถทะลุทะลวงเนื้อเยื่อเข้าไปได้ในระยะทางที่ลึกมาก เช่น ที่ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ สามารถเข้าได้ลึกถึง 91.3 ซม. ซึ่งจะทำให้มีระยะในการใช้งานที่ลึก แต่เนื่องจากในการออกแบบและสร้างสายอากาศปล่อยคลื่นที่ใช้สำหรับความถี่ต่ำขนาดของสายอากาศปล่อยคลื่นจะมีขนาดใหญ่ โดยที่สายอากาศขนาดใหญ่จะไม่เหมาะสมในการใช้งาน แต่ในกรณีของคลื่นที่มีความถี่สูง จะมีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ ทำให้คลื่นไม่สามารถแพร่กระจายเข้าไปได้ลึกนัก เช่น ที่ความถี่ 3000 เมกะเฮิรตซ์ สามารถเข้าได้ลึกเพียง 1.61 ซม. แต่ในการออกแบบและสร้างสายอากาศปล่อยคลื่นนั้น สายอากาศปล่อยคลื่นที่ใช้จะมีขนาดเล็ก ซึ่งจะเหมาะสมกับการใช้งานในการรักษาเฉพาะบริเวณมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าความนำและความลึกที่ใช้งานที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่ (MHz)	บริเวณเซลกล้ามเนื้อ		
	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε)	ค่าความนำ (σ)	ความลึกในการใช้งาน (cm)
1	2000	0.400	91.3
10	160	0.625	21.6
27.12	113	0.612	14.3
40.68	97.3	0.693	11.2
100	71.7	0.889	6.66
200	56.5	1.28	4.79
300	54	1.37	3.89
433	53	1.43	3.57
750	52	1.54	3.18
915	51	1.60	3.04
1500	49	1.77	2.42
2450	47	2.21	1.70
3000	46	2.26	1.61
5000	44	3.92	0.788
5800	43.3	4.73	0.720
8000	40	7.65	0.413
10000	39.9	10.3	0.343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 ชนิดของสายอากาศปล่อยคลื่น

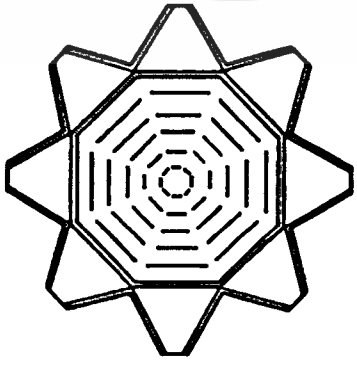
ในการใช้งานสายอากาศปล่อยคลื่นจะมีรูปแบบการให้ความร้อนที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด, ลักษณะ และความลึกของเซลมะเร็ง สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการใช้งานเป็นรูปแบบต่างๆ ดังนี้

1. สายอากาศปล่อยคลื่นที่ไม่ต้องสอดเข้าไปในร่างกาย (Non-Invasive Applicator) เป็นสายอากาศปล่อยคลื่นที่อยู่ภายนอกร่างกายในขณะการใช้งาน โดยจะแบ่งออกได้เป็น

1.1 สายอากาศปล่อยคลื่นที่ให้ความร้อนในบริเวณลึก (Whole Body Non-Invasive Applicator)

ลักษณะการใช้งานสายอากาศปล่อยคลื่นชนิดนี้ จะเป็นการรักษาโรคมะเร็งที่อยู่บริเวณภายในช่องท้อง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความลึกมาก ดังนั้นสายอากาศปล่อยคลื่นที่ใช้จะต้องปล่อยคลื่นที่มีความถี่ต่ำ เช่น ความถี่ 50-110 เมกะเฮิรตซ์ [15] 25-100 เมกะเฮิรตซ์ [16] เป็นต้น เนื่องจากคลื่นความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงได้ดีกว่าความถี่สูง ลักษณะของสายอากาศปล่อยคลื่นที่ใช้จะติดตั้งเป็นวงกลมรอบตัวผู้ป่วย ในการใช้งานสายอากาศปลือยคลื่นจะเป็นแบบเฟสอาร์เรย์ (Phase Array) เมื่อสายอากาศปล่อยคลื่นทำการปล่อยคลื่นออกมาพร้อมกัน เมื่อคลื่นเดินทางมาถึงจุดศูนย์กลางของวงกลม คลื่นจะมีเฟสเดียวกันและเสริมกัน ลักษณะการใช้งานของสายอากาศปล่อยคลื่นชนิดนี้จะแสดงตัวอย่างได้ตาม ภาพที่ 5 [15] แสดงรูปร่างด้านหน้าของสายอากาศปล่อยคลื่น และภาพที่ 6 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

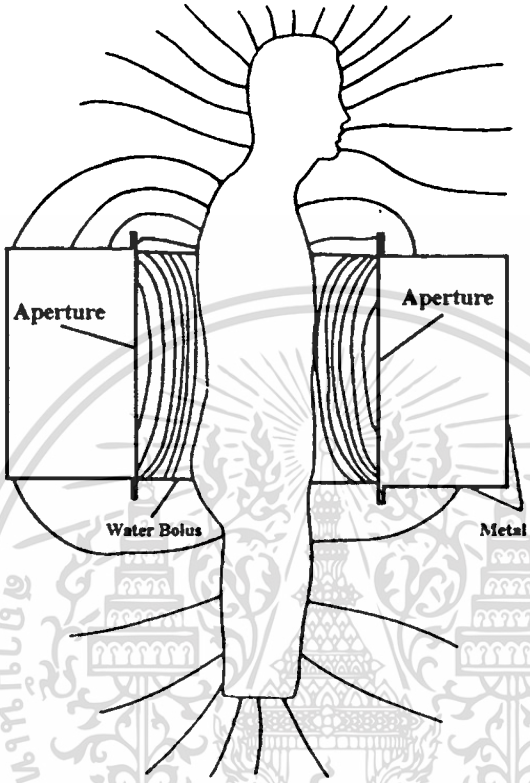
ภาพที่ 5



แสดงรูปร่างด้านหน้าของสายอากาศปล่อยคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 6



แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

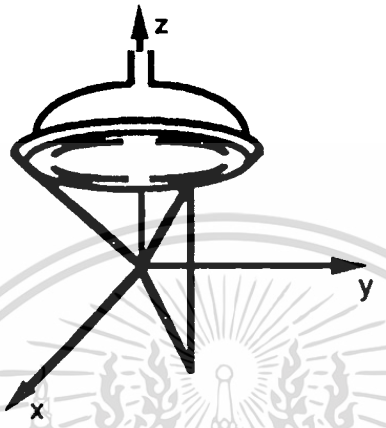
1.2 <u>สายอากาศปล่อยคลื่นที่ให้ความร้อนเฉพาะบริเวณ</u> (Local Heating Non-Invasive Applicator)

ลักษณะการใช้งานสายอากาศปล่อยคลื่นประเภทนี้ จะใช้ในการรักษาโรคมะเร็งที่อยู่บริเวณตื้นๆจากผิวหนัง โดยสายอากาศปล่อยคลื่นที่ออกแบบจะมีลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนแตกต่างกัน เช่น สายอากาศปล่อยคลื่นแบบปล่อยคลื่นออกมาจากช่องเปิด (Aperture) เพื่อให้คลื่นเดินทางไปยังบริเวณเซลมะเร็ง [17] หรือ สายอากาศปล่อยคลื่นที่มีการโฟกัสของสนามไฟฟ้าให้มีความร้อนสูงที่บริเวณเซลมะเร็ง โดยอาศัยการรวมกันของคลื่นที่เดินทางออกมาจากสายอากาศปล่อยคลื่นให้มารวมกันที่จุดโฟกัสของสายอากาศปล่อยคลื่น [3] สายอากาศปล่อยคลื่นที่ใช้ในลักษณะนี้จะใช้กับคลื่นที่มีความถี่สูงๆ เช่น ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ [17], 2450 เมกะเฮิรตซ์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

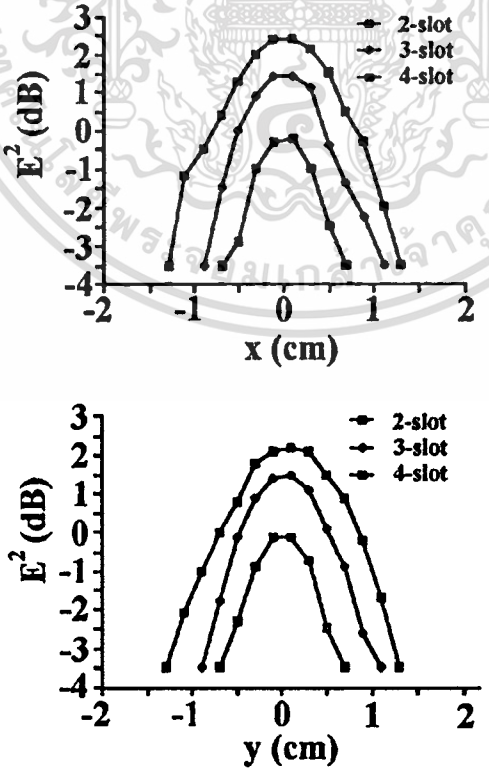
เป็นต้น ตัวอย่างของสายอากาศปล่อยคลื่นที่ใช้งานในลักษณะนี้จะแสดงตัวอย่างตาม [3] จะมีรูปร่างของสายอากาศปล่อยคลื่นตามภาพที่ 7 และภาพที่ 8 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

ภาพที่ 7



แสดงรูปร่างของสายอากาศปล่อยคลื่น

ภาพที่ 8



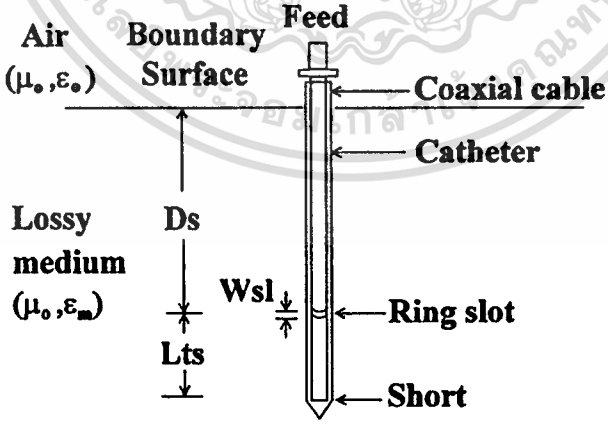
แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. <u>สายอากาศปล่อยคลื่นที่ต้องสอดเข้าไปในร่างกาย</u> (Invasive Applicator)

ลักษณะการใช้งานของสายอากาศปล่อยคลื่นชนิดนี้ เป็นแบบที่ต้องสอดเข้าไปในร่างกาย (Invasive Applicator) ในการใช้งานสายอากาศปล่อยคลื่นชนิดนี้จะต้องทำการสอดสายอากาศปล่อยคลื่นให้ไปอยู่ในตำแหน่งเซลมะเร็งหรือใกล้กับเซลมะเร็ง ในการใช้งานสายอากาศปล่อยคลื่นชนิดนี้อาจทำได้พร้อมกับการใช้วิธีการรักษาทางเคมีไปพร้อมๆกัน ในการออกแบบสายอากาศปล่อยคลื่นชนิดนี้ จะใช้สายนำสัญญาณ เช่น สายโคแอกเชียลแบบแข็ง (Solid coaxial) หรือแบบกึ่งแข็ง (Semirigid coaxial) เป็นต้น โดยจะทำการเจาะร่อง (Slot) บนสายนำสัญญาณ โดยทำการตัดตัวนำนอก (Outer conductor) และฉนวน ของสายนำสัญญาณออกในตำแหน่งที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยได้มีการออกแบบมาอย่างแพร่หลาย เช่น [18-19] เป็นต้น เมื่อนำสายอากาศปล่อยคลื่นชนิดนี้ไปใช้งานจะต้องทำการสอดเข้าไปในตำแหน่งของเซลมะเร็ง เมื่อมีการป้อนคลื่นเข้าไปยังสายนำสัญญาณ บริเวณร่องของสายนำสัญญาณก็จะเกิดการแพร่กระจายคลื่นออกมา ก็จะทำให้บริเวณรอบๆร่องของสายนำสัญญาณนั้นได้รับคลื่นและทำให้เกิดความร้อนได้ ตัวอย่างของรูปร่างและรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศปล่อยคลื่นของ [18] จะแสดงได้ดังภาพที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

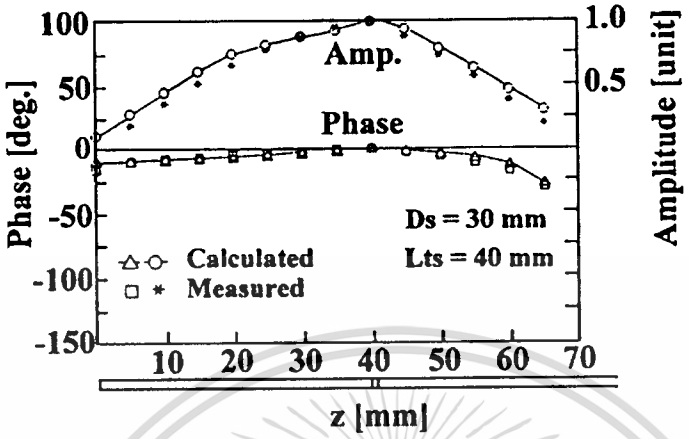
ภาพที่ 9



แสดงรูปร่างของสายอากาศปล่อยคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 10



แสดงรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น

7 สรุป

การรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน เป็นการรักษาโรคมะเร็งที่นำมาช่วยเสริมให้วิธีการอื่นที่มีอยู่แล้ว เช่น การรักษาทางเคมีบำบัดและรังสีรักษา ให้มีประสิทธิภาพในการรักษาสูงขึ้น โดยการทำให้อุณหภูมิของเซลมะเร็งสูงขึ้นอยู่ในระดับ 41-46 องศาเซลเซียส แล้วรักษาอุณหภูมินี้ให้คงที่อยู่ตลอดช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งมีการใช้งานคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ต่างๆ ตั้งแต่ความถี่เหนือเสียง ความถี่ 6, 100, 434, 915 หรือ 2450 เมกะเฮิรตซ์ การเลือกใช้ความถี่ใดจะขึ้นอยู่กับลักษณะ, ขนาด และตำแหน่งของเซลมะเร็ง สายอากาศปล่อยคลื่นจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ปล่อยคลื่นไมโครเวฟในการทำให้เกิดความร้อนและจัดรูปแบบในการแพร่กระจายคลื่นให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยที่ความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในร่างกายได้ลึก แต่สายอากาศปล่อยคลื่นไม่สามารถโฟกัสสนามไฟฟ้าให้อยู่ในบริเวณแคบๆได้ ในขณะที่การเลือกใช้ความถี่สูงๆ เช่น 915 หรือ 2450 เมกะเฮิรตซ์ จะสามารถโฟกัสสนามได้ดี แต่มีข้อจำกัดอยู่ที่บริเวณตื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

1 กล่าวนำ

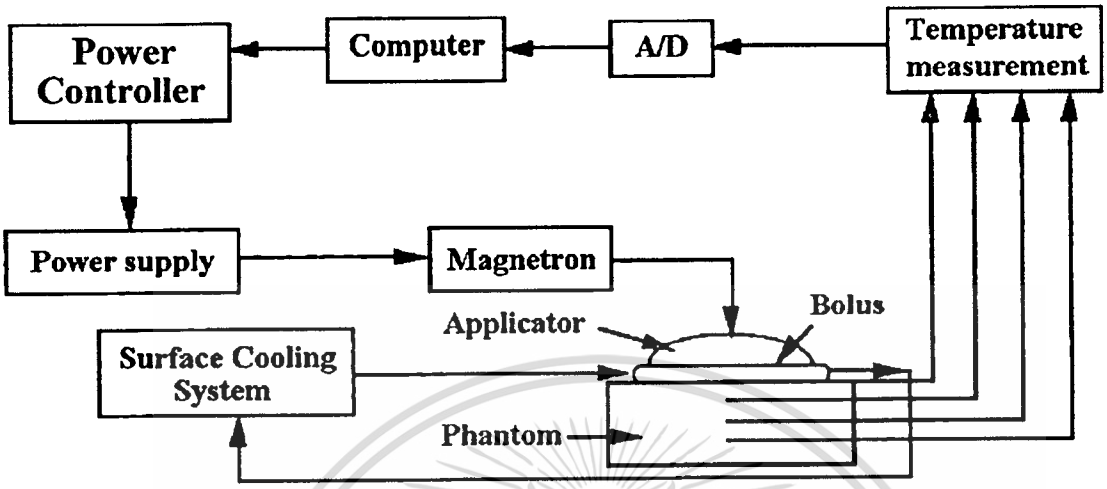
จากหลักการในการให้ความร้อนแก่บริเวณเซลมะเร็ง ได้มีการออกแบบระบบให้ความร้อนกันอย่างแพร่หลาย เช่น [20-21] เป็นต้น สำหรับในการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เราได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบให้ความร้อน โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ โดยควบคุมการทำงานของระบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบนี้ใช้กับสายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลม ในการแพร่กระจายคลื่น ระบบนี้จะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่บริเวณเซลมะเร็ง เพื่อทำให้การรักษามีประสิทธิภาพ โดยระบบจะประกอบไปด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์, หลอดแมกนีตรอน, ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน, สายอากาศปล่อยคลื่น, ระบบระบายความร้อน, ระบบวัดอุณหภูมิและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบของระบบและหลักการทำงานของระบบ

2 หลักการทำงานของระบบ

จากความต้องการของระบบที่จะต้องสามารถให้ความร้อนแก่เฉพาะบริเวณเซลมะเร็งให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 37 องศาเซลเซียส ไปเป็น 41-46 องศาเซลเซียส แล้วทำการรักษาอุณหภูมินี้ให้คงที่ตลอดช่วงเวลาในการให้ความร้อน เราได้ออกแบบ, สร้างและพัฒนาระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้นำเสนองานวิจัยบางส่วนไว้ใน [22-26] โดยระบบนี้จะประกอบไปด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์, หลอดแมกนีตรอน, ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน, สายอากาศปล่อยคลื่น, ระบบระบายความร้อน, ระบบวัดอุณหภูมิและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ ประกอบเป็นระบบดังแสดงได้ตามผังภูมิภาพที่ 11 สำหรับภาพที่ 12 แสดงภาพถ่ายของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 11



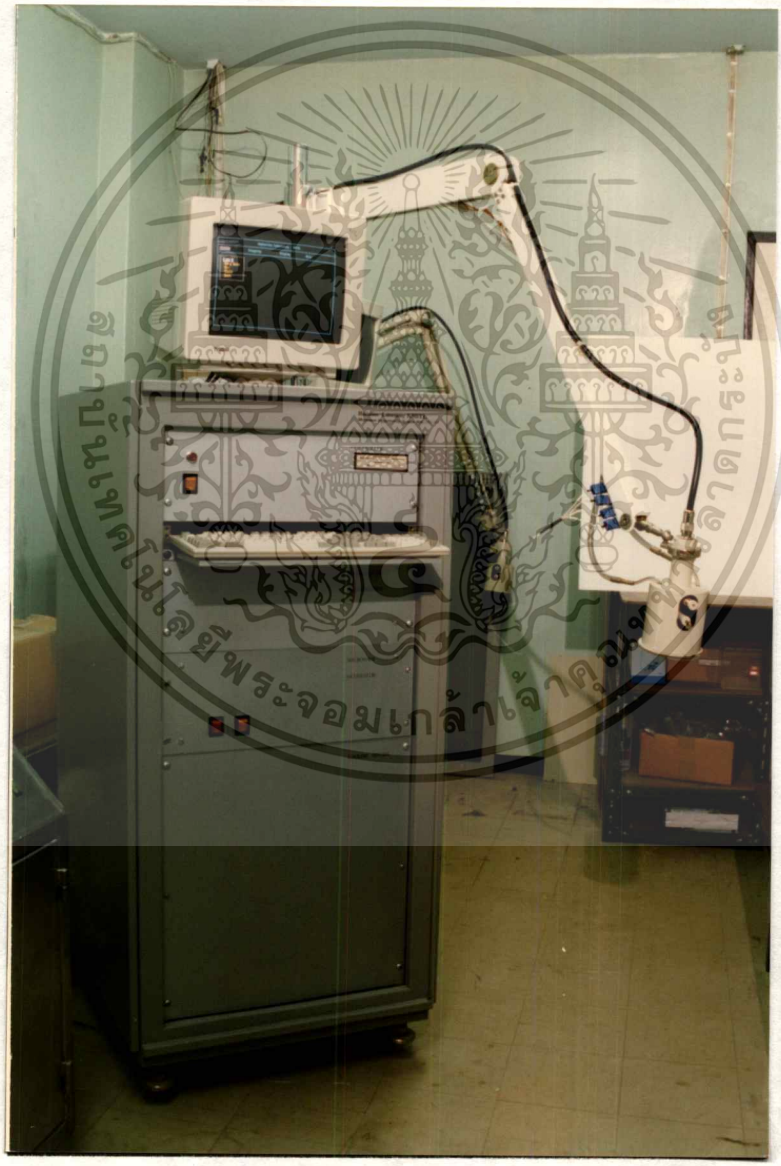
แสดงผังภูมิของระบบ

หลักการทำงานของระบบ ในการใช้งานระบบเริ่มแรกจะต้องทำการป้อนข้อมูลคือ ช่วงของเวลาที่ต้องการให้ระบบทำงาน, ช่วงเวลาที่ใช้ในการแสดงผล, อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม,และช่องสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ โดยเริ่มต้นระบบจะทำการวัดอุณหภูมิโดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะรับค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน ซึ่งในที่นี้จะทดลองกับสารเนื้อเทียม (Phantom) ซึ่งเป็นสารจำลองที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าคล้ายกับเนื้อเยื่อของคน โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ณ ความลึกของสารเนื้อเทียมที่ต้องการควบคุมอุณหภูมินั้น เครื่องคอมพิวเตอร์จะรับค่าอุณหภูมิโดยผ่านเทอร์โมคัปเปิลและระบบวัดอุณหภูมิ ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทราบค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้น โดยผ่านการ์ด A/D ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียมนั้นมีค่ามากหรือน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม ถ้าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียมมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม เครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะควบคุมให้ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน เพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน ซึ่งก็จะทำให้หลอดแมกนีตรอนปล่อยคลื่นไมโครเวฟผ่านสายอากาศปล่อยคลื่นผ่านไปยังสารเนื้อเทียมมากขึ้น ก็จะทำให้อุณหภูมิในสารเนื้อเทียมมีค่าสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียมมีค่ามากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม เครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะควบคุมให้ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน ลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน ซึ่งก็จะทำให้หลอดแมกนีตรอนปล่อยคลื่นไมโครเวฟผ่านสายอากาศปล่อยคลื่นผ่านไปยังสารเนื้อเทียมน้อยลง ก็จะทำให้อุณหภูมิในสารเนื้อเทียมมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของระบบระบายความร้อน จะมีส่วนที่เป็นถุงน้ำระบายความร้อน (Bolus) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิว ซึ่งบริเวณผิวนี้จะเป็นบริเวณที่ได้รับสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณอื่น โดยจะทำให้บริเวณผิวนี้มีอุณหภูมิสูงด้วย ทำให้ต้องมีการออกแบบระบบระบายความร้อนขึ้น เพื่อให้มีการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิว

ภาพที่ 12



แสดงภาพถ่ายของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

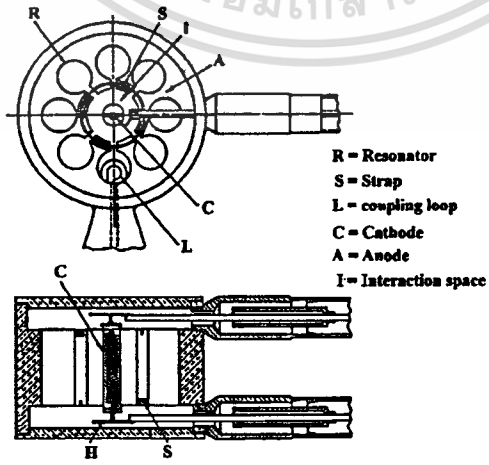
3 หลอดแมกนีตรอน

ในการศึกษาและออกแบบระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ได้เลือกใช้หลอดแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นเราจำเป็นที่จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลอดแมกนีตรอน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังสูง พบว่ามีใช้ในงานที่เกี่ยวกับเรดาร์ของทางการทหาร และการนำไปใช้ในงานต่างๆของพลเรือน ในปัจจุบันได้มีการนำเอาหลอดแมกนีตรอนไปใช้ในงานอุตสาหกรรมทางด้านความร้อน [27] เช่น เตาอบไมโครเวฟ อุตสาหกรรมผลิตไม้ เช่น การอบไม้, อุตสาหกรรมทอผ้า เช่น การอบเส้นด้าย อุตสาหกรรมพลาสติก เช่น การหลอมเม็ดพลาสติก และทางด้านการแพทย์ เป็นต้น โดยในรายละเอียดเกี่ยวกับหลอดแมกนีตรอนได้มีกล่าวไว้แล้วใน [27] วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะขอกล่าวเพียงเพื่อให้เข้าใจถึงการทำงานของระบบได้ดีขึ้น

หลอดแมกนีตรอนเป็นหลอดสุญญากาศชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยส่วนแอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) แอโนดเป็นบล็อกทองแดงทรงกระบอก ซึ่งภายในบรรจุไปด้วย โพรงเรโซแนนซ์ (Resonant cavity) จำนวนหนึ่ง ส่วนแคโทดอยู่ส่วนกลางของหลอด โครงสร้างของหลอดแสดงดังภาพที่ 13

การทำงานของหลอดแมกนีตรอนเกิดจากการจัดให้มีสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าในพื้นที่ระหว่างแอโนดกับแคโทด โดยสนามแม่เหล็กจะทำให้อิเล็กตรอนที่ถูกขับออกจากแคโทดเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง ถ้าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมีค่ามากพอ อิเล็กตรอนจะไม่ชนแอโนดแต่จะวกกลับไปชนแคโทด เป็นผลให้ไม่เกิดกระแสแอโนด

ภาพที่ 13



แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของหลอดแมกนีตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กให้กับหลอดแมกนีตรอน

สนามไฟฟ้า ใช้สนามไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงขนาดหลายพันโวลต์โดยจัดให้ แคโทดเป็นลบ ส่วนแอโนดต่อลงกราวด์

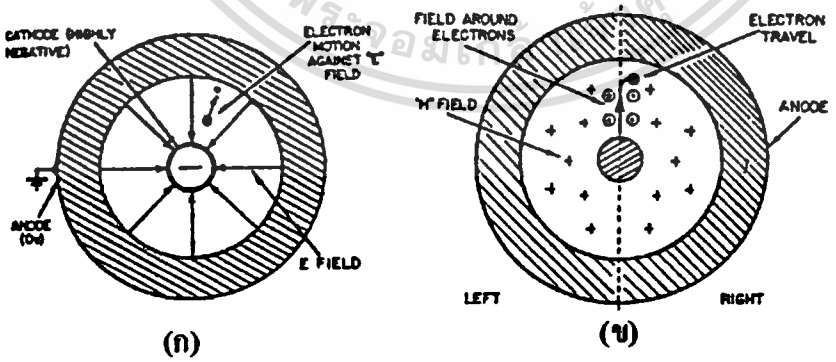
สนามแม่เหล็ก ใช้สนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรจัดให้มีทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กขนานกับแกนของแคโทด

การจัดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าให้กับหลอดแมกนีตรอน แสดงดังภาพที่ 14 จะเห็นว่าสนามไฟฟ้ามีทิศพุ่งจากแอโนดไปยังแคโทด และตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็ก ด้วยการจัดสนามทั้งสองให้มีทิศทางตั้งฉากกัน ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งไปตามแนวแรงลัพธ์ระหว่างสนามทั้งสอง ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

1.จัดสนามไฟฟ้าค่าหนึ่งให้กับหลอดแมกนีตรอน ที่ค่าสนามแม่เหล็กน้อยๆอิเล็กตรอนที่ออกจาก แคโทดทั้งหมดจะเดินทางไปยังแอโนด ดังนั้นกระแสแอโนดจะมีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มค่าสนามแม่เหล็ก กระแสแอโนดจะค่อยๆลดลง จนถึงค่าสนามแม่เหล็กค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้กระแสแอโนด มีค่าเป็นศูนย์ เรียกค่าสนามแม่เหล็กนี้ว่า สนามแม่เหล็กวิกฤต (Hc)

2.จัดสนามแม่เหล็กค่าหนึ่งให้กับหลอดแมกนีตรอน ที่สนามไฟฟ้าน้อยๆอิเล็กตรอนที่ออกจากแคโทด จะวิ่งวกกลับไปที่แคโทดหมด เมื่อเพิ่มค่าสนามไฟฟ้าจนมีค่ามากกว่าค่าวิกฤต (Vc) อิเล็กตรอนจะเดินทางไปถึงแอโนด และเกิดกระแสแอโนดขึ้น

ภาพที่ 14



(ก) (ข)

แสดงการจัดสนามทั้งสองให้กับหลอดแมกนีตรอน

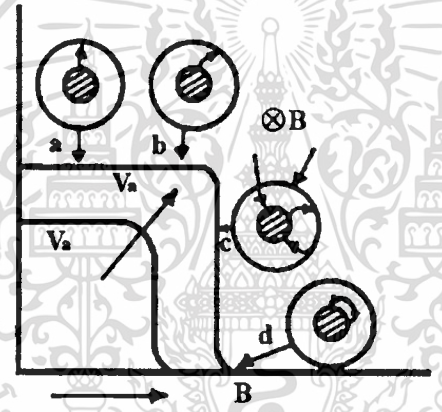
(ก) การจัดสนามไฟฟ้า

(ข) การจัดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าจัดสนามไฟฟ้าค่าหนึ่งให้กับหลอดแมกนีตรอนที่ค่าสนามแม่เหล็กน้อยๆ อิเล็กตรอนที่ออกจากแคโทดทั้งหมดจะเดินทางไปยังแอโนดเป็นทางโค้งเล็กน้อยตามภาพที่ 15 (ที่จุด a) ดังนั้นกระแสแอโนดจะมีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มค่าสนามแม่เหล็ก กระแสแอโนดจะค่อยๆลดลงและทางเดินของอิเล็กตรอนจะโค้งมากขึ้นเรื่อยๆจนทางเดินของอิเล็กตรอนสัมผัสกับเส้นรอบวงแอโนดกระแสจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว (ที่จุด c) จนกระทั่งสนามแม่เหล็กมีค่าสูงเกินกว่าค่าๆหนึ่ง กระแสแอโนดจะมีค่าเป็นศูนย์ (ที่จุด d) ที่จุดนี้อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่โค้งกลับมาที่แคโทดเหมือนเดิม เราเรียกสนามแม่เหล็กที่จุดนี้ว่า สนามแม่เหล็กวิกฤต (Hc)

ภาพที่ 15



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลระหว่างขั้วแอโนด
และขั้วแคโทดกับความเข้มสนามแม่เหล็ก

ในทางกลับกันถ้าเราจัดสนามแม่เหล็กค่าหนึ่งให้กับหลอดแมกนีตรอนที่ค่าสนามไฟฟ้าน้อยๆอิเล็กตรอนที่หลุดจากแคโทดจะวิ่งวกกลับไปที่แคโทดหมด เมื่อเพิ่มค่าสนามไฟฟ้าจนมีค่ามากกว่าสนามไฟฟ้าวิกฤต (Vc) อิเล็กตรอนจะเดินทางไปถึงแอโนดทำให้เกิดกระแสแอโนดขึ้น เมื่อเพิ่มค่าสนามไฟฟ้าเรื่อยๆกระแสแอโนดจะคงที่ เนื่องจากอิเล็กตรอนเดินทางถึงแอโนดทั้งหมด

ในทางปฏิบัติเราสนใจทางเดินของอิเล็กตรอน ซึ่งเกิดจากการจัดสนามทั้งสองดังนี้คือ จัดให้สนามไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต และจัดให้สนามแม่เหล็กมีค่าสูงกว่าค่าวิกฤต ตามเงื่อนไขดังกล่าว หลอดแมกนีตรอนจะทำงานได้ตามคุณสมบัติของมันคือ เปลี่ยนกำลังไฟตรงที่อินพุตเป็นกำลังคลื่นวิทยุ การเปลี่ยนรูปของพลังงาน เปลี่ยนตรงที่ว่างระหว่างแอโนดกับแคโทด ที่ว่างนี้เรียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า บริเวณการกระทำระหว่างกัน (Interaction space) ส่วนที่มีความสำคัญมากก็คือ โพรงเรโซแนนซ์ ที่โครงสร้างของแอโนดเป็นส่วนที่การออสซิเลตเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยภายในบริเวณการกระทำระหว่างกัน จะมีความถี่หลายความถี่เกิดขึ้น แต่จะมีความถี่เดียวที่มีค่าเป็นค่าของความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ของโพรงเรโซแนนซ์ ที่ความถี่นี้อิเล็กตรอนจะนำเอาพลังงานที่ได้รับจากสนามไฟฟ้าตรง (DC field) มาให้กับสนามไฟฟ้าสลับ (AC field) เราจะนำเอาความถี่และพลังงานของสนามไฟฟ้าสลับมาใช้งาน

จะเห็นว่าทฤษฎีการทำงานของหลอดแมกนีตรอนมีพื้นฐานมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายใต้อิทธิพลของสนามทั้งสอง ซึ่งถูกจัดขึ้นตามหลักเกณฑ์ดังนี้

<u>สนามไฟฟ้า</u> จากโครงสร้างของหลอด จัดให้แคโทดเป็นขั้วลบเมื่อเทียบกับแอโนด สนามไฟฟ้าจะมีทิศพุ่งจากแอโนดไปยังแคโทด อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ต้านทิศของสนามไฟฟ้า ในลักษณะนี้อิเล็กตรอนจะถูกเร่งโดยสนามและได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า

<u>สนามแม่เหล็ก</u> ทิศของสนามขนานกับแกนแคโทด ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าทำให้ทางเดินอิเล็กตรอนเปลี่ยนจากเส้นตรงเป็นเส้นโค้ง ถ้าสนามแม่เหล็กมีค่ามากทางเดินของอิเล็กตรอนก็จะโค้งมาก

4 <u>ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน</u>

โดยทั่วไปแล้ว หลอดแมกนีตรอนมักจะมีกำลังงานสูงอยู่ในระดับ 700-1000 วัตต์ ซึ่งมีค่ากำลังงานสูงเกินความต้องการของระบบในการใช้งาน ซึ่งมีระดับต่ำกว่า 100 วัตต์และในการใช้งานยังจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแปลงกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนให้ได้ตามต้องการ เพื่อใช้ในการเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิ ดังนั้นระบบจึงจำเป็นที่จะต้องมีระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน เพื่อควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิได้ตามต้องการ

จากหัวข้อที่แล้ว เราได้ทราบแล้วว่า การทำงานของหลอดแมกนีตรอนจะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟ 2 ชุดคือ แหล่งจ่ายไฟต่ำ จะเป็นส่วนที่ใช้ในการกระตุ้นแคโทด ให้มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และชุดที่ 2 ก็คือแหล่งจ่ายไฟสูง เป็นส่วนที่ใช้ในการบังคับทิศทางของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวร ดังนั้นถ้าเราเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า ให้แก่หลอดแมกนีตรอนเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กไปยังแอโนดได้มากขึ้น จากหลักการนี้เราก็จะสามารถควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้ โดยระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน จะเป็นส่วนที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน เพื่อควบคุมการปล่อยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งก็จะทำให้เกิดความร้อนต่อไป เราได้ทำการทดสอบการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรง-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน ซึ่งเราจะทำการวัดกำลังงานที่น้ำดูดซับไว้โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งจะสามารถคำนวณกำลังงานได้ โดยอาศัยสมการ [7]

$$P = \frac{M_a \times C_p \times (T - T_0)}{t}$$

เมื่อ P เป็นกำลังงาน (วัตต์)

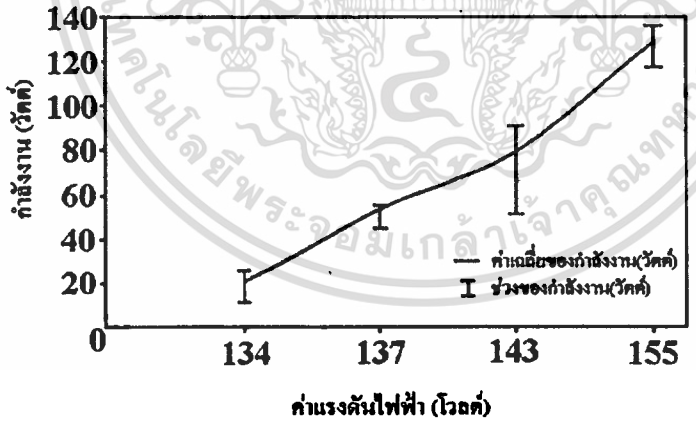
M_a เป็นมวลของน้ำ (kg)

C_p เป็นความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.184 kJ/kg.°K

t เป็นเวลา (วินาที)

โดยผลการทดลองในการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน โดยการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอน ได้แสดงไว้ในภาพที่ 16 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเราสามารถควบคุมกำลังงานที่ออกมาจากหลอดแมกนีตรอนได้ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน

ภาพที่ 16



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน

จากข้อมูลข้างต้น เราทราบว่าถ้าแหล่งจ่ายไฟสูงของหลอดแมกนีตรอนเปลี่ยนแปลง เราก็จะสามารถเปลี่ยนแปลงกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้ ดังนั้นในการออกแบบระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน จึงต้องมีส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในระบบนี้เราจะใช้สเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping motor) ในการควบคุมการหมุน เพื่อเพิ่มหรือลดค่าแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ปรับค่าได้ (Variac) เพื่อเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดแมกนีตรอน โดยที่หม้อแปลงที่ปรับค่าได้จะเป็นแหล่งจ่ายไฟที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาได้ ดังนั้นเราก็จะสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอนได้ ในส่วนของระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนก็จะประกอบไปด้วย สเตปปิ้งมอเตอร์ หม้อแปลงที่ปรับค่าได้ และแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับหลอดแมกนีตรอน

ในการใช้งานสเตปปิ้งมอเตอร์จะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ เพื่อเพิ่มหรือลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากหม้อแปลงที่ปรับค่าได้เพื่อป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอน สำหรับการควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์จะส่งแรงดันไฟฟ้าออกมาทางด้านพอร์ทเครื่องพิมพ์ (Port Printer) ซึ่งจะสามารถเขียนคำสั่งในการควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ด้วยภาษา Pascal ได้ดังนี้

```
Port[$378] := 3    {0011}
Port[$378] := 6    {0110}
Port[$378] := 12   {1100}
Port[$378] := 9    {1001}
```

ถ้าต้องการจะหมุนสเตปปิ้งมอเตอร์ไปอีกด้านก็สามารถทำได้ โดยการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
Port[$378] := 9    {1001}
Port[$378] := 12   {1100}
Port[$378] := 6    {0110}
Port[$378] := 3    {0011}
```

ดังนั้นในการใช้งาน เราสามารถควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้ เราก็จะสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลงที่ปรับค่าได้ ในที่สุดเราก็จะสามารถควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้ตามที่ต้องการ

5 สายอากาศปล่อยคลื่น

ในการใช้งานระบบ เราจำเป็นที่จะต้องจำกัดการให้ความร้อน โดยต้องการให้ความร้อนเฉพาะบริเวณเซลมะเร็งเท่านั้น ดังนั้นในการใช้งานจึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมและจัดรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่นไมโครเวฟ เพื่อทำให้เกิดความร้อนในรูปแบบหรือในบริเวณที่ต้องการ

สายอากาศปล่อยคลื่นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปล่อยคลื่นไมโครเวฟและจัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ออกมาจากหลอดแมกนีตรอนให้ได้ตามที่ต้องการ จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศปล่อยคลื่นมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับรูปแบบหรือวิธีการที่ต้องการในการปล่อยคลื่นไมโครเวฟ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงระบบที่ใช้สายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลม ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ใน [3-5] ในที่นี้จะขอกล่าวถึงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลมเพียงย่อๆ เพื่อให้เข้าใจการทำงานของระบบได้ดียิ่งขึ้น

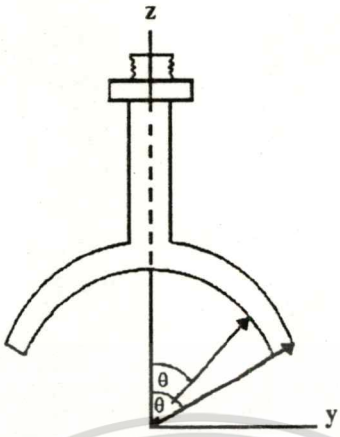
สายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลม เป็นสายอากาศที่อยู่ในประเภทของสายอากาศปล่อยคลื่นแบบให้ความร้อนเฉพาะบริเวณ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เป็นสายอากาศแบบที่ไม่ต้องสอดเข้าไปในร่างกาย ใช้กับคลื่นไมโครเวฟ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ โดยคลื่นสามารถเดินทางเข้าไปในร่างกายได้ลึกประมาณ 3 ซม. โครงสร้างของสายอากาศปล่อยคลื่นจะเป็นตัวนำทรงกลมมีจุดศูนย์กลางร่วมกันสองลูก ซึ่งแต่ละลูกมีลักษณะไม่ครบทรงกลม ส่วนที่ไม่ครบทรงกลมจะถูกปิดด้วยส่วนของกรวยตัวนำ การเลือกลักษณะของสายอากาศปล่อยคลื่นเป็นแบบทรงกลม ก็เพื่อให้เป้าหมายของการโฟกัสสนามไฟฟ้าอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม โดยที่สนามไฟฟ้าจะเดินทางจากรูสล็อตของสายอากาศปล่อยคลื่นมายังจุดศูนย์กลางของทรงกลมด้วยระยะทางที่เท่ากัน ซึ่งก็จะทำให้เฟสของสนามไฟฟ้าที่ออกมาจากแต่ละรูสล็อตมีค่าเท่ากัน โดยสายอากาศปล่อยคลื่นนี้ จะถูกป้อนคลื่นไมโครเวฟด้วยสายตัวนำแกนร่วม ดังภาพที่ 17 โดยได้มีการเจาะรูสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลมใน ดังภาพที่ 18 คลื่นที่เดินทางออกมาจากร่องแต่ละร่องมายังจุดศูนย์กลางของทรงกลมจะมีเฟสเดียวกันทำให้สนามไฟฟ้าเสริมกันและมีค่าสูงได้ ซึ่งจะเป็นการโฟกัสสนามไฟฟ้าให้มีความแรงตรงบริเวณจุดศูนย์กลางของทรงกลมได้ดังภาพที่ 19 โดยเงื่อนไขการโฟกัสสนามที่จุดศูนย์กลางจะเป็น

$$\left(\frac{2\pi r}{\lambda}\right)+\psi_1 = \text{ค่าคงที่}$$

โดยที่ r เป็นระยะทางจากรูสล็อตของสายอากาศปล่อยคลื่นมายังจุดศูนย์กลาง ซึ่งต่างก็เท่ากับรัศมีของทรงกลมใน λ เป็นความยาวคลื่นที่ใช้และ ψ_1 เป็นเฟสของสนามไฟฟ้าที่ป้อนรูสล็อตของสายอากาศปล่อยคลื่น จากสมการจะเห็นว่าจะต้องป้อนสนามไฟฟ้าให้รูสล็อตของสายอากาศปล่อยคลื่นแต่ละตัวมีเฟสเดียวกัน จึงจะทำให้เกิดการโฟกัสที่จุดศูนย์กลางได้ โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศปล่อยคลื่นแบบนี้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 17



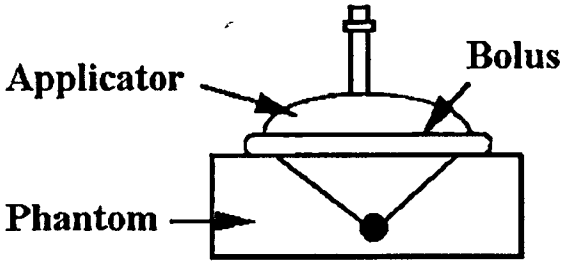
แสดงส่วนประกอบของสายอากาศปล่อยคลื่น

ภาพที่ 18

แสดงการเจาะร่องบนผิวทรงกลมใน

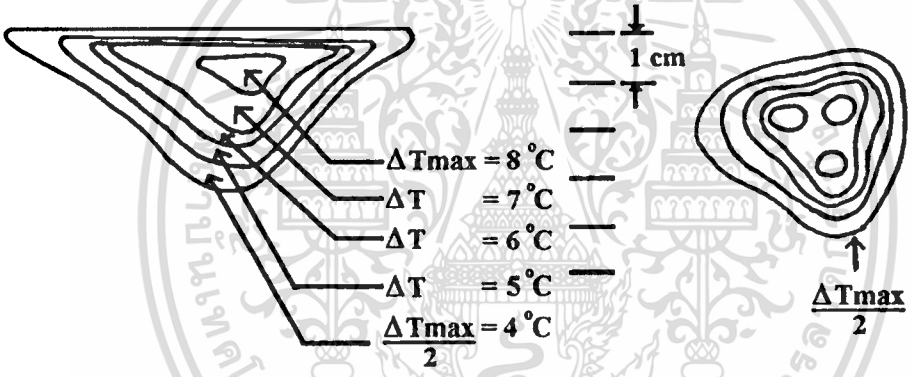
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 19



แสดงการรวมกันของคลื่นที่ออกมาจากสายอากาศปล่อยคลื่น

ภาพที่ 20



แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

6 <u>ระบบระบายความร้อน</u>

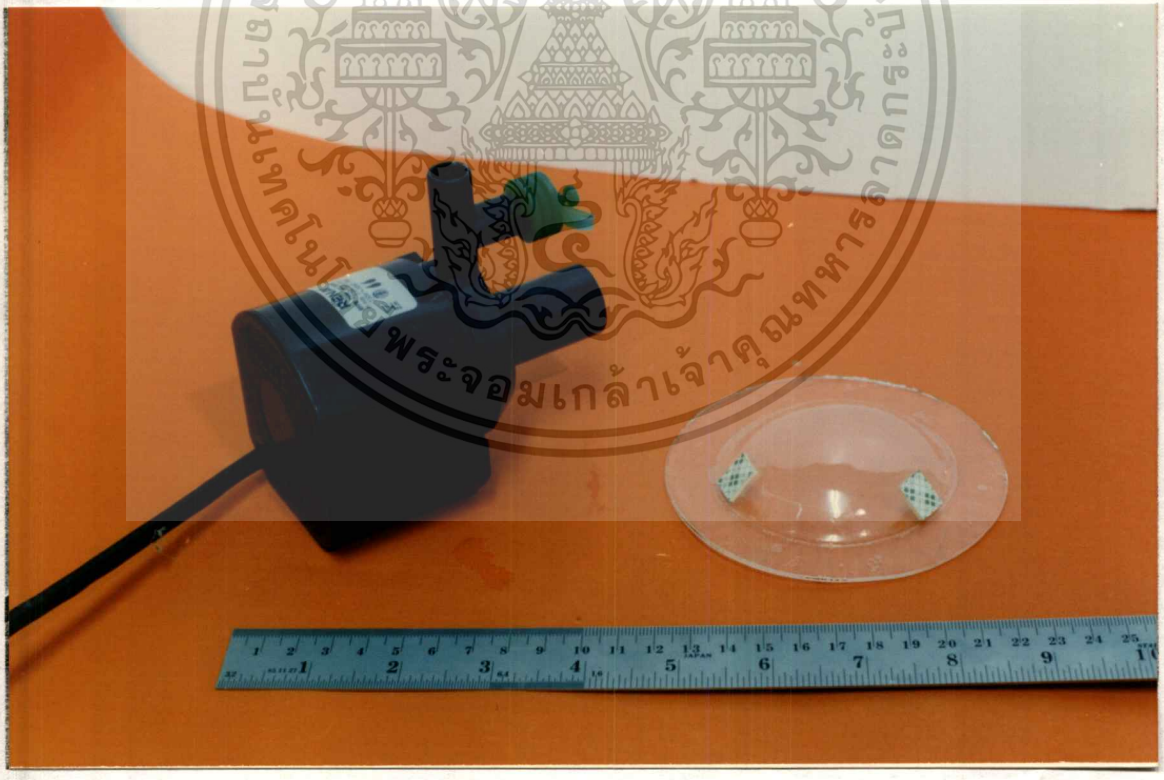
ระบบระบายความร้อน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิว ซึ่งบริเวณผิวนี้จะเป็นบริเวณที่ได้รับสนามไฟฟ้าที่ออกจากสายอากาศปล่อยคลื่นสูงกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ร่อง จึงทำให้บริเวณผิวมีอุณหภูมิสูง ทำให้ต้องมีการออกแบบระบบระบายความร้อนขึ้น เพื่อให้มีการระบายความร้อนที่บริเวณผิว โดยระบบระบายความร้อนจะประกอบด้วย ถุงน้ำระบายความร้อน, พัมป์น้ำ และเครื่องทำน้ำเย็น ดังแสดงตามภาพที่ 21

ระบบระบายความร้อน จะต้องทำการระบายความร้อนที่บริเวณผิวให้อุณหภูมิบริเวณผิวมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิปกติของร่างกาย เพื่อเวลาในการใช้งานจะไม่ทำให้ผู้ใช้เกิดความรู้สึกว่าร้อนเกินไปหรือเกิดความรู้สึกว่าเย็นเกินไป ซึ่งก็จะทำให้เวลาใช้งานสามารถให้ระบบทำการควบคุมอุณหภูมิได้ตามเวลาที่ต้องการได้ ในส่วนของการระบายความร้อนนั้นมีตัวแปรอยู่สองตัวที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะทำให้ระบายความร้อนได้ดีและเหมาะสมกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณผิวคือ อุณหภูมิของน้ำและอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งตัวแปรทั้งสองนี้สามารถควบคุมได้ด้วยเครื่องทำน้ำเย็นและพัมป์น้ำ ตามลำดับ เราจะอธิบายความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรนี้ได้ว่า อุณหภูมิของน้ำจะต้องสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำด้วยค่าที่เหมาะสมจึงจะทำให้การระบายความร้อนเกิดขึ้นได้เหมาะสม ได้มีการวิเคราะห์โดยแก้สมการการถ่ายเทความร้อนและแสดงผลการวิเคราะห์ไว้ใน [28] ซึ่งถ้าอัตราการไหลสูงหรือน้ำไหลเร็วและมีอุณหภูมิต่ำ ก็จะทำให้มีการระบายความร้อนทำได้ดีเกินไป โดยที่อุณหภูมิบริเวณผิวจะมีอุณหภูมิลดต่ำลงด้วย ทำให้ไม่เหมาะในการใช้งาน หรือถ้าอัตราการไหลต่ำหรือน้ำไหลช้าและมีอุณหภูมิสูง ก็จะทำให้การระบายความร้อนทำได้ไม่ดี โดยจะทำให้อุณหภูมิบริเวณผิวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไม่เหมาะในการใช้งาน ดังนั้นในการใช้งานจะต้องมีค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิที่เหมาะ จึงจะทำให้มีการระบายความร้อนนั้นเหมาะสมกับการใช้งาน

ภาพที่ 21



แสดงถุงน้ำระบายความร้อนและพัมป์น้ำที่ใช้ในระบบระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

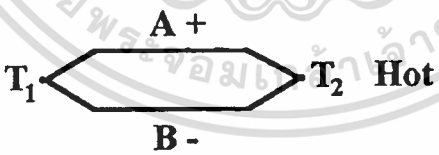
7 ระบบวัดอุณหภูมิ

ระบบวัดอุณหภูมิ เป็นระบบที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิภายในร่างกายและบริเวณผิว เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและสังเกตความร้อนที่เกิดขึ้นที่บริเวณต่างๆของเซลมะเร็ง ระบบวัดอุณหภูมิประกอบด้วย 2 ส่วนคือ เทอร์โมคัปเปิลกับส่วนชดเชยรอยต่อเย็นและส่วนขยายสัญญาณ ซึ่งจะอธิบายแต่ละส่วนได้ดังนี้

เทอร์โมคัปเปิล

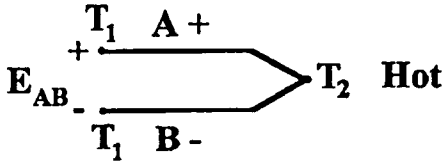
เทอร์โมคัปเปิล เป็นตัวตรวจจับความร้อนชนิดหนึ่ง โดยจะทำการแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนที่วัดได้ไปเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยอาศัยปรากฏการณ์ของซีเบค (Seebeck Effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อนำโลหะต่างชนิดกัน 2 เส้น สมมติให้เป็นโลหะ A และ B เมื่อนำปลายทั้งสองข้างของโลหะ A และ B มาเชื่อมต่อกันให้เป็นวง ดังภาพที่ 22 ถ้าอุณหภูมิหรือความร้อนที่เกิดขึ้นที่ปลายทั้งสองข้างของรอยต่อทั้งสองไม่เท่ากัน ถ้าสมมติให้อุณหภูมิ T_2 มากกว่า T_1 ก็จะเกิดกระแสในวง โดยกระแสที่เกิดขึ้นนี้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่รอยต่อทั้งสอง ดังนั้นจากปรากฏการณ์นี้ เมื่อนำโลหะต่างชนิดกันสองเส้นมาเชื่อมต่อที่ปลายด้านหนึ่งเข้าด้วยกัน เมื่อรอยต่อระหว่างโลหะทั้งสองได้รับความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งของโลหะทั้งสอง ก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้า โดยจะได้สัญญาณไฟฟ้า 2 ขั้วคือ ขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งขนาดของแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำโลหะทั้งสองชนิด ดังแสดงได้ตามภาพที่ 23

ภาพที่ 22



แสดงการเชื่อมต่อโลหะสองชนิด

ภาพที่ 23

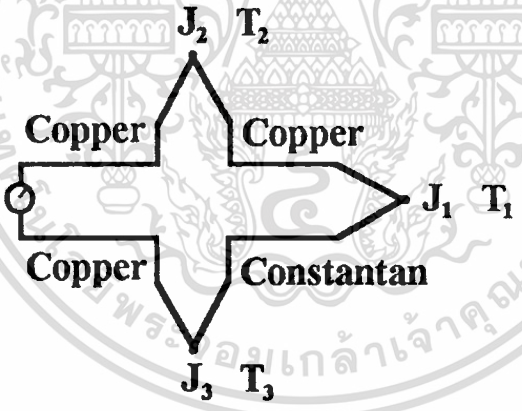


แสดงการเชื่อมต่อโลหะสองชนิดเพียงด้านเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการต่อเทอร์โมคัปเปิลดังภาพที่ 24 โดยต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับปลายทั้งสองข้างของเทอร์โมคัปเปิล โดยที่รอยต่อ J_2 เป็นรอยต่อของโลหะทองแดง (Copper) กับทองแดง ซึ่งที่รอยต่อนี้จะไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากโลหะทั้งสองเป็นชนิดเดียวกัน ($V_2 = 0$) และที่รอยต่อ J_3 ซึ่งเป็นรอยต่อของโลหะทองแดงกับคอนสแตนแตน (Constantan) โดยที่คอนสแตนแตน เป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับนิเกล (Nikel) ซึ่งรอยต่อ J_3 นี้จะเกิดแรงดันไฟฟ้า V_3 ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้า V_1 ที่รอยต่อ J_1 ฉะนั้นเมื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะเป็นความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่าง V_1 กับ V_3 ซึ่งจะหมายถึงความแตกต่างของอุณหภูมิ T_1 กับ T_3 ที่รอยต่อ J_1 กับ J_3 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเราต้องการทราบค่าอุณหภูมิ T_1 ที่รอยต่อ J_1 โดยการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ เมื่อเราทราบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่รอยต่อ J_3 คือ T_3 โดยปกติจะกำหนดอุณหภูมิ T_3 ที่รอยต่อ J_3 ซึ่งเป็นอุณหภูมิอ้างอิงไว้ที่ 0 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะเป็นการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับ 0 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 24

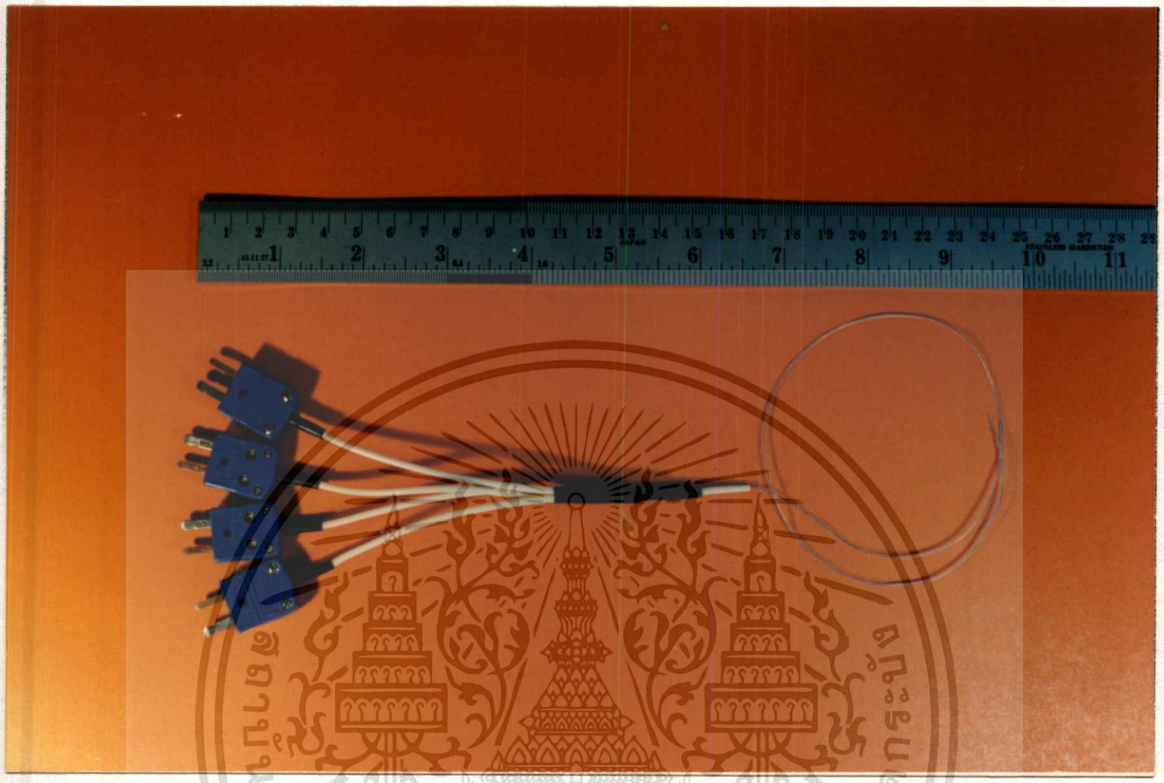


แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลในการใช้งาน

เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้ในการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานในทางการแพทย์โดยเฉพาะ ซึ่งเป็นเทอร์โมคัปเปิล ชนิด T ทำมาจากโลหะ 2 ชนิดคือ ทองแดงกับคอนสแตนแตน โดยหุ้มด้วยเทฟลอน (Teflon) ช่วงในการใช้งานในการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-60 องศาเซลเซียส มีจุดวัดอุณหภูมิที่ความลึกต่างๆกันอยู่ 4 จุด โดยจุดแรกอยู่ห่างจากปลายสาย 2 มม. จุดต่อมาจะห่างกันอยู่ช่วงละ 10±1 มม. ความยาวของสายเทอร์โมคัปเปิลยาว 345 ± 2 มม. มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ 0.76 ± 0.07 มม. ได้แสดงภาพถ่ายของเทอร์โมคัปเปิลดังกล่าวในภาพที่ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 25



แสดงภาพถ่ายเทอร์โมคัปเปิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

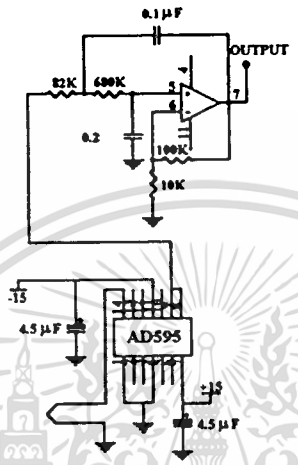
ส่วนชดเชยรอยต่อเย็นและส่วนขยายสัญญาณ

ในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิล จำเป็นจะต้องมีจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิอ้างอิงคือที่ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำได้โดยการจุ่มจุดอ้างอิงลงไปในอ่างน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่เป็นวิธีการที่ไม่สะดวกและยุ่งยากในการใช้งาน โดยในส่วนนี้เราได้ใช้การชดเชยรอยต่อเย็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ คือเป็นการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าให้เท่ากับ V_3 เมื่อรอยต่อ J_3 มีอุณหภูมิ T_3 เท่ากับ 0 องศาเซลเซียส ตามภาพที่ 24 เมื่อภาพที่ 26 แสดงวงจรที่เป็นส่วนชดเชยรอยต่อเย็นและส่วนขยายสัญญาณ สำหรับเทอร์โมคัปเปิล 1 ช่องสัญญาณ โดยในส่วนชดเชยรอยต่อเย็น ใช้ไอซีเบอร์ AD595 ซึ่งได้อธิบายไว้ใน [29] โดยไอซีเบอร์ AD595 เป็นไอซีที่ใช้ในการชดเชยรอยต่อเย็นและขยายสัญญาณ โดยไอซีตัวนี้ให้เอาต์พุตขนาด 10 มิลลิโวลต์ต่อ 1 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส จากนั้นนำเอาต์พุตที่ได้มาผ่านส่วนขยายสัญญาณ โดยในส่วนขยายสัญญาณนี้ใช้ไอซีเบอร์ LM324 ในการขยายสัญญาณ

ภาพที่ 26

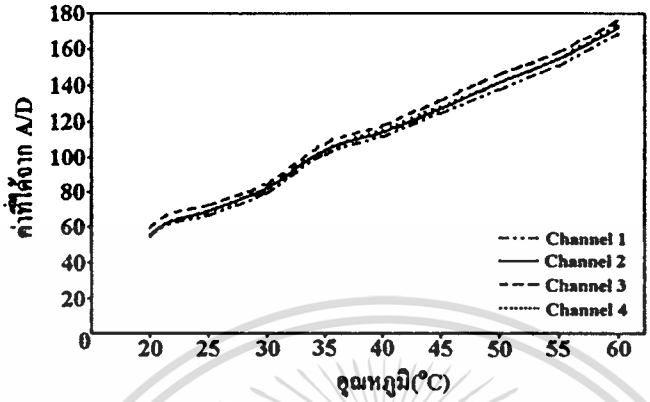


แสดงวงจรที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ

ในการใช้งานระบบวัดอุณหภูมิ เอาต์พุตที่ออกมาจากระบบวัดอุณหภูมิจะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า จากนั้นก็จะส่งผ่านไปยังการ์ด A/D (Analog to Digital Converter) เพื่อส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและแสดงผลของอุณหภูมิ ในการส่งแรงดันไฟฟ้าผ่านการ์ด A/D นั้น การ์ด A/D จะเกิดค่าดงที่ขึ้นมาโดยมีค่าแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามา ดังภาพที่ 27 ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงต้องมีการปรับเทียบ (Calibrate) อุณหภูมิกับค่าดงที่ที่ได้จากการ์ด A/D เพื่อให้การแสดงผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ออกมาเป็นอุณหภูมิที่ทำการวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 27



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าที่ได้รับจากการ์ด A/D

8 โปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ สามารถแสดงเป็นโฟลว์ชาร์ตได้ดังภาพที่ 28

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบในวิทยานิพนธ์นี้เขียนด้วยภาษา Pascal ซึ่งได้แสดงโปรแกรมที่ใช้ในระบบที่ภาคผนวก ข. โดยสามารถแสดงการทำงานของโปรแกรมได้ตามโฟลว์ชาร์ตดังภาพที่ 28

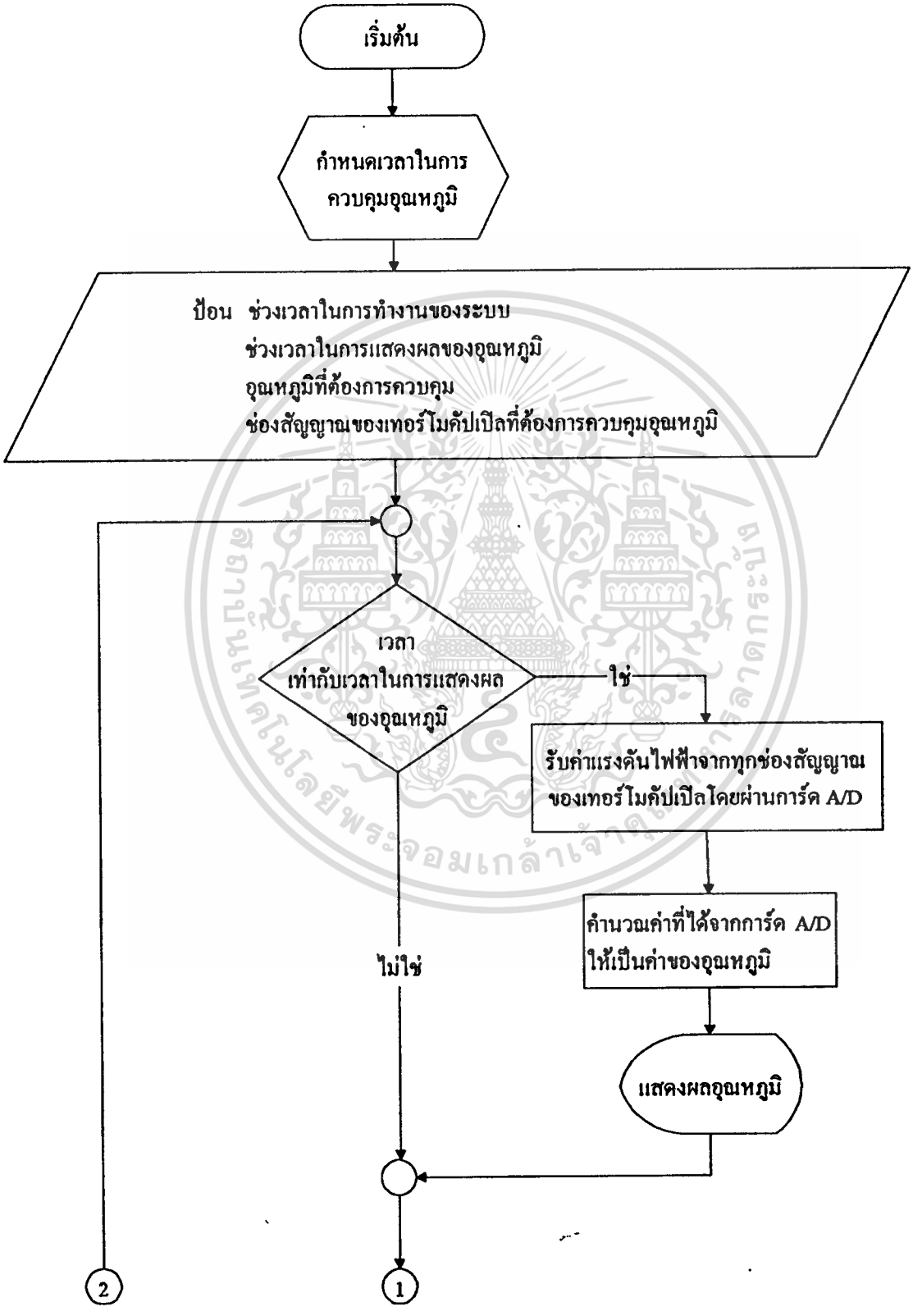
การทำงานของโปรแกรมจะสามารถอธิบายได้ว่า เริ่มต้นโปรแกรมจะทำการกำหนดเวลาในการควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นโปรแกรมก็จะให้ผู้ใช้ (User) ทำการป้อนค่าต่างๆ เพื่อให้ระบบทำงานตามที่ต้องการ ได้แก่ ช่วงเวลาในการทำงานของระบบ ช่วงเวลาในการแสดงผลของอุณหภูมิ อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมและช่องสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิล (ความลึกในการควบคุมการให้ความร้อน) ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ เมื่อโปรแกรมทำงาน โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่า เวลาที่ผ่านมาที่โปรแกรมทำงานเท่ากับเวลาที่ผู้ใช้ต้องการให้แสดงผลของอุณหภูมิหรือไม่ ถ้าเวลาที่ผ่านมาเท่ากับเวลาที่ต้องการให้แสดงผลของอุณหภูมิ โปรแกรมจะรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากทุกช่องสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิลโดยผ่านการ์ด A/D จากนั้นก็นำค่าที่ได้จากการ์ด A/D ไปคำนวณเป็นค่าอุณหภูมิและแสดงผลอุณหภูมิออกมาทางหน้าจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้าในกรณีที่เวลาผ่านมาไม่เท่ากับเวลาที่ต้องการให้แสดงผลของอุณหภูมิ โปรแกรมก็จะข้ามขั้นตอนต่างๆเหล่านั้น ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเดียวกันโปรแกรมก็จะเก็บเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมไปเรื่อยๆ จากนั้นโปรแกรมก็จะทำการตรวจสอบว่าเวลาที่ผ่านมาเท่ากับเวลาที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิหรือไม่ ถ้าเวลาที่ผ่านมาเท่ากับเวลาที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ โปรแกรมก็จะรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากช่องสัญญาณของเทอร์โมคัปเปิลที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิโดยผ่านการ์ด A/D จากนั้นก็นำค่าที่ได้จากการ์ด A/D ไปคำนวณเป็นอุณหภูมิ ต่อมาโปรแกรมก็จะตรวจสอบว่าอุณหภูมิที่วัดได้มีค่ามากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมหรือไม่ ถ้าอุณหภูมิที่วัดได้มีค่ามากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุม โปรแกรมก็จะจัดการให้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่งแรงดันไฟฟ้าออกมาทางพอร์ทเครื่องพิมพ์ เพื่อควบคุมให้สเตปปิ้งมอเตอร์ หมุนเพื่อทำการลดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอน แต่ถ้าอุณหภูมิที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมโปรแกรมก็จะจัดการให้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่งแรงดันไฟฟ้าออกมาทางพอร์ทเครื่องพิมพ์ เพื่อควบคุมให้สเตปปิ้งมอเตอร์ หมุนเพื่อทำการเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอน จากนั้นโปรแกรมก็จะตรวจสอบว่าเวลาที่โปรแกรมทำงานมาเท่ากับหรือมากกว่าเวลาที่ผู้ใช้ต้องการให้ระบบทำงานหรือไม่ ถ้าเวลาที่โปรแกรมทำงานผ่านมาเท่ากับหรือมากกว่าเวลาที่ต้องการให้ระบบทำงาน โปรแกรมก็จะหยุดทำงาน แต่ถ้าเวลาที่ผ่านมาน้อยกว่าเวลาที่ต้องการให้ระบบทำงาน โปรแกรมก็จะกลับไปตรวจสอบว่า เวลาที่ผ่านมาเท่ากับเวลาในการแสดงผลของอุณหภูมิหรือไม่ แล้วก็จะทำงานไปตามขั้นตอนต่างๆตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว จนกว่าเวลาที่โปรแกรมทำงานจะเท่ากับหรือมากกว่าเวลาในการทำงานของระบบ โปรแกรมก็จะหยุดทำงาน

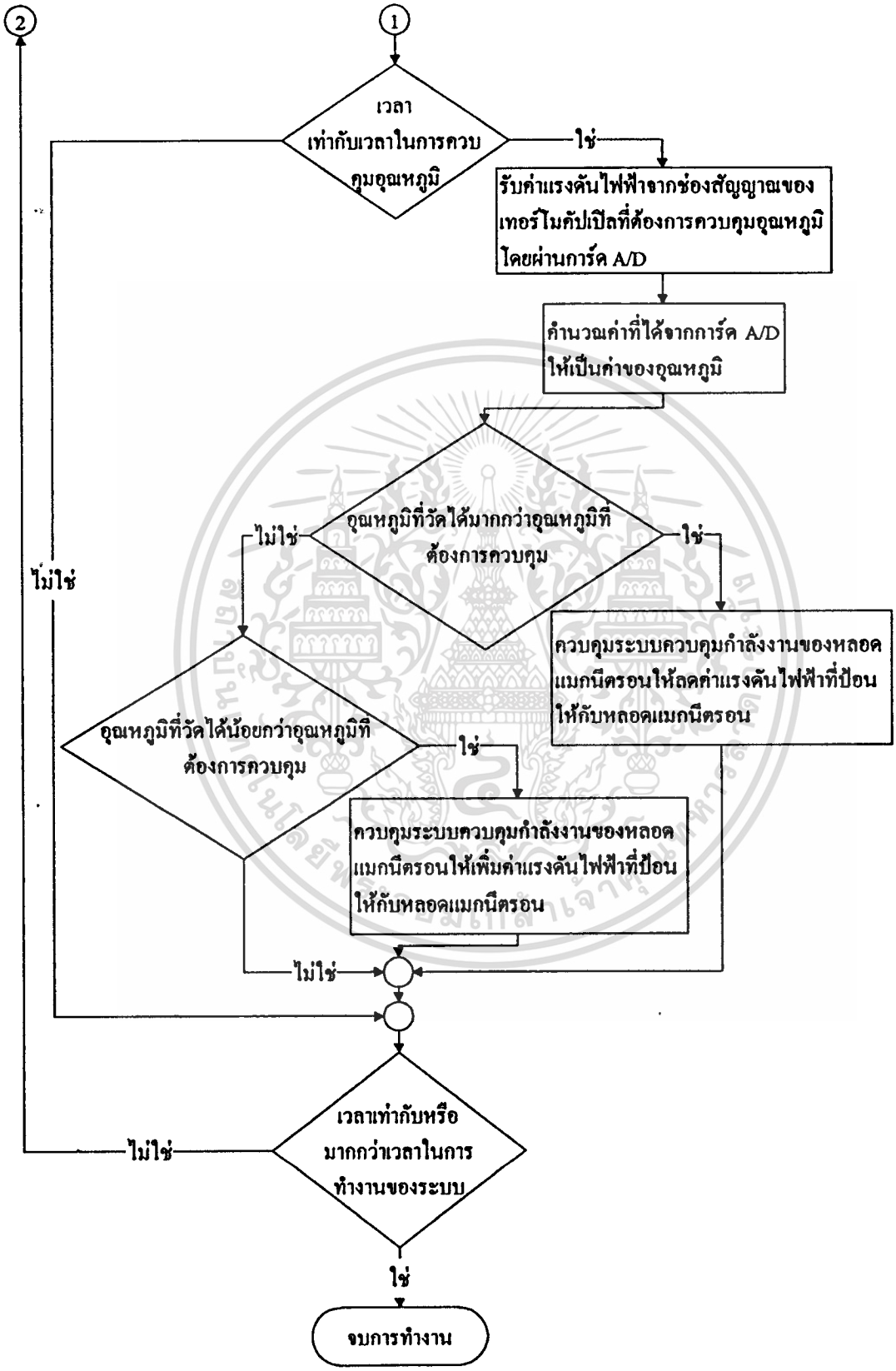
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 28 (ต่อ)



แสดงโฟลว์ชาร์ตของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดของส่วนต่างๆของระบบให้ความร้อนสำหรับในการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งระบบประกอบไปด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ หลอดแมกนีตรอน ระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน สายอากาศปล่อยคลื่น ระบบระบายความร้อน ระบบวัดอุณหภูมิและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

1 กล่าวนำ

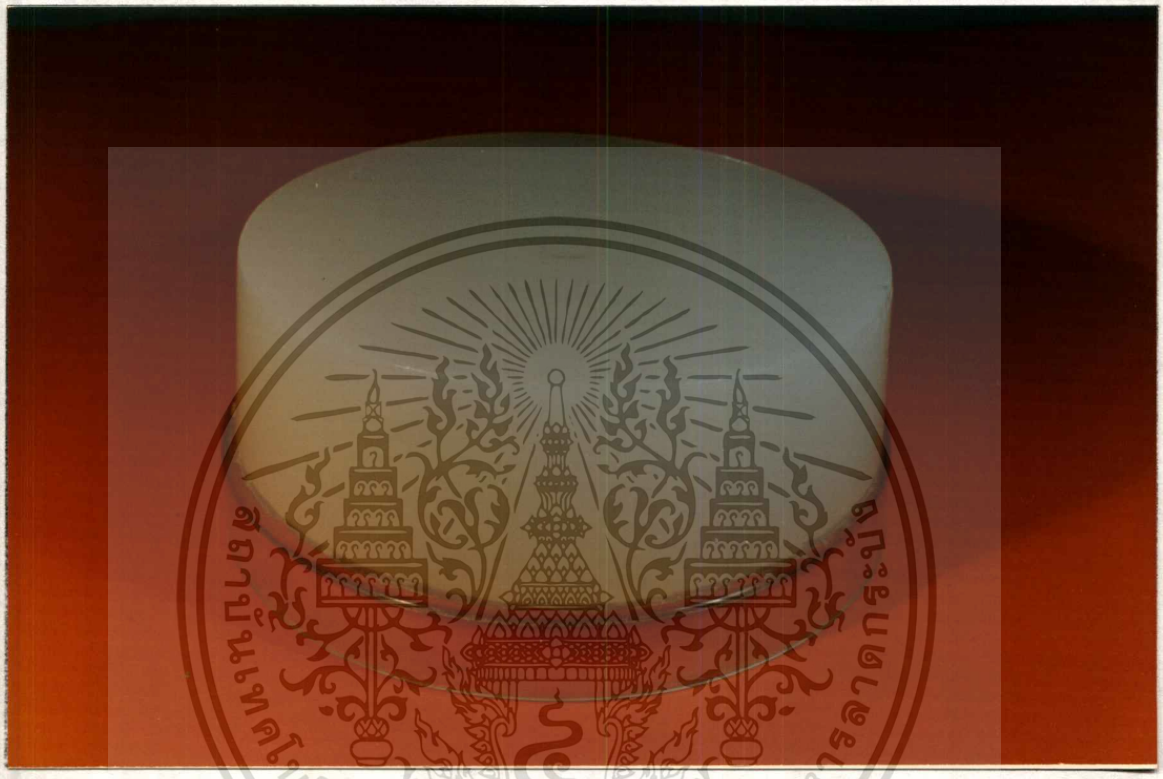
ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึง การนำความร้อนมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง การเกิดความร้อนภายในวัสดุและการออกแบบและสร้างระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ในบทนี้จะแสดงถึงการทดสอบระบบที่ได้สร้างขึ้น โดยจะทำการทดลองเพื่อหารูปแบบการแพร่กระจายความร้อนของสายอากาศปล่อยคลื่น การควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน การวัดอุณหภูมิและการทดสอบระบบในการเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียม

2 ผลการกระจายความร้อนของสายอากาศปล่อยคลื่น

ในการใช้งานสายอากาศปล่อยคลื่นในระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ เราจำเป็นที่จะต้องทราบรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นหรือรูปแบบของความร้อนที่เกิดขึ้นจากสายอากาศปล่อยคลื่นที่ใช้ โดยในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงการทดสอบสายอากาศปล่อยคลื่น เพื่อหารูปแบบการแพร่กระจายความร้อนของสายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลมที่ใช้ในระบบนี้ การทดลองจะทำได้โดยทำการปล่อยคลื่นไมโครเวฟผ่านสายอากาศปล่อยคลื่นและคลื่นไมโครเวฟที่ออกมาจะผ่านไปยังสารเนื้อเทียม โดยสารเนื้อเทียมจะมีลักษณะดังภาพที่ 29 ซึ่งส่วนประกอบและวิธีการทำได้แสดงไว้ในภาคผนวก โดยความร้อนที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียมที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านออกมาจากสายอากาศปล่อยคลื่น จะแสดงได้โดยการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermo Graphic Camera) ซึ่งกล้องนี้แสดงภาพของความร้อนที่เกิดขึ้นในรูปของสีที่แตกต่างกัน เมื่ออุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29

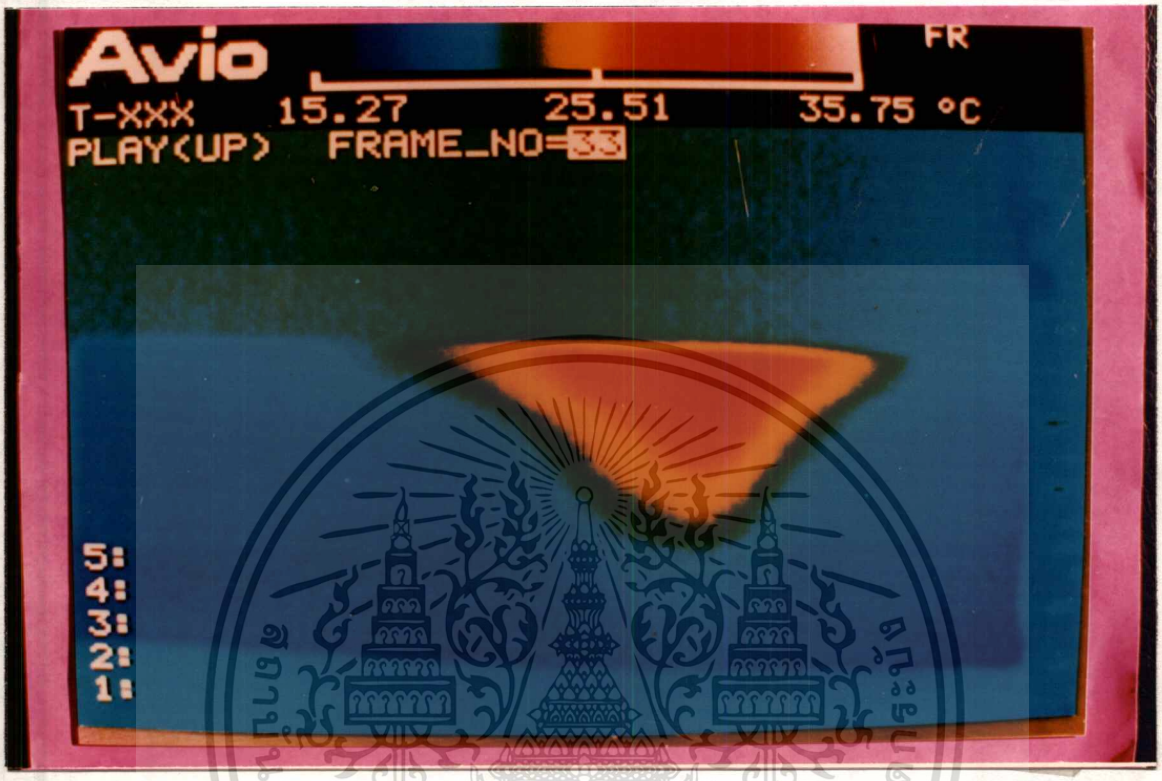


แสดงสารเนื้อเทียม

ในการทดลองจะทำการปล่อยคลื่นไมโครเวฟผ่านสายอากาศปล่อยคลื่นให้คลื่นเดินทางไปยังสารเนื้อเทียม โดยมีถุงน้ำระบายความร้อนวางคั่นอยู่ระหว่างสายอากาศปล่อยคลื่นและสารเนื้อเทียม โดยผลการทดลองได้แสดงไว้ใน [30] ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 30 ในภาพจะแสดงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในสารเนื้อเทียม โดยบริเวณที่มีสีแดงจะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด สีเหลือง สีเขียว และสีฟ้าจะมีอุณหภูมิต่ำลงมาตามลำดับ โดยรูปแบบการเกิดความร้อนจะเห็นได้ว่ามีรูปแบบเป็นการโฟกัสสนามไฟฟ้าที่บริเวณจุดศูนย์กลางของสายอากาศปล่อยคลื่น ซึ่งเป็นลักษณะของสายอากาศปล่อยคลื่นที่ได้ทำการออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 30



แสดงความร้อนที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียม

3 ผลการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน

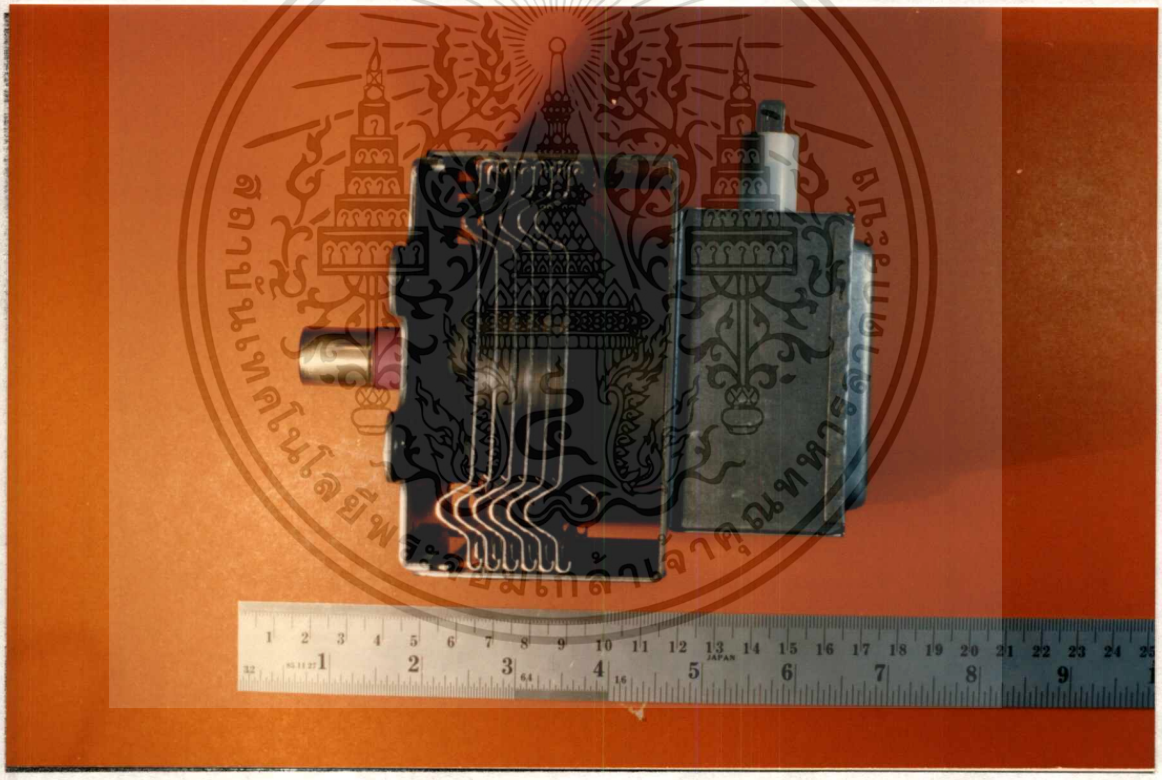
ในการควบคุมอุณหภูมิที่ให้แก่บริเวณเซลมะเร็ง เราจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมการปล่อยคลื่นไมโครเวฟของหลอดแมกนีตรอนที่ให้กับบริเวณเซลมะเร็ง เพื่อที่จะทำให้เกิดความร้อนได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นในการให้ความร้อนเราจึงต้องทำการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน เพื่อทำให้หลอดแมกนีตรอนปล่อยคลื่นไมโครเวฟได้อย่างเหมาะสมกับอุณหภูมิที่ต้องการ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน โดยหลอดแมกนีตรอนที่ใช้งานเป็นยี่ห้อชาร์ป รุ่น 2M167B ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 31 ในการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้อธิบายและแสดงกราฟผลการทดลองไว้ในบทที่ 4 ซึ่งเป็นวิธีการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอน เพื่อควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน ในส่วนของการทดสอบระบบในการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน ทำได้โดยกำหนดให้ระบบทำการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งได้ติดตั้งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองตามภาพที่ 32 โดยกำหนดให้ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 12 มิลลิเมตรจากผิวของสารเนื้อเทียม โดยควบคุมอุณหภูมิคงที่อยู่ที่ 27 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบระบบสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 33 ลักษณะการแสดงผลบนหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะดังภาพที่ 34 จากกราฟภาพที่ 33 จะเห็นได้ว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสารเนื้อเทียมได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าระบบสามารถควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้เป็นอย่างดี โดยสังเกตจากการควบคุมอุณหภูมิของระบบที่ทำได้อย่างถูกต้อง

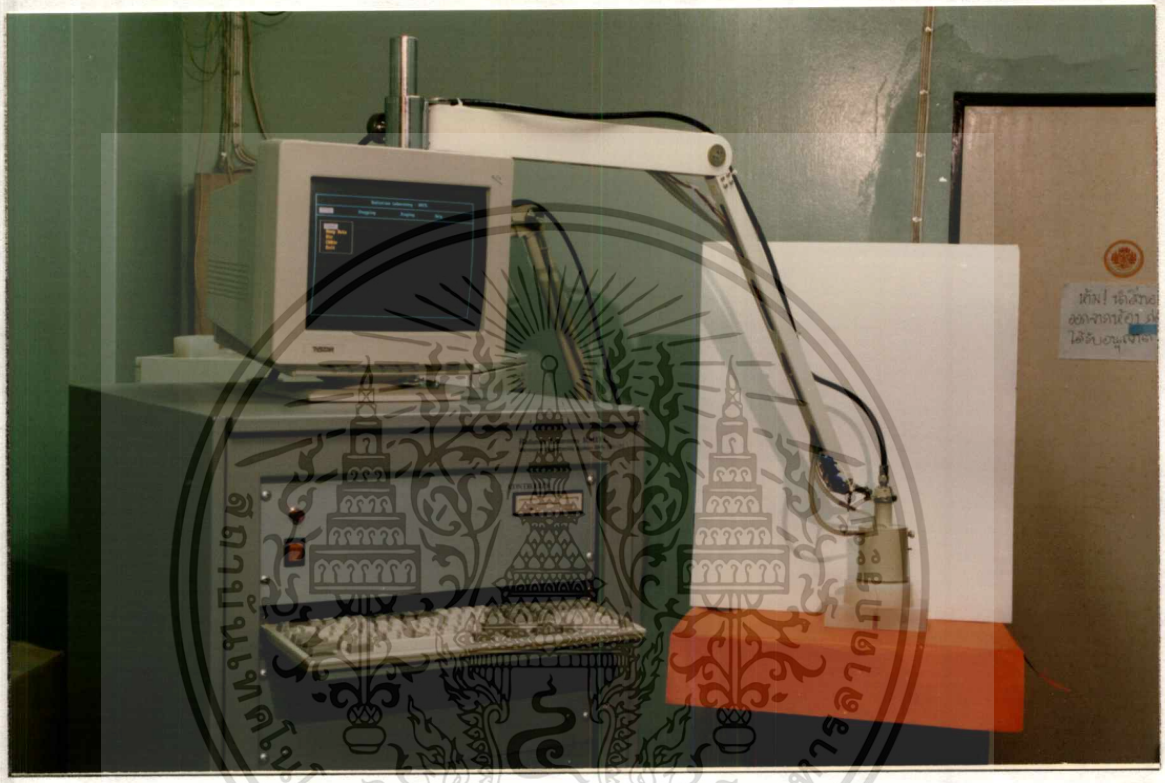
ภาพที่ 31



แสดงหลอดแมกนีตรอนที่ใช้ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

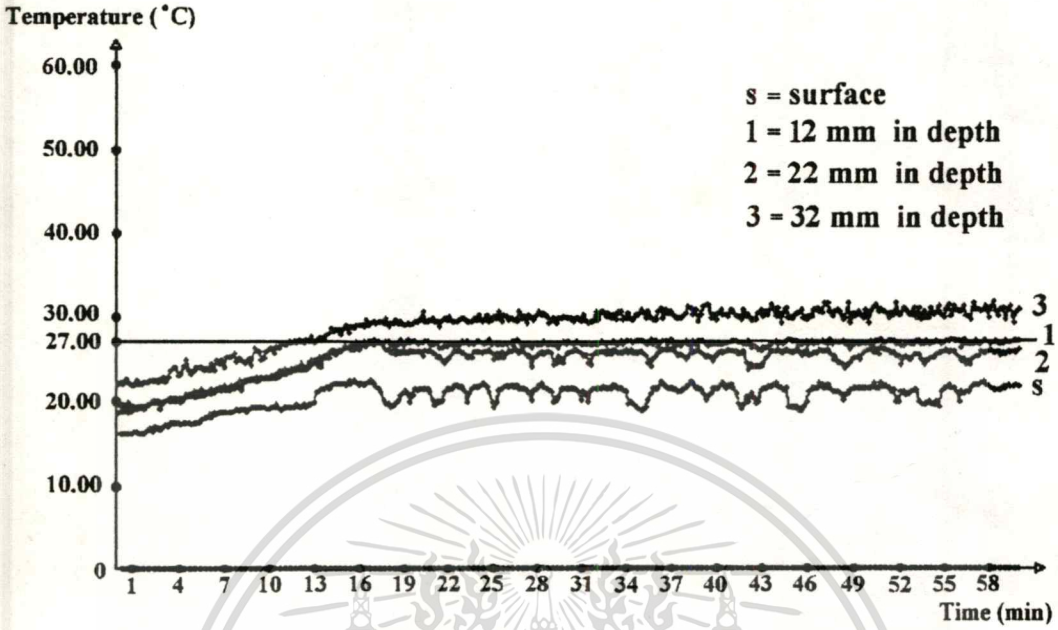
ภาพที่ 32



แสดงการติดตั้งระบบเพื่อทำการทดลอง

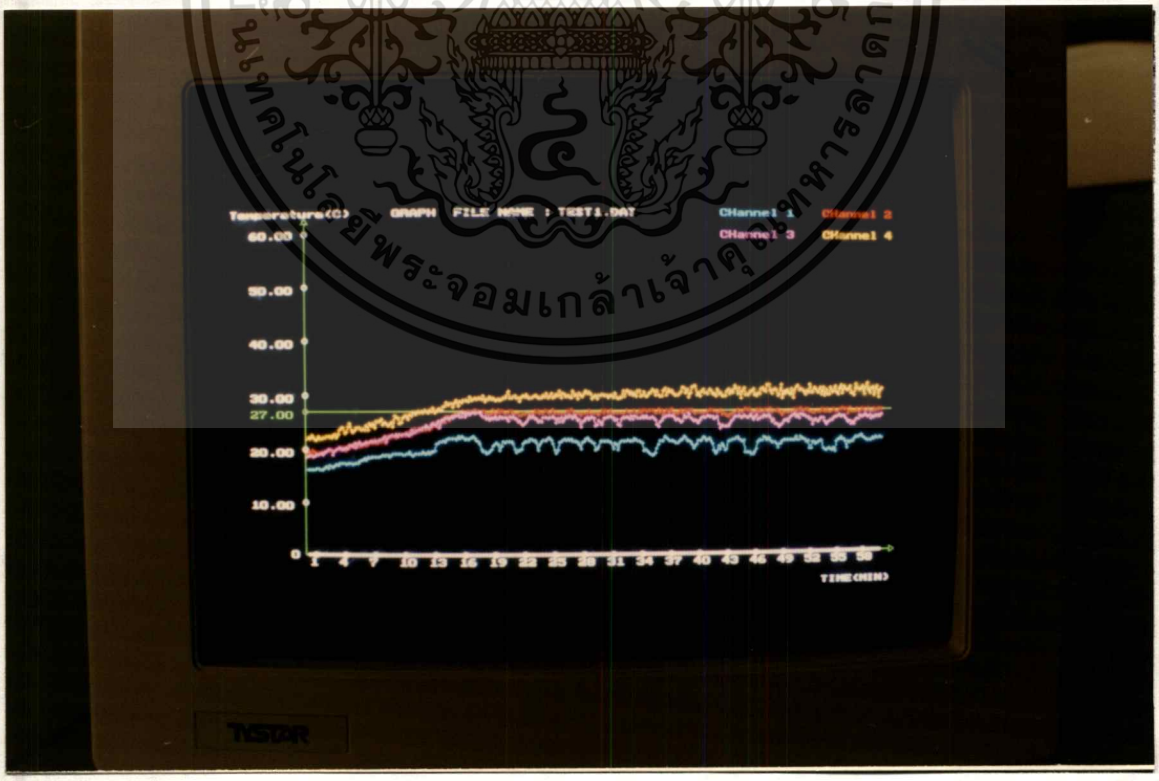
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 33



แสดงผลการทดสอบระบบ

ภาพที่ 34



แสดงการแสดงผลบนหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์

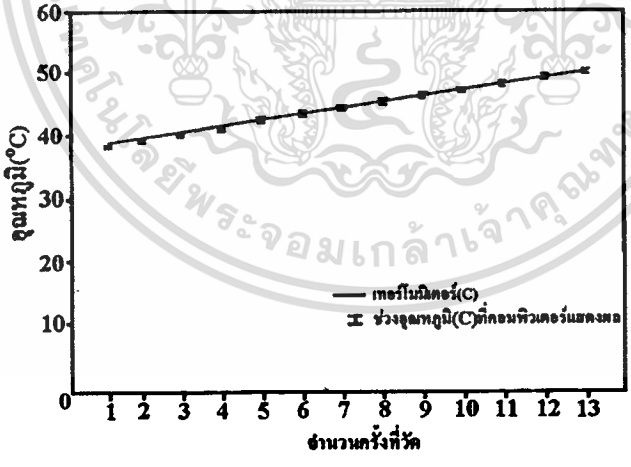
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ผลการวัดอุณหภูมิ

ในระบบการให้ความร้อน ระบบวัดอุณหภูมิเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ เพื่อนำอุณหภูมิที่วัดได้ไปแสดงผลเพื่อแสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในบริเวณเซลมะเร็งและนำไปใช้ในการตัดสินใจของระบบในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในบริเวณที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อที่จะทำให้ค่าของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่ต้องการ ดังนั้นระบบวัดอุณหภูมิจะต้องมีความแม่นยำในการวัดสูง เพื่อที่จะทำให้การรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนนั้นมีประสิทธิภาพสูง

การทดลองนี้จะเป็นการทดสอบระบบวัดอุณหภูมิของระบบ โดยจะทำการวัดอุณหภูมิของน้ำเปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิที่มีอยู่ทั่วไป ผลการทดลองเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิของระบบการวัดอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท จะแสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 35 ดังนี้

ภาพที่ 35



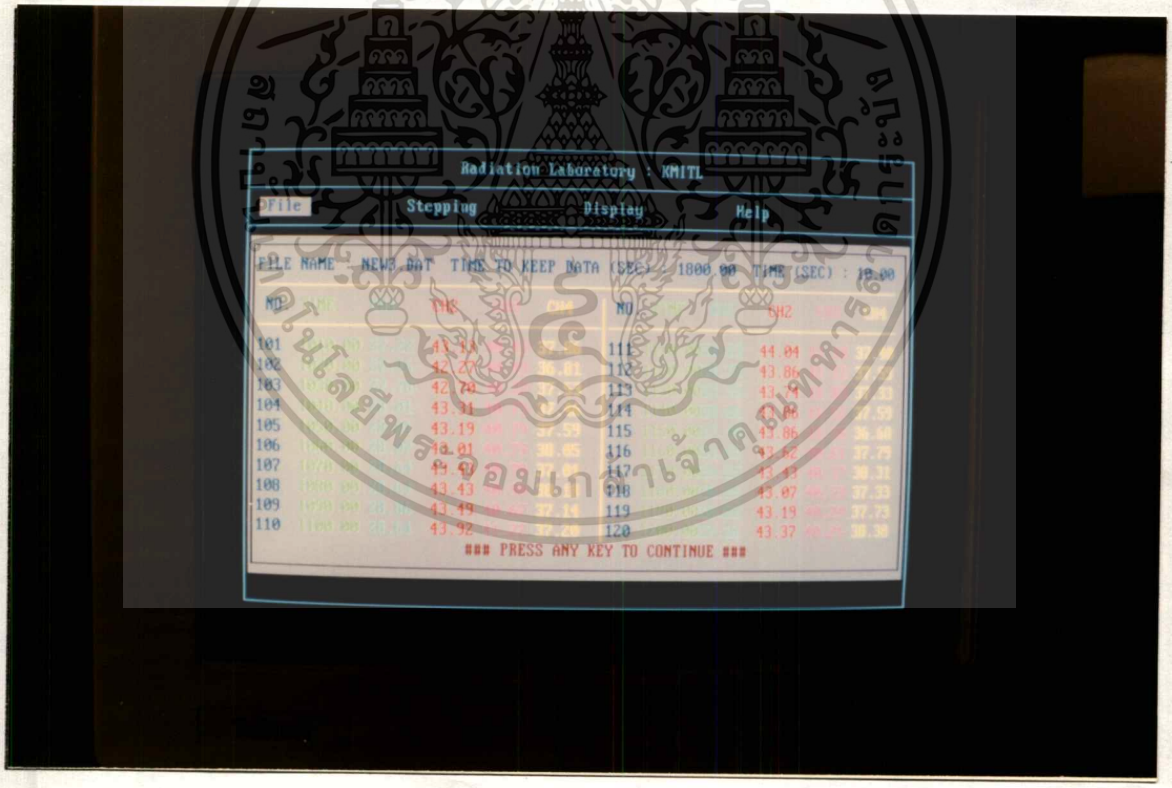
แสดงการเปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิของระบบการวัดอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ระบบการวัดอุณหภูมิสามารถวัดอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยมีค่าความผิดพลาดจากการวัดอุณหภูมิเพียง 2.5% ซึ่งรูปแบบการแสดงผลของอุณหภูมิของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ จะแสดงได้ดังภาพที่ 36 โดยจากภาพจะเป็นการแสดงผลของอุณหภูมิของระบบ เพื่อใช้เป็นส่วนในการตรวจสอบการวัดอุณหภูมิของระบบว่าระบบทำการวัดอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องหรือไม่ เมื่อทำการวัดอุณหภูมิเทียบกับปรอทหรืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบต่างๆ โดยมีการแสดงค่าอุณหภูมิในรูปของตัวเลขเพื่อง่ายต่อการสังเกตค่าของอุณหภูมิที่ระบบวัดได้ ในภาพจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้ คอลัมน์แรก แสดงลำดับที่ของข้อมูล คอลัมน์ที่สอง แสดงเวลาในการแสดงผล และคอลัมน์ที่สามถึงคอลัมน์ที่หก จะแสดงผลการวัดอุณหภูมิที่ช่องสัญญาณต่างๆ ของเทอร์โมคัปเปิล เช่น CH1 CH2 CH3 และCH4 จะแสดงผลของการวัดอุณหภูมิที่ช่องสัญญาณที่ 1 2 3 และ4 ของเทอร์โมคัปเปิลตามลำดับ

ภาพที่ 36



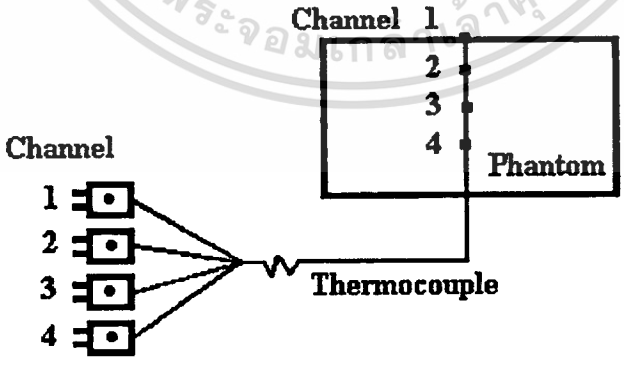
แสดงการแสดงผลของอุณหภูมิของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ผลการทดลองระบบ

การทดลองระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนี้ จะทำการทดลองโดยการกำหนดให้ระบบทำการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิปกติของร่างกายมนุษย์ คือ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นจะทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปยังอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมคือ 43 องศาเซลเซียสในระยะเวลาที่ต้องการ โดยในที่นี้จะกำหนดให้ระยะเวลาทำงานนาน 30 นาที โดยทำการทดลองกับสารเนื้อเทียม ในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลจะทำการสอดเทอร์โมคัปเปิลจากทางด้านล่างของสารเนื้อเทียม ดังภาพที่ 37 ซึ่งรายละเอียดของเทอร์โมคัปเปิลได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลดังภาพที่ 37 ช่องสัญญาณที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลช่องสัญญาณที่ 1 จะอยู่บริเวณผิวของสารเนื้อเทียม เพื่อทำการวัดอุณหภูมิบริเวณผิว ช่องสัญญาณที่ 2 จะอยู่ที่ความลึก 12 มิลลิเมตรจากผิว ช่องสัญญาณที่ 3 จะอยู่ที่ความลึก 22 มิลลิเมตรจากผิวและช่องสัญญาณที่ 4 จะอยู่ที่ความลึก 32 มิลลิเมตรจากผิว เพื่อทำการวัดอุณหภูมิที่ความลึก 12 22และ 32 มิลลิเมตรจากผิวตามลำดับ โดยได้ทำการติดตั้งระบบเพื่อทำการทดสอบดังภาพที่ 38 และภาพที่ 39 แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล สายอากาศปล่อยคลื่นและถุงน้ำระบายความร้อนเข้ากับสารเนื้อเทียม

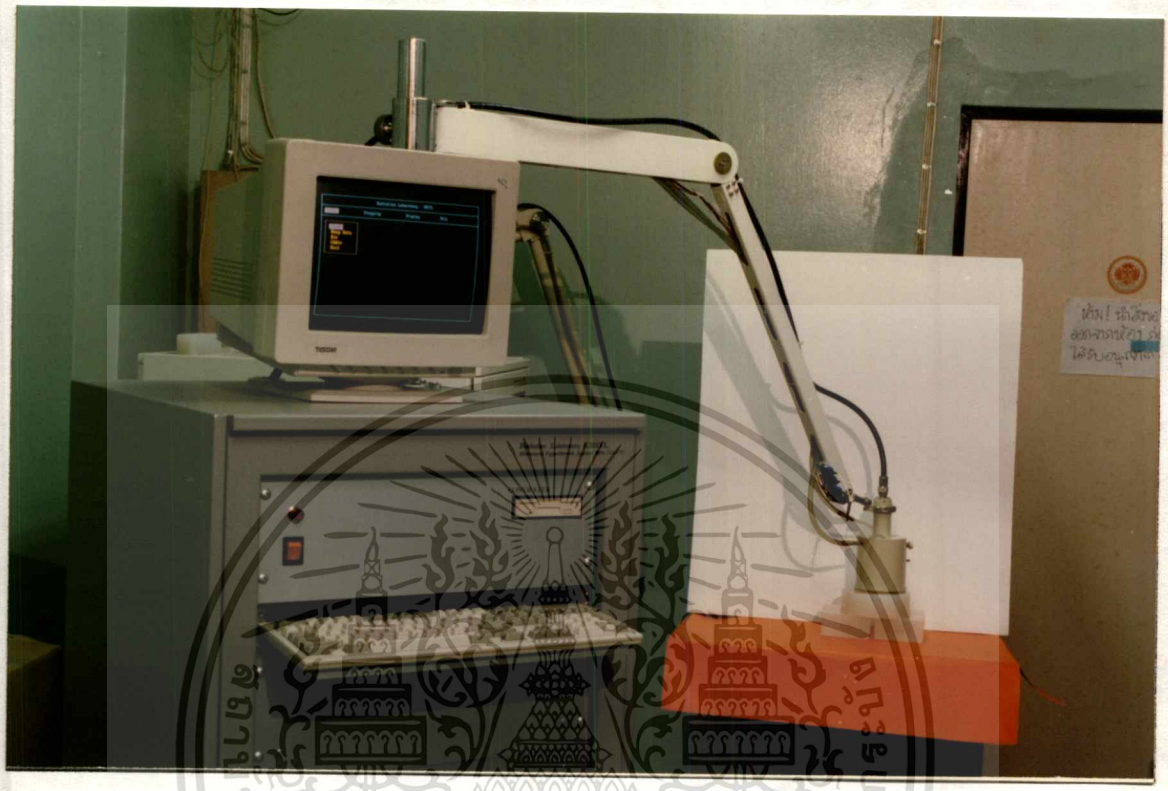
ภาพที่ 37



แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในสารเนื้อเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 38



แสดงการติดตั้งระบบเพื่อทดสอบ

ในการทดลอง จะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเป็น 37 องศาเซลเซียส โดยการทำให้สารเนื้อเทียมมีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ใช้ในการควบคุมคือ 43 องศาเซลเซียส กำหนดให้ระบบทำงานนาน 30 นาที โดยมีการแสดงผลของอุณหภูมิทุกๆ 10 วินาที สำหรับการทดสอบนี้จะทำการเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อนและความลึกที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิและการควบคุมอุณหภูมิของระบบ ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ตามภาพที่ 40 41 42 และ 43 โดยกราฟในภาพที่ 40 และ 41 จะทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึกเท่ากันคือที่ความลึก 12 มิลลิเมตรจากผิว แต่อัตราการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อนจะแตกต่างกันคือในภาพที่ 40 จะมีอัตราการไหลของน้ำ 1.2 ลิตรต่อนาที ในภาพที่ 41 จะมีอัตราการไหลของน้ำ 2.3 ลิตรต่อนาที โดยทั้งสองกราฟจะมีอุณหภูมิของน้ำเท่ากันคือ 15 องศาเซลเซียส จากกราฟดังกล่าว จะเห็นได้ว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 43 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

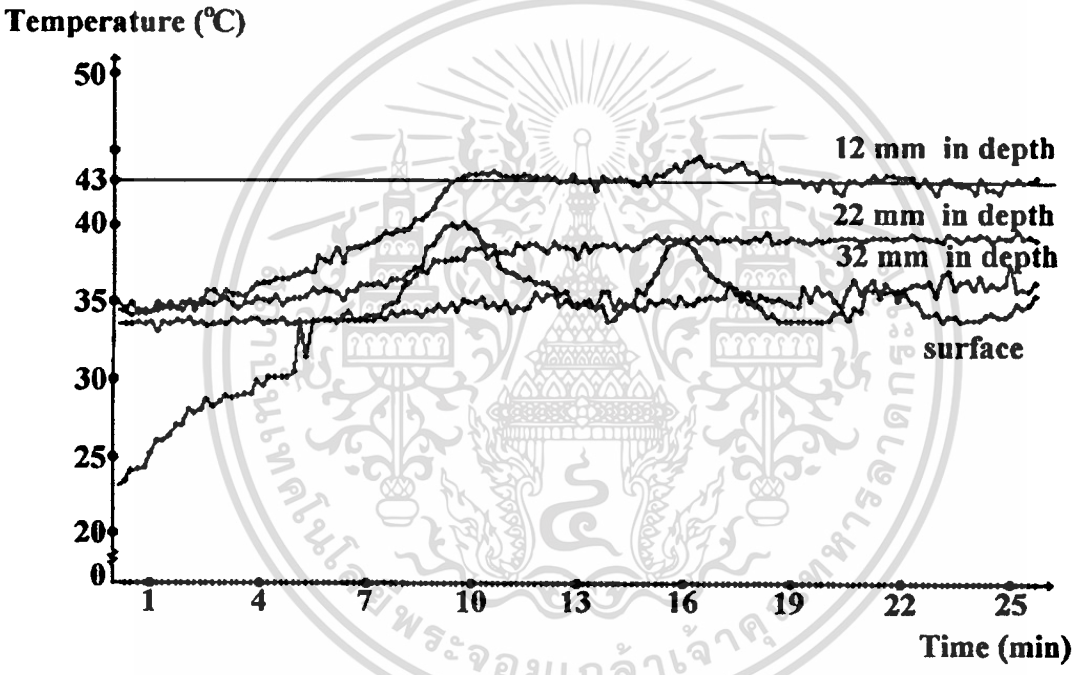
เซลเซียสได้เป็นอย่างดี โดยที่อุณหภูมิบริเวณผิวในภาพที่ 41 จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าในภาพที่ 40 เนื่องจากมีอัตราการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อนสูงกว่า โดยที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากัน

ภาพที่ 39

แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล สายอากาศปล่อยคลื่นและถุงน้ำระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

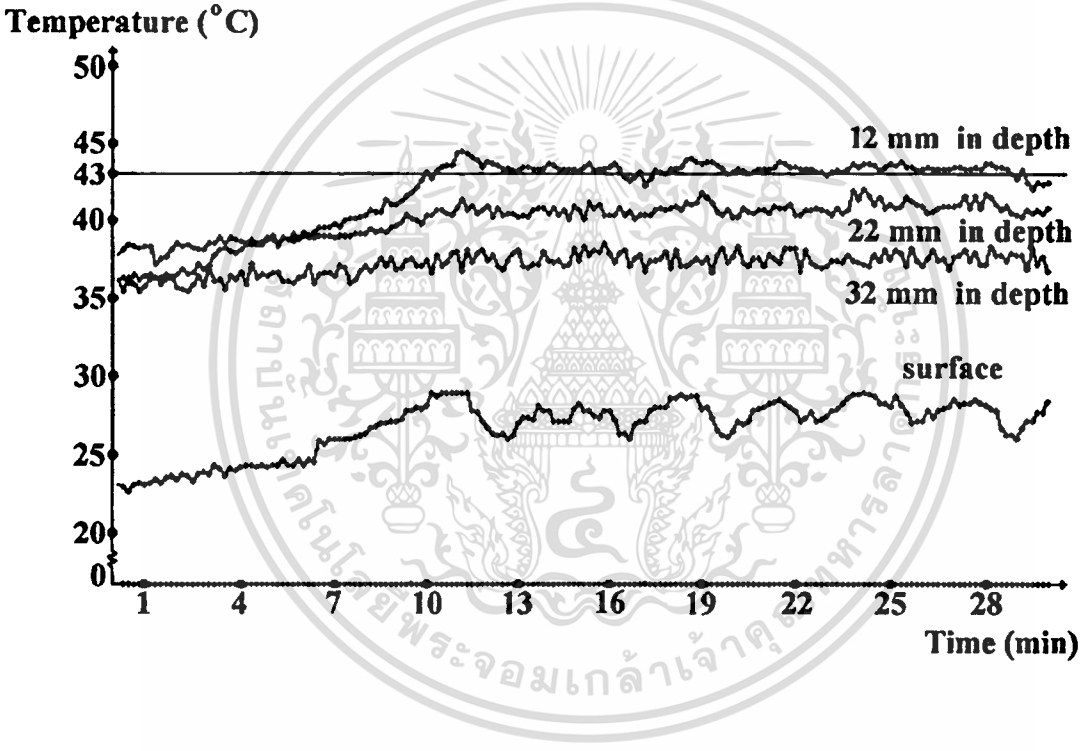
ภาพที่ 40



แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 12 มิลลิเมตร โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 1.2 ลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

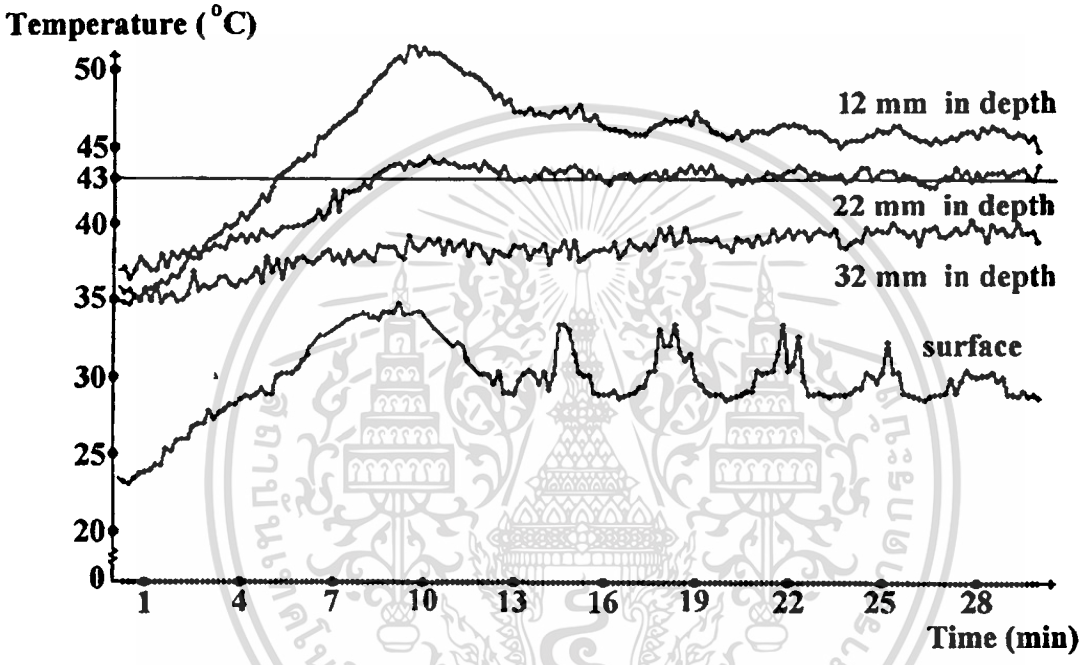
ภาพที่ 41



แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 12 มิลลิเมตร
โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 2.3 ลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

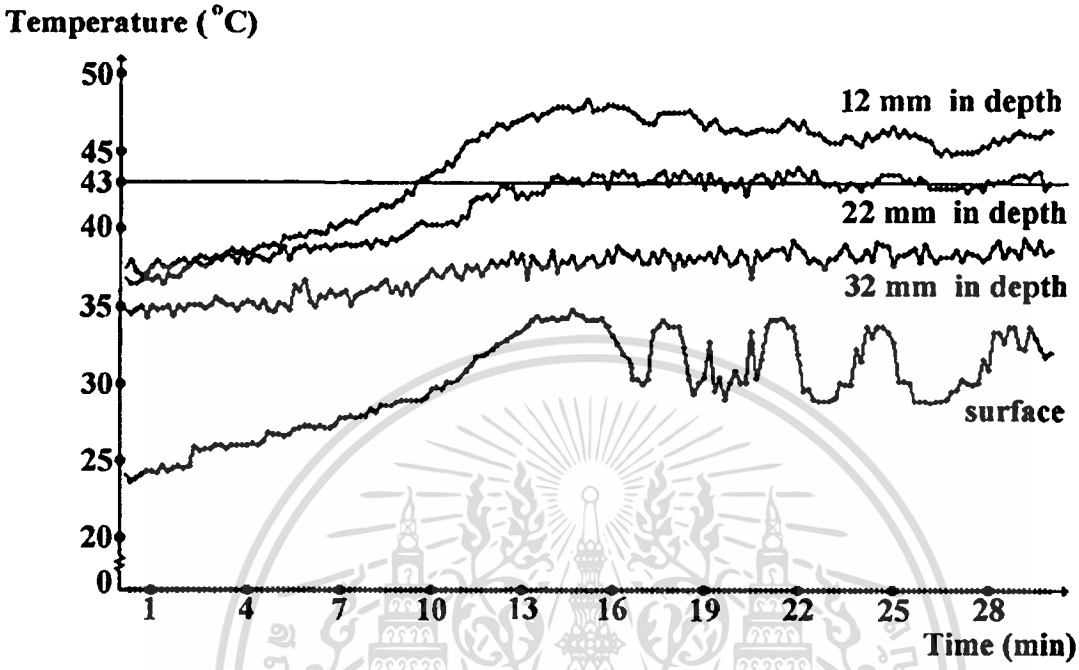
ภาพที่ 42



แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 22 มิลลิเมตร
โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 1.2 ลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 43



แสดงผลการทดลองเมื่อระบบทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึก 22 มิลลิเมตร
โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 2.3 ลิตร/นาที

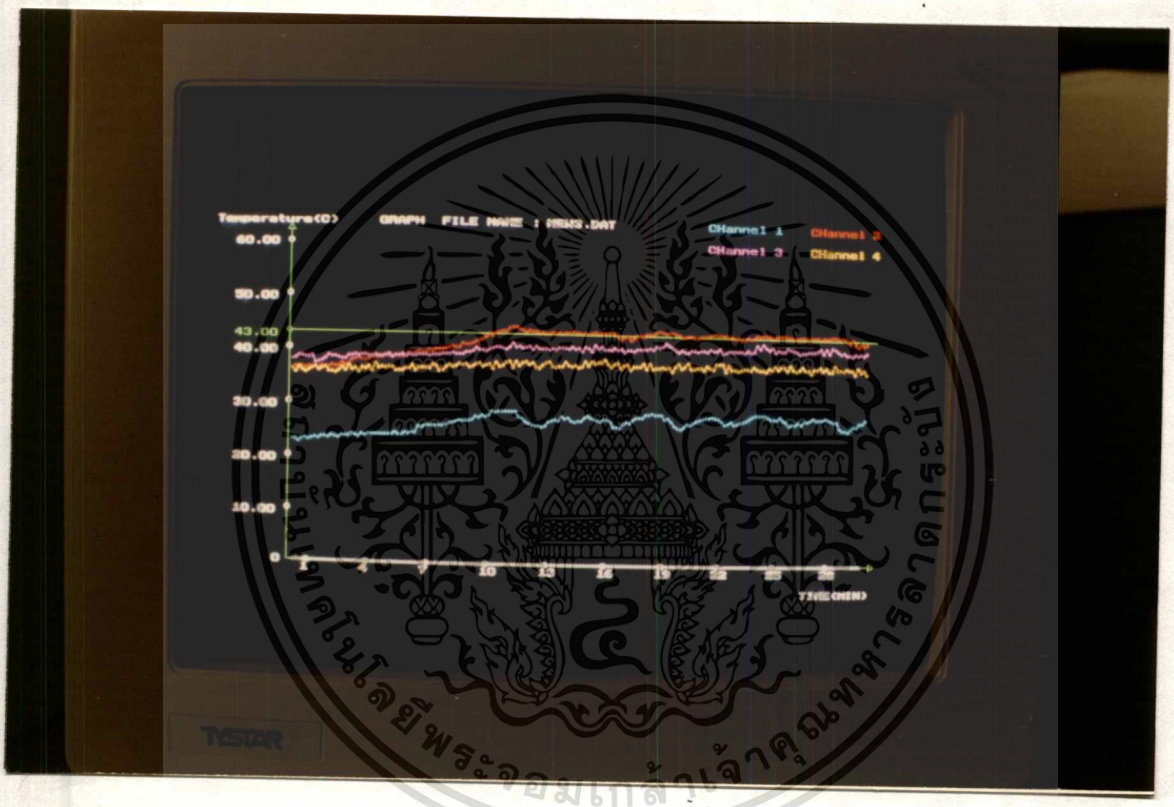
กราฟในภาพที่ 42 และ 43 จะทำการควบคุมอุณหภูมิที่ความลึกเท่ากันคือที่ความลึก 22 มิลลิเมตรจากผิว โดยที่อัตราการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อนจะแตกต่างกัน ซึ่งในภาพที่ 42 จะมีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 1.2 ลิตรต่อนาที ส่วนในภาพที่ 43 จะมีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 2.3 ลิตรต่อนาที โดยทั้งสองกราฟจะมีอุณหภูมิของน้ำเท่ากันคือ 17 องศาเซลเซียส จากกราฟภาพที่ 42 และ 43 จะเห็นได้ว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียสที่ความลึก 22 มิลลิเมตรได้เป็นอย่างดี แต่จากกราฟทั้งสองจะเห็นได้ว่าที่ความลึก 12 มิลลิเมตรจากผิวยังมีอุณหภูมิสูง เมื่อเปรียบเทียบกราฟแล้วจะเห็นได้ว่า กราฟในภาพที่ 43 จะมีอุณหภูมิที่ความลึก 12 มิลลิเมตรต่ำกว่ากราฟในภาพที่ 42 เนื่องจากมีอัตราการไหลของน้ำสูงกว่านั่นเอง โดยที่อุณหภูมิของน้ำมีค่าเท่ากัน

จากภาพที่ 40 41 42 และ 43 จะสามารถสรุปได้ว่า ระบบสามารถทำการควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการได้เป็นอย่างดี ในส่วนของอุณหภูมิบริเวณผิวและอุณหภูมิในส่วนที่ใกล้ๆกับผิวก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงมาได้ โดยการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำหรือลดอุณหภูมิของน้ำลง หรือทั้งเพิ่มอัตราการไหลและลดอุณหภูมิของน้ำลงในระบบระบายความร้อน ภาพที่ 44 แสดงการแสดงผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ในการใช้งานระบบ

ภาพที่ 44



แสดงการแสดงผลของเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 สรุป

จากการทดลองในส่วนต่างๆของระบบเราจะพบว่า รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นหรือความร้อนของสายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลม จะเป็นการรวมกันของสนามไฟฟ้าที่บริเวณจุดโฟกัสของสายอากาศปล่อยคลื่น ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสูงที่บริเวณจุดโฟกัสของสายอากาศปล่อยคลื่น และบริเวณร่องของสายอากาศปล่อยคลื่นก็จะมีสนามไฟฟ้าสูง โดยจะทำให้เกิดความร้อนสูงที่บริเวณผิวที่อยู่ใกล้กับร่อง ดังนั้นในการใช้งานสายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลม จึงจำเป็นที่จะต้องมีระบบระบายความร้อนที่บริเวณผิว ในส่วนของการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน เราพบว่าเราสามารถควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอน เราก็จะสามารถควบคุมการปล่อยคลื่นไมโครเวฟจากหลอดแมกนีตรอนให้มากหรือน้อยได้ตามที่ต้องการ และในการทดสอบระบบก็จะเห็นได้ว่า ระบบสามารถควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้ตามที่ต้องการ ซึ่งผลก็คือระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้ตามที่ต้องการ ในส่วนของการวัดอุณหภูมิของระบบ เราพบว่าระบบสามารถวัดอุณหภูมิได้อย่างถูกต้อง เมื่อทำการวัดอุณหภูมิเทียบกับปรอท ในส่วนของการทำงานในสภาพที่ใช้จริงของระบบ จะเห็นได้ว่า ระบบสามารถทำการเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิในสารเนื้อเทียมได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์

การใช้ความร้อนในการรักษาโรคได้มีการใช้มาเป็นเวลานานแล้ว และเมื่อไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาก็ได้มีความสนใจและตื่นตัวกันมากในการนำเอาความร้อนมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง โดยการใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นวิธีการรักษาโรคมะเร็งโดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในร่างกายบริเวณเซลมะเร็ง เพื่อทำให้อุณหภูมิบริเวณเซลมะเร็งสูงขึ้นอยู่ในระดับ 41-46 องศาเซลเซียสแล้วทำการรักษาระดับของอุณหภูมินี้ให้คงที่อยู่ตลอดช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อนนี้จะนำมาช่วยเสริมให้การรักษาโรคมะเร็งด้วยวิธีการอื่นได้แก่ การรักษาทางรังสีหรือการรักษาทางเคมีให้มีประสิทธิภาพในการรักษาสูงขึ้นจากเดิม 20% จะสูงขึ้นไปถึง 70% โดยกลไกสำคัญของการเกิดความร้อนเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟก็คือการเกิดโพลาไรซ์ในวัสดุที่ให้ความร้อน ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทต้นๆ สำหรับการเลือกใช้งานความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะขึ้นอยู่กับลักษณะขนาดและตำแหน่งของเซลมะเร็ง โดยที่คลื่นความถี่ต่ำสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในร่างกายได้ลึกแต่ไม่สามารถโฟกัสสนามไฟฟ้าให้อยู่ในบริเวณแคบๆได้ ในขณะที่การเลือกใช้งานความถี่สูงๆจะสามารถโฟกัสสนามไฟฟ้าได้ดี แต่จะใช้ได้ในบริเวณตื้นๆเท่านั้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงการศึกษา ออกแบบและสร้างระบบให้ความร้อนสำหรับการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่ควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งระบบจะประกอบไปด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ หลอดแมกนีตรอน สายอากาศปล่อยคลื่น ระบบวัดอุณหภูมิ ระบบระบายความร้อนและโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยระบบนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับสายอากาศปล่อยคลื่นแบบสล็อตอาร์เรย์บนผิวทรงกลมที่ได้พัฒนาที่สถาบันแห่งนี้

ในการทดสอบส่วนต่างๆของระบบ เราได้ทำการทดสอบระบบควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดแมกนีตรอน จะสามารถเปลี่ยนแปลงกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้ตามที่ต้องการและได้ทำการทดลองควบคุมอุณหภูมิ เพื่อตรวจสอบการควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอน ซึ่งผลที่ได้ ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจะได้ว่าระบบสามารถควบคุมกำลังงานของหลอดแมกนีตรอนได้เป็นอย่างดี การทดสอบระบบวัดอุณหภูมิ ระบบวัดอุณหภูมิสามารถแสดงผลของอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่วัดได้จากปรอท โดยมีค่าความผิดพลาดเพียง 2.5% ในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการทดสอบระบบนั้น ได้ทำการทดลองโดยกำหนดให้ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียสที่ความลึกต่างๆกัน ซึ่งผลที่ได้ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ความลึกที่ต้องการได้เป็นอย่างดี โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวสามารถควบคุมได้โดยการใช้ระบบระบายความร้อน

ในการใช้งานจริงระบบให้ความร้อนควรจะมีสายอากาศปล่อยคลื่นหลายชนิดเพื่อใช้กับมะเร็งที่เกิดขึ้นที่มีขนาดและลักษณะที่เกิดขึ้นที่แตกต่าง เช่น สายอากาศปล่อยคลื่นแบบที่ใช้สอดเข้าไปในร่างกาย เพื่อใช้ในการรักษาโรคมะเร็งที่อยู่บริเวณลึกๆ ซึ่งจะเป็นบริเวณที่คลื่นไม่สามารถเดินทางไปถึงได้ หรือระบบสายอากาศปล่อยคลื่นที่มีการให้ความร้อนในบริเวณกว้าง ซึ่งเป็นหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจต่อการศึกษาและวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. A. W. Guy. "History of Biological Effects and Medical Applications of Microwave Energy." **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, vol. MTT-32, No. 9, pp. 1182-1199, September 1984.
2. G. M. Hahn. "Hyperthermia for the Engineer: A Short Biological Primer." **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, vol. BME-31, No. 1, pp. 3-8, January 1984.
3. Monai Krairiksh, T. Wakabayashi and Wiwat Kiranon. "A Spherical Slot Array Applicator for Medical Applications." **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, vol. MTT-43, No. 1, pp. 78-86, January 1995.
4. Monai Krairiksh, T. Wakabayashi and Wiwat. Kiranon. "Characteristic of Microwave Applicator Using Slots on Shpere." **Digest of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering**, Kyoto, pp. 425,1991.
5. Monai Krairiksh. "**Concentric Conducting Spherical Cavity-Backed Slot Array Applicator**." Doctor of Engineering: Thesis. Bangkok: School of Graduate Studies King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 1994.
6. J. Thuery. "**Microwaves: Industrial, Scientific and Medical Applications.**" London: Artech House, 1992.
7. A. C. Metaxas and R. J. Meredith. "**Industrial Microwave Heating.**" London: Peter Peregrinus Ltd., 1983.
8. **พรทิพา พิชา** "Biological Aspects of Hyperthermic Oncology." **มะเร็งวิวัฒน์. ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 (ตุลาคม 2537) : 1-9.**
9. I. B. Choi and others. "Regional Hyperthermia in Combination with Radiation Therapy in Non-Small Cell Lung Cancer." **Proceeding of the 7th International Congress on Hyperthermic Oncology**, Rome, vol. 2, pp. 73-74, April 1996.
10. K. Tsuji, T. Kuroda and M. Sato. "Treatment of Non-Small Cell Lung Cancer by Combination Therapy of Radiation and Hyperthermia." **Proceeding of the 7th International Congress on Hyperthermic Oncology**, Rome, vol. 2, pp. 75-77, April 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ประมุข พรหมรัตนพงษ์ "Clinical Application of Hyperthermia." มะเร็งวิวัฒน์. ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 (ตุลาคม 2537) : 15-23

12. P. Sieg and others. "CARBOPLATIN and IFOSFAMIDE Combined with Local Hyperthermia in Human Oral Squamous Cell Carcinoma Transplanted to Nude Mice." **Proceeding of the 7th International Congress on Hyperthermic Oncology**, Rome, vol. 2, pp. 633-635, April 1996.

13. F. K. Storm. "Clinical Hyperthermia and Chemotherapy." **Radiologic Clinics of North America**, vol. 27, No. 3, pp. 621-627, May 1989.

14. C. C. Johnson and A. W. Guy. "Nonionizing Electromagnetic Wave Effects in Biological Materials and Systems." **Proceeding of the IEEE**, vol. 60, No. 6, June 1972.

15. P. F. Turner. "Regional Hyperthermia with an Annular Phased Array." **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, vol. BME-31, No. 1, pp. 106-114, January 1984.

16. S. Mizushina, Y. Xiang and T. Sugiura. "A Large Waveguide Applicator for Deep Regional Hyperthermia." **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, vol. MTT-34, No. 5, pp. 644-648, May 1986.

17. P. R. Stauffer and others. "Microwave Array Applicator for Superficial Hyperthermia of Large Contoured Surfaces." **Proceeding of the 7th International Congress on Hyperthermic Oncology**, Rome, vol. 2, pp. 467-469, April 1996.

18. M. S. Wu and others. "Analysis of Coaxial-Slot Antenna for Microwave Interstitial Hyperthermia." **Proceeding of APMC'93**, vol. 1, pp. 2-1-2-4, 1993.

19. J. C. Camart and others. "Coaxial Antenna Array for 915 MHz Interstitial Hyperthermia: Design and Modelization-Power Deposition and Heating Pattern-Phased Array." **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, vol. 40, No. 12, pp. 2243-2250, December 1992.

20. J. B. Anderson and others. "A Hyperthermia System Using a New Type of Inductive Applicator." **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, vol. BME-31, No. 1, pp. 21-27, January 1984.

21. Y. Nikawa and others. "A Direct-Contact Microwave Lens Applicator with a Microcomputer-Controlled Heating System for Local Hyperthermia." **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, vol. MTT-34, No. 5, pp. 626-630, May 1986.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. มนตรี ธนภควัต และคนอื่นๆ "ระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟสำหรับงานทางด้านการแพทย์" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 17, สจพ., หน้า 135-139, ธันวาคม 2537.

23. มนตรี ธนภควัต ธีรศิลป์ ชุมวิภาต และโมไนย ไกรฤกษ์ "ระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18, ม.เทคโนโลยีมหานคร, หน้า 328-333, พฤศจิกายน 2538.

24. Montri Thanaphakawat and Monai Krairiksh. "Characteristics of Microwave Hyperthermia System Using Spherical Slot Array Applicator." **Proceeding of The 7th International Congress on Hyperthermic Oncology**, vol. 2, pp. 464-466, April 1996.

25. โมไนย ไกรฤกษ์ และมนตรี ธนภควัต "เครื่องต้นแบบ Microwave Hyperthermia System ที่พัฒนาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" การประชุมวิชาการโรคมะเร็งแห่งชาติ ครั้งที่ 3, หน้า SS 15-2 กรุงเทพ, ตุลาคม 2538.

26. มนตรี ธนภควัต และโมไนย ไกรฤกษ์ "เครื่องรักษามะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ" วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม 2539): 9-14.

27. กิตติศักดิ์ วายุภักตร์. "การวิเคราะห์สายอากาศสล็อตอาร์เรย์บนท่อนำคลื่นที่วางเยื้องกันสำหรับระบบให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ" ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2537.

28. Monai Krairiksh, T. Wakabayashi and Wiwat Kiranon. "Analysis of Temperature Distribution of a Spherical Slot Array Applicator with Water Bolus." **Proceeding of RESTECS'96**, Bangkok, pp. T44-T49, July 1996.

29. W. J. Tompkins and J. G. Webster. **"Interfacing Sensors to the IBM PC."** Singapore Prentice Hall, 1992.

30. โมไนย ไกรฤกษ์ และวิวัฒน์ กิรานนท์ "สายอากาศสล็อตอาร์เรย์ที่ถูกป้อนด้วยคาวิตี้ทรงกลมซ้อนกัน" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 15, สจธ., หน้า 2-39-2-44, ธันวาคม 2535.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความเกี่ยวข้องที่ได้รับการตีพิมพ์

1. มนตรี ธนภควัต และคนอื่นๆ "ระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟสำหรับงานทางด้านการแพทย์" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 17, สจพ., หน้า 135-139, ธันวาคม 2537.
2. มนตรี ธนภควัต ธีรศิลป์ ธุมวิภาต และโมไนย ไกรฤกษ์ "ระบบให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟควบคุมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18, ม.เทคโนโลยีมหานคร, หน้า 328-333, พฤศจิกายน 2538.
3. Montri Thanaphakawat and Monai Krairiksh. "Characteristics of Microwave Hyperthermia System Using Spherical Slot Array Applicator." **Proceeding of The 7th International Congress on Hyperthermic Oncology**, vol. 2, pp. 464-466, April 1996.
4. โมไนย ไกรฤกษ์ และมนตรี ธนภควัต "เครื่องต้นแบบ Microwave Hyperthermia System ที่พัฒนาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" การประชุมวิชาการโรคมะเร็งแห่งชาติ ครั้งที่ 3, หน้า SS 15-2 กรุงเทพ, ตุลาคม 2538.
5. มนตรี ธนภควัต และโมไนย ไกรฤกษ์ "เครื่องรักษามะเร็งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ" วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม 2539): 9-14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สารเนื้อเทียม (Agar Phantom)

ส่วนประกอบ

สารเนื้อเทียมขนาด 1 ลิตร ประกอบด้วย

1. น้ำกลั่น	956.6	ซีซี
2. Agar Powder	40	กรัม
3. NaCl	2.4	กรัม
4. NaN_3	1	กรัม

ขั้นตอนในการทำ

1. ต้มน้ำกลั่นให้มีอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส แล้วเติม NaCl คนให้ละลาย รักษาอุณหภูมิ ให้อยู่ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส

2. เติม NaN_3 ลงไป คนให้ละลาย รักษาอุณหภูมิให้คงที่

3. ค่อยๆเติม Agar Powder ลงไปทีละน้อย คนให้ทั่วอย่าทำให้เกิดฟองอากาศ ระวังอย่าให้จับกันเป็นก้อน หรือเกิดฟอง คนให้ละลายตลอดเวลา

4. เติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้สารละลายขนาด 1 ลิตร เพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 95 องศาเซลเซียส

5. ทำความสะอาดภาชนะด้วยน้ำกลั่น เทสารละลายที่ได้ลงไปในภาชนะที่เตรียมไว้ เก็บไว้ 1-2 วันแล้วจึงนำมาใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรม

```
Program Hyperthermia;
uses keyboard,crt,win,scr,dos,graph ;
CONST   maxchoice  = 15 ;
        maxmenu    = 4 ;

TYPE  FTYPE     = FILE OF REAL ;
var   path                                  : string ;
      Dirinfo                               : SearchRec ;
      fi                                    : FTYPE ;
      filekeep                              : string[12] ;
      Tkeepdata,Timed                       : real ;
      data1,data2,data3,data4               : real ;
      data11,data22,data33,data44           : real ;
      temp1,temp2,temp3,temp4,contemp : real
      str11,chaname                         : string ;
      str1,chname1                          : string ;

Procedure PullDownMenu;
  type  str6  = string[6];
        str80 = string[80];
        structuremenu = record
        win          : array[1..4] of byte;
        col          : array[0..maxchoice] of byte;
        row          : array[0..maxchoice] of byte;
        msg          : array[0..maxchoice] of str80;
        lastchoice : byte;
       end;

      strucmenu = array[1..maxmenu] of structuremenu;

      functionmenu = record
        col   : array[1..10] of byte;
        row   : array[1..10] of byte;
        msg : array[1..10] of str6;
       end;

  const menu : strucmenu =(
            (win :(03,06,17,12);
            col :(03,02,02,02,02,02,02,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
            row :(04,01,02,03,04,05,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
            msg :(' File ',
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ' Load ',
            ' Keep Data ',
            ' Dir ',
            ' ChDir ',
            ' Exit ',
            "","","","","",
            ',',',',',',',
            ",","","");
        lastchoice : 5),

        (win :(19,06,35,08);
        col :(19,02,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
        row :(04,01,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
        msg :(' Stepping'       ,
            ' Control Volt',
            "","",
            ',',',
            "","","","","","",
            ',',',',',',',
            ",","","");
        lastchoice : 1),

        (win :(39,06,50,08);
        col :(39,02,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
        row :(04,01,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
        msg :(' Display '       ,
            ' Graph ',
            "","
            ',',
            "","","","
            ',',',',
            "","","","
            ',',',',
            ",","","");
        lastchoice : 1),

        (win :(57,06,79,11);
        col :(57,02,02,02,02,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
        row :(04,01,02,03,04,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00,00);
        msg :(' Help ',
            ' Time To Keep Data',
            ' Time',
            ' Graph',
            ' About Program ',
            "","","","","","","",
            ',',',',',',',',
            ",","","");
        lastchoice : 4)
        );

const choicemenu : array[1..maxmenu] of 1..maxchoice = (1,1,1,1);
    statusmenu : 1..maxmenu = 1;
    finish     : boolean = false;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    var key       : char;

procedure headreport;
 var   i : byte ;
 begin
     textcolor(11);gotoxy(1,1) ; write('┌') ;
     for i := 1 to 78 do write('─') ;
     write('┐') ;
     gotoxy(1,2) ; write('│') ;
     gotoxy(26,2) ; write('Radiation Laboratory : KMITL') ;
     gotoxy(80,2) ; write('│') ;
     gotoxy(1,3) ; write('├') ;
     gotoxy(2,3) ;
     for i := 1 to 78 do write('─') ;
     gotoxy(80,3) ; write('┤') ;
     gotoxy(1,4) ; write('│') ;
     gotoxy(80,4) ; write('│') ;
 end;

procedure box;
 var i : byte ;
 begin
     gotoxy(1,5) ; write('├') ;
     for i := 1 to 79 do write('─');
     gotoxy(80,5) ; write('┤') ;
     for i := 6 to 23 do
     begin
         gotoxy(1,i) ; write('│') ;
         gotoxy(80,i) ; write('│') ;
     end ;
     write('└') ;
     for i := 1 to 78 do write('─') ;
     write('┘') ;
 end ;

Procedure displaymainmenu;
    var i : byte;
    begin
     window(1,1,80,25);
     setattr(lowdisplay);
     headreport;
     for i := 1 to maxmenu do
       with menu[i] do
         begin
           gotoxy(col[0],row[0]);
           write(msg[0]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        end;
        writeln;
        box ;
    end;

procedure choiceactive(old,new:byte);
  begin
    with menu[statusmenu] do
      begin
        setattr(lowdisplay);
        gotoxy(col[old],row[old]);
        textcolor(14);write(msg[old]);
        setattr(reverselow);
        gotoxy(col[new],row[new]);
        textcolor(9);write(msg[new]);
      end;
  end;

procedure menuactive(new:byte);
  var i :byte;
  begin
    displaymainmenu;
    setattr(reverselow);
    with menu[new] do
    begin
      gotoxy(col[0],row[0]);
      textcolor(9);write(msg[0]);
      setwinattr(lowdisplay);
      setboxattr(lowdisplay);
      setcharattr(lowdisplay);
      setboxstyle(single);
      setwinheader('');
      windowopen(win[1],win[2],win[3],win[4]);
      for i := 1 to lastchoice do
        begin
          gotoxy(col[i],row[i]);
          textcolor(14);write(msg[i]);
        end;
    end;
    choiceactive(1,choicemenu[new]);
  end;

procedure moveup;
  var currentchoice : byte;
  begin
    currentchoice := choicemenu[statusmenu];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if currentchoice = 1 then
      choicemenu[statusmenu] := menu[statusmenu].lastchoice
     else
      choicemenu[statusmenu] := currentchoice-1;
    choiceactive(currentchoice,choicemenu[statusmenu]);
  end;

procedure movedown;
  var currentchoice : byte;
  begin
    currentchoice := choicemenu[statusmenu];
    if currentchoice = menu[statusmenu].lastchoice then
       choicemenu[statusmenu]:= 1
     else
      choicemenu[statusmenu] := currentchoice+1;
    choiceactive(currentchoice,choicemenu[statusmenu]);
  end;

procedure moveforward;
  begin
    windowclose;
    if statusmenu+1 > maxmenu then
      statusmenu := 1
    else
      statusmenu := statusmenu+1;
      menuactive(statusmenu);
  end;

procedure moveback;
  begin
    windowclose;
    if statusmenu = 1 then
      statusmenu := maxmenu
     else
      statusmenu := statusmenu-1;
      menuactive(statusmenu);
  end;

procedure movetofirstchoice;
  begin
    choiceactive(choicemenu[statusmenu],1);
    choicemenu[statusmenu] := 1;
  end;

procedure movetolastchoice;
  begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    with menu[statusmenu] do
      begin
        choiceactive(choicemenu[statusmenu],lastchoice);
        choicemenu[statusmenu] := lastchoice;
      end;
  end;

procedure movetofirstmenu;
  begin
    windowclose;
    statusmenu := 1 ;
    menuactive(1);
  end;

procedure movetolastmenu;
  begin
    windowclose;
    statusmenu := maxmenu ;
    menuactive(maxmenu);
  end;

function Made(var ficheck : FTYPE) : Boolean ;
  begin
      {$I-} Reset(ficheck) ; {$I+}
      Made := (IOresult = 0) ;
  end;
procedure getname(var str11,chname:string) ;
var       w,n,mark : integer ;
begin
       SetWinAttr(Reverselow) ;
       SetBoxAttr(Reverselow) ;
       SetCharAttr(Reverselow) ;
       SetBoxStyle(Single) ;
       WindowOpen(10,9,65,11) ;
       CursorOn ; w := 21 ; n := 1 ; mark := 0 ;
       str11 := '' ;
       gotoxy(3,1) ;textcolor(4);
       write('ENTER FILE NAME : ') ;
       Repeat
           textcolor(4);ReadFuncKey(chname[n]) ;
           case chname[n] of
              #13 : mark := 1 ;
              #27 : mark := 1 ;
            #75,#8 : begin
                       if n > 1 then
                         begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    dec(n) ;
                    gotoxy(w+n-1,1) ;
                    write(' ') ;
                    gotoxy(w+n-1,1) ;
                    delete(str11,length(str11),1) ;
                   end ;
              end ;
          else
              begin
                  gotoxy(w+n-1,1) ;
                  write(chname[n]) ;
                  str11 := str11 + Upcase(chname[n]) ;
                  n := n + 1 ;
              end ;
           end ;
    Until (chname = #13) or (chname = #27) or (mark = 1) ;
 end;

procedure Loaddata ;
 var   tkeepdata,timed,timesent,data,check : real ;
     i,x,y,z,a,b,c,d,e,f,g,k,l,j,w,q,s,n,mark : integer ;
     ch          : char ;
     chname : string ;
    :temper,YYsav : real ;
 begin
     getname(str1,chname1) ;
     if chname = #27 then
       begin
         WindowClose ;
         CursorOff ;
       end
     else
     begin
         filekeep := str1 + '.DAT' ;
         CursorOff ;
         WindowClose ;
         Assign(fi,filekeep) ;
         { * check error for file name * }
         i := 0 ;
         if Made(fi) then
           begin
             if i = 0 then
               begin
                   Read(fi,Tkeepdata) ;
                   Read(fi,Timed) ;
                   Read(fi,temper) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            { * first data * }
            Read(fi,data1) ; Read(fi,data2) ;
            Read(fi,data3) ; Read(fi,data4) ;
            check := Tkeepdata/Timed ;
    y := 0 ; z := 2 ; a := 1 ; b := 75 ; c := 75 ;
    d := 1 ; e := 6 ; f := 14 ; g := 25 ; q := 1 ;
            if check > 8 then
                WindowOpen(2,6,79,22)
            else
              begin
                 WindowOpen(20,6,60,22) ;
              y := 1 ; z := 4 ; a := 1 ; b := 37 ;
              c := 37 ; d := 2 ; e := 6 ; f := 14 ; g := 3 ;
                 end ;
       if y = 1 then q := 3 ;textcolor(9);
       gotoxy(q,1) ; write('FILE NAME : ',filekeep,'  ') ;
       if y = 1 then gotoxy(3,2) ;
       write('TIME TO KEEP DATA (SEC) : ',tkeepdata:3:2,'  ') ;
       if y = 1 then gotoxy(3,3) ;
       write('TIME (SEC) : ',timed:3:2) ;
       textcolor(14);
       gotoxy(a,z) ; for i:= 1 to b do write('Ä') ;
       z := z + 1 ;
       gotoxy(a,z);textcolor(9); write(' NO.');
       gotoxy(a+5,z);textcolor(10);write('TIME');
       gotoxy(a+13,z);textcolor(11);write('CH1');
       gotoxy(a+20,z);textcolor(12);write('CH2');
       gotoxy(a+27,z);textcolor(13);write('CH3');
       gotoxy(a+33,z);textcolor(14);write('CH4');
       z := z + 1 ;
       gotoxy(a,z) ; for i:= 1 to c do write('Ä') ;
       if check > 8 then
         begin
           for i := 3 to 14 do
             begin
               gotoxy(40,i) ; write('³') ;
             end ;
         end ;
    end ;
    if check > 8 then x := 4 Else x := 6 ;
     l := 20 ;
     k := 11 ;
     timesent := 0 ;
     j := 1 ; i := 0 ; s := 0 ;
     while (NOT EOF(fi))  do
       begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        i := i + 1 ;
        x := x + 1 ;
        if i = k then
        begin
    x := 5 ; d := 41 ; e := 45 ; f := 52 ; k := k + 20 ;
        end ;
        if i = 11 then
          begin
            gotoxy(41,3);textcolor(9);write(' NO.');
            gotoxy(46,3);textcolor(10);write('TIME');
            gotoxy(53,3);textcolor(11);write('CH1');
            gotoxy(60,3);textcolor(12);write('CH2');
            gotoxy(66,3);textcolor(13);write('CH3');
            gotoxy(72,3);textcolor(14);write('CH4');
          end ;
        Read(fi,data1) ;Read(fi,data2) ;
        Read(fi,data3) ;Read(fi,data4) ;
        timesent := timesent + timed ;
        if timesent <= tkeepdata then
         begin
          textcolor(9);gotoxy(d,x) ; write(i) ;
          textcolor(10);
          gotoxy(e,x); write(timesent:3:2) ;
         gotoxy(f,x);textcolor(11);write(data1:3:2) ;
         gotoxy(f+7,x);textcolor(12);write(data2:3:2) ;
         gotoxy(f+13,x);textcolor(13);write(data3:3:2) ;
         gotoxy(f+19,x);textcolor(14);write(data4:3:2) ;
          sound(1500) ; delay(15) ; nosound ;
         end
         else
           begin
             while Not Eof(fi) do
               Read(fi,data) ;
               i := i - 1 ;
           end ;
       if i = 1 then
         begin
          gotoxy(25,15) ; textcolor(4);
          write('### PRESS ANY KEY TO CONTINUE ###') ;
          ch := readkey ;
           x := 4 ; d := 1 ; e := 6 ; f := 14 ;
           g := 25 ; l := l + 20 ;
         end ;
end ;
gotoxy(g,15) ;textcolor(4);
write('### PRESS ANYKEY TO CONTINUE ###') ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ch := readkey ;
            close(fi) ;
            WindowClose ;
        end
        else
          begin
            WindowOpen(20,10,65,14) ;
        gotoxy(11,1) ; textcolor(4);write('!!! ERROR FOR FILENAME !!!') ;
            gotoxy(8,2) ;  write('FILE NOT FOUND : ',filekeep) ;
            gotoxy(6,3) ;
            write('### PRESS ANYKEY TO CONTINUE  ###') ;
            ch := readkey ;
            WindowClose ;
          end;
    end;
  end ;
procedure powerup ;
  Const p = $378 ;
      del = 10 ;
begin
     Port[p] := 9 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
     Port[p] := 12 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
     Port[p] := 6 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
     Port[p] := 3 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
end;
procedure powerdown ;
  Const p = $378 ;
     del = 10 ;
  begin
     Port[p] := 3 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
     Port[p] := 6 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
     Port[p] := 12 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
     Port[p] := 9 ; delay(del) ; Port[p] := 0 ;
end;

procedure getdata;
var   loop : integer ;
begin
   data11 := 0 ; data22 := 0 ; data33 := 0 ; data44 := 0 ;
   temp1 := 0 ; temp2 := 0 ; temp3 := 0 ; temp4 := 0 ;
            for  loop := 1 to 14 do
              begin
     {channal 1}    PORT[768]:=0; data1 := PORT[768]; delay(2) ;
     {channal 2}    PORT[769]:=0; data4 := PORT[769]; delay(2) ;
     {channal 3}    PORT[770]:=0; data3 := PORT[770]; delay(2) ;
     {channal 4}    PORT[771]:=0; data2 := PORT[771]; delay(2) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if loop > 4 then
            begin
              data11 := data11 + data1 ;
              data22 := data22 + data2 ;
              data33 := data33 + data3 ;
              data44 := data44 + data4 ;
            end;
           end;
           data11 := data11/10 ; data11 := data11 + 1.8 ;
           data22 := data22/10 ;
           data33 := data33/10 ;
           data44 := data44/10 ;
           temp1 := data11;
           temp2 := data22;
           temp3 := data33;
           temp4 := data44;
              {Show data}
     if data11>=76.1 then temp1:=(0.625*data11)-8.005625
      else  if data11>=69.2 then temp1:=(0.724637681*data11)-14.43904492750
        else  if data11>=60.3 then temp1:=(0.56179752*data11)-4.676404494
          else  if data11>=52.5 then temp1:=(0.641025641*data11)-7.9384615
           else  if data11>=44.5 then temp1:=(0.625*data11)-7.0125;
      if data22>=75.0 then temp2:=(0.574712643*data22)-3.103448276
         else  if data22>=67.3 then temp2:=(0.649350649*data22)-8.07012987
          else  if data22>=59.6 then temp2:=(0.649350649*data22)-9.55990012987
           else  if data22>=50.6 then temp2:=(0.555555555*data22)-
2.31111111111
             else  if data22>=42.5 then temp2:=(0.61728395*data22)-5.45679;
       if data33>=77.5 then temp3:=(0.632911392*data33)-8.95063291
         else  if data33>=69.7 then temp3:=(0.641025641*data33)-9.47948718
          else  if data33>=64.0 then temp3:=(0.877192982*data33)-24.4035088
           else  if data33>=53.3 then temp3:=(0.567289719*data33)-3.9906542056
            else  if data33>=46.6 then temp3:=(0.746268656*data33)-14.2537313;
       if data44>=78.6 then temp4:=(0.61728395*data44)-8.92901851852
         else  if data44>=70.5 then temp4:=(0.617283954*data44)-7.551858152
          else  if data44>=64.6 then temp4:=(0.847457627*data44)-23.0974576271
           else  if data44>=53.4 then temp4:=(0.546428571*data33)-
2.83839285714
            else  if data44>=46.2 then temp4:=(0.694444444*data33)-11.0333333;
end;

procedure controltemp;
 begin
    if chan = 1 then contemp := temp1
    else if chan = 2 then contemp := temp2
    else if chan = 3 then contemp := temp3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else if chan = 4 then contemp := temp4
end;

procedure Keepdata ;
 Const    gmode = 2 ;
          gdriver = 9 ;
 Type  datai = Array[1..8] of integer ;
 var   tkeepdata,timed,timesent,data,check,time,numdata,dataset : real ;
       i,x,y,z,a,b,c,d,e,f,g,k,l,p,r,w,h,u,q,jj,Tdataset   : integer ;
       ch,ans,chfilename,disp                : char ;
       hour,min,sec,fe : Word ;
       checkse,checksec,num,n,mark,stopcheck : integer ;
       chname,str1 : string ;
       grmode,grdriver,truSumX,checkdata : integer ;
       sumtimed,xa : real ;
       rangdata,rangtime,sumX,checkrangT,sumcheckrangT,rangT : real ;
       st,stc,outtemp1,outtemp2,outtemp3,outtemp4,outtemp,outnum : string;
       outtemp44,tempcon : string;
       savkep : datai ;
       data1,data2,data3,data4,y1,y2,y3,y4,gracon,mintime,minrang : real ;
       truY1,truY2,truY3,truY4,trugracon : integer ;
       temper,temp,temppe : real ;
       chan,ii,loop,timecon,tottim,chgra,YY,flag,vartune : integer ;
       Tmintime,Tminrang,showtime,nnn,distx : integer ;
 begin
       timecon := 15 ; tottim := timecon ; flag := 1 ;
       getname(str1,chname) ;
       if chname = #27 then
         begin
           WindowClose ; CursorOff ;
         end
       else
       begin
       filekeep := str1 + '.DAT' ;
       WindowClose ;
       path := '*.dat' ;
       { * check filename * }
       r := 0 ; h := 1 ;
       Findfirst(path,Anyfile,Dirinfo) ;
       While DosError = 0 do
          begin
              if h = 1 then
                begin
                  if filekeep = Dirinfo.name then
                     begin
                       WindowOpen(10,10,60,12) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      REPEAT
              gotoxy(3,1) ;textcolor(4);
      write('OVER WRITE(Over/Cancle) ','" ',filekeep,' "',' : ') ;
              readln(ans) ;
      UNTIL (ans = 'c') or (ans = 'C') or (ans='o') or (ans='O') ;
              CursorOff ;
              WindowClose ;
              if (ans = 'c') or (ans = 'C') then
                 r := 1 ;
            end ;
            h := h + 1 ;
        end
       else
        begin
            FindNext(Dirinfo) ;
            if DosError = 0 then
            begin
            if filekeep = Dirinfo.name then
             begin
                 WindowOpen(10,10,60,12) ;
     REPEAT
                 gotoxy(3,1) ; textcolor(4);
      write('OVER WRITE(Over/Cancle) ','" ',filekeep,' "',' : ') ;
              textcolor(4); readln(ans) ;
     UNTIL (ans = 'o') or (ans = 'O') or (ans='c') or (ans='C') ;
                 CursorOff ;
                 WindowClose ;
                 if (ans = 'c') or (ans = 'C') then
                  r := 1 ;
              end ;
             end ;
          end ;
    end ;
 if r = 0 then
   begin
     CursorOn ;
     WindowOpen(10,9,65,11) ;
  REPEAT
     gotoxy(3,1) ;textcolor(4);
     write('DISPLAY DATA BY TABLE OR GRAPH (T/G) : ') ;
     textcolor(4);readln(disp) ;
  UNTIL (disp = 't') or (disp = 'T') or (disp = 'g') or(disp = 'G') ;
     WindowClose ;
     WindowOpen(10,9,60,14) ;
  REPEAT
     gotoxy(3,1) ; textcolor(4) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    write('ENTER TIME TO KEEP DATA (SEC)     : ') ;
    readln(tkeepdata) ;
    gotoxy(3,2) ;
    write('ENTER TIME (SEC)                  : ') ;
    readln(timed) ;
    write('  ENTER TEMPERATURE (C) (TEM < 60 C) : ') ;
   readln(temper) ;
    write('  ENTER CHANNEL FOR CONTROL (1-4)    : ') ;
    readln(chan) ;
    if (tkeepdata <= 1) or (timed <= 1) then
      begin
          CursorOff ;
          gotoxy(3,3) ;
       write('!!! TIME TO KEEP DATA  AND  TIME > 1 SEC !!!') ;
          ch := Readkey ;
          clrscr ;
          CursorOn ;
      end ;
UNTIL (tkeepdata > 1) and (timed > 1) ;
    WindowClose ;
    CursorOff ;
    { * check error for time * }
    if timed > tkeepdata then
      begin
        WindowOpen(20,10,65,14) ;
        textcolor(4);
        gotoxy(11,1) ; write('!!! ERROR FOR TIME !!!') ;
        gotoxy(3,2) ;
        write('TIME TO KEEP DATA  TO MORE OR EQUEA TIME') ;
        gotoxy(6,3) ;
        write('### PRESS ANY KEY TO CONTINUE  ###') ;
        ch := readkey ;
        WindowClose ;
      end
      { * o.k. to keep data * }
    else
      begin
      if (disp = 't') or (disp = 'T') then
      begin
        { * check data for table * }
        check := tkeepdata/timed ;
        y := 0 ; z := 2 ; a := 2 ; b := 73 ; c := 73 ;
        d := 1 ; e := 6 ; f := 14 ; g := 25 ; q := 1 ;
        stopcheck := 27 ;
        if check > 8 then
          WindowOpen(2,6,79,22)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        else
          begin
            WindowOpen(20,6,60,22) ;
            y := 1 ; z := 4 ; a := 2; b := 35 ; c := 35 ;
            d := 2 ; e := 6 ; f := 14 ; g := 3 ;
            stopcheck := 5 ;
          end ;
    if y = 1 then q := 3 ;
    textcolor(9);
    gotoxy(q,1) ; write('FILE NAME : ',filekeep,' ') ;
    if y = 1 then gotoxy(3,2) ;
    write('TIME TO KEEP DATA (SEC) : ',tkeepdata:3:2,' ') ;
    if y = 1 then gotoxy(3,3) ;
    write('TIME (SEC) : ',timed:3:2) ;
    textcolor(14);
    gotoxy(a,z) ; for i:= 1 to b do write('Ä') ;
    z := z + 1 ;
    gotoxy(a,z);textcolor(9);write('NO.');
    gotoxy(a+4,z);textcolor(10);write('TIME');
    gotoxy(a+12,z);textcolor(11);write('CH1');
    gotoxy(a+19,z);textcolor(12);write('CH2');
    gotoxy(a+25,z);textcolor(15);write('CH3');
    gotoxy(a+31,z);textcolor(14);write('CH4');
    z := z + 1 ;
    gotoxy(a,z) ; for i:= 1 to c do write('Ä') ;
    textcolor(4);
    gotoxy(stopcheck,15) ; write('*** PRESS ANY KEY TO STOP ***') ;
    if check > 8 then
    begin
      for i := 3 to 14 do
      begin
        gotoxy(40,i) ; textcolor(14);
        write('³') ;
      end ;
    end ;
    Assign(fi,filekeep) ;
    i := 0 ; timesent := 0 ; l := 11 ; k := 21 ; u := 1 ;
    checksec := 0 ; checkse := 0 ;
    num := 1 ;
    Rewrite(fi) ;
    Repeat
    if i = 0 then
      begin
        write(fi,tkeepdata) ;
        write(fi,timed) ;
        write(fi,temper) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      timesent := timesent + timed ;
    end
  else
    begin
      if i <= 10 then x := i + z ;
      GETTIME(hour,min,sec,fe) ;
      temp1 := 0 ;temp2 := 0 ;temp3 := 0 ;temp4 := 0 ;
      data1 := 0 ;data2 := 0 ;data3 := 0 ;data4 := 0 ;
      data11 := 0 ;data22 := 0 ;data33 := 0 ;data44 := 0 ;
      if u = 1 then
        begin
          checksec := sec ;
          if checksec = 59 then
            checksec := 0
          else
            checksec := checksec + 1 ;
          u := 0 ;
          delay(100) ;
        end
       else
        begin
          if sec = checksec then
            begin
              if checksec = 59 then
                checksec := 0
              else
                checksec := checksec + 1 ;
              checkse := checkse + 1 ;
              if checkse <> timesent then
                delay(100) ;
      {     if checkse = tottim-1 then
              for ii := 1 to 7 do powerdown ;}
            if checkse = tottim then
            begin
              getdata;
      {       if temp2 > temper then powerdown
              else if temp2 < temper then powerup ;}
              tottim := tottim + timecon ;
            {   for ii := 1 to 7 do powerup ;   }
            end;
            {   if checkse = timesent-1 then
                  for ii := 1 to 7 do powerdown ;}
            end ;

            if checkse = timesent then
              begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                textcolor(9);gotoxy(d,x) ; write(i) ;
                textcolor(10);
                gotoxy(e,x) ; write(timesent:3:2) ;
          { keep data }
          getdata;
          textcolor(11) ; gotoxy(f,x) ; write(temp1:3:2) ;
          textcolor(12) ; gotoxy(f+7,x) ; write(temp2:3:2) ;
          textcolor(15) ; gotoxy(f+13,x) ; write(temp3:3:2) ;
          textcolor(14) ; gotoxy(f+19,x) ; write(temp4:3:2) ;
          write(fi,temp1) ; write(fi,temp2) ;
          write(fi,temp3) ; write(fi,temp4) ;
                sound(1500);
                delay(10) ;nosound;
                i := i + 1 ;
                timesent := timesent + timed ;
                num := 1 ;
                if i > 11 then x := x + 1 ;
              {   for ii := 1 to 7 do powerup ;}
              end ;
        end ;
    end ;
  if i = 0 then i := i + 1 ;
  if i = 1 then
    begin
      gotoxy(41,3);textcolor(9);write('NO.');
      gotoxy(46,3);textcolor(10);write('TIME');
      gotoxy(54,3);textcolor(11);write('CH1');
      gotoxy(60,3);textcolor(12);write('CH2');
      gotoxy(66,3);textcolor(13);write('CH3');
      gotoxy(72,3);textcolor(14);write('CH4');
      d := 41 ;
      e := 45 ;
      f := 52 ;
      x := 5 ;
      l := l + 20
     end ;
  if i = k then
    begin
        x := 5 ;
        a := 4;
        d := 1 ;
        e := 6 ;
        f := 14 ;
        k := k + 20 ;
    end ;
  Until (timesent > tkeepdata) or keypressed ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  Close(fi) ;textcolor(4);
  gotoxy(g,15) ; write('!!! PRESS ANY KEY TO CONTINUE !!!') ;
  ch := readkey ;
  WindowClose ;
  end{disp=t}
else
  begin
      WindowOpen(10,10,40,12) ;
      gotoxy(3,1) ;
      WindowClose ;
      WindowOpen(1,1,80,25) ;
      grmode := gmode ;
      grdriver := gdriver ;
      initgraph(grdriver,grmode,'') ;
      { * creat graph * }
      setcolor(15) ;
    {  Bar3D(0,10,628,480,10,TopOn) ;}
      SetTextStyle(0,0,1) ;
      outtextxy(120,72,'GRAPH FILE NAME: ') ;
      outtextxy(255,72,filekeep) ;
      SetTextStyle(0,0,1) ;
      setcolor(15) ; outtextxy(550,420,'TIME(MIN)') ;
      SetTextStyle(0,0,1) ;
      outtextxy(1,72,'Temperature(C)') ;
      outtextxy(57,392,'0') ;
      outtextxy(20,93,'60.00');
      circle(70,95,2);
      setcolor(10) ;
      line(70,85,70,395) ;
      line(70,395,620,395) ;
      line(70,80,67,85) ;
      line(67,85,73,85) ;
      line(73,85,70,80) ;
      line(625,395,620,392) ;
      line(620,392,620,398) ;
      line(620,398,625,395) ;
      { * file * }
      Assign(fi,filekeep) ;

      Rewrite(fi) ;
      write(fi,tkeepdata) ;
      write(fi,timed) ;
      write(fi,temper) ;

      { * check rangdata and rangtime * }
      rangdata := 300 / 60 ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
rangtime := 540 / (Tkeepdata / Timed) ;
rangtime := rangtime / Timed ;
for jj := 1 to 5 do
 begin
      dataset := jj*10*rangdata ;
      Tdataset := Trunc(dataset) ;
      numdata := jj*10 ;
      setcolor(15);
      str(numdata:2:2,outnum) ;
      outtextxy(20,395-Tdataset,outnum) ;
      circle(70,395-Tdataset,2) ;
  end;
{ * creat graph control * }
gracon := rangdata*temper ;
trugracon := Trunc(gracon) ;
str(temper:2:2,outtemp) ;
setcolor(14) ;
outtextxy(20,395-trugracon,outtemp) ;
circle(70,395-trugracon,2) ;
YY := 395 - trugracon ;
line(70,YY,620,YY) ;
checkdata := 0 ; sumX := 0 ;
timesent := 0 ; sumtimed := 0 ; checksec := 0 ;
checkse := 0 ; u := 1 ;
xa := rangtime * timed ;
timesent := timesent + timed ;
checkrangT := Tkeepdata/ Timed ;
mintime := Tkeepdata/60 ;
Tmintime := Trunc(mintime) ;
minrang := 540/Tmintime ;
Tminrang := Trunc(minrang) ;
showtime := 1 ;
for nnn := 1 to Tmintime do
begin
      distx := nnn * Tminrang ;
    if showtime = nnn then
    begin
      str(nnn,stc) ;
      setcolor(15);
      outtextxy(70+distx-5,399{339},stc) ;
      circle(70+distx,395{335},2) ;
      if mintime > 60 then showtime := showtime + 10
      else if mintime > 30 then showtime := showtime + 5
      else if mintime > 10 then showtime := showtime + 2
      else showtime := showtime + 1 ;
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 end;
 distx := Tmintime * Tminrang ;
 setcolor(15);
 str(Tmintime,stc) ;
 outtextxy(70+distx-5,399{339},stc) ;
 circle(70+distx,395{335},2) ;
checkrangT := TRUNC(checkrangT) ;
sumcheckrangT := checkrangT ;
chgra := 1 ;
  vartune := 3 ;
  getdata;
  controltemp;
  temp:= contemp;
Repeat
   GETTIME(hour,min,sec,fe) ;
   temp1 := 0 ; data1 := 0 ; temp2 := 0 ; data2 := 0 ;
   temp3 := 0 ; data3 := 0 ; temp4 := 0 ; data4 := 0 ;
   data11 := 0 ; data22 := 0 ; data33 := 0 ; data44 := 0 ;
   if u = 1 then
   begin
     checksec := sec ;
     if checksec = 59 then
       checksec := 0
     else
       checksec := checksec + 1 ;
     u := 0 ;
     delay(100) ;
  end
else
  begin
       if sec = checksec then
         begin
            if checksec = 59 then
              checksec := 0
            else
              checksec := checksec + 1 ;
            checkse := checkse + 1 ;
            if checkse <> timesent then
               delay(100) ;
       if checkse = tottim-1 then
          for ii := 1 to 10 do powerdown ;
        if checkse = tottim then
        begin
          getdata;
          controltemp;
          setviewport(350,100,getmaxX,120,true) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                clearviewport ;
                setviewport(0,0,getmaxX,getmaxY,true) ;
                str(contemp:2:2,outtemp44) ; setcolor(13) ;
                outtextxy(460,110,outtemp44) ;
                str(temp:2:2,tempcon) ; setcolor(13) ;
                outtextxy(560,110,tempcon) ;
                if flag = 1 then
                begin
                    temp := temp + 0.5 ;
                    if (temp >= temper) then
                    begin
                        flag := 0 ;
                        timecon := 10 ;
                    end;
                end;
                if contemp > temp then
                 begin
                     if vartune > 1 then
                      begin
                         powerdown ;
                         vartune := vartune-1 ;
                       end;
                  end
                else if contemp < temp then
                    begin
                       if vartune < 5 then
                       begin
                           powerup ;
                           vartune := vartune+1 ;
                        end;
                     end;
                tottim := tottim + timecon ;
                for ii := 1 to 10 do powerup ;
              end;
                  if checkse = timesent-1 then
                    for ii := 1 to 10 do powerdown ;
                end ;
              if checkse = timesent then
                begin
                   setviewport(350,70,getmaxX,90,true) ;
                   clearviewport ;
                   setviewport(0,0,getmaxX,getmaxY,true) ;
{ Type ch 1 } setcolor(11) ; outtextxy(370,72,'Channel 1 : ') ;
{ Type ch 2 } setcolor(12) ; outtextxy(510,72,'Channel 2 : ') ;
{ Type ch 3 } setcolor(13) ; outtextxy(370,83,'Channel 3 : ') ;
{ Type ch 4 } setcolor(14) ; outtextxy(510,83,'Channel 4 : ') ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{keep data}
temp1 := 0 ; data1 := 0 ; temp2 := 0 ; data2 := 0 ;
temp3 := 0 ; data3 := 0 ; temp4 := 0 ; data4 := 0 ;
getdata;
controltemp;
if contemp > temper then
 begin
    flag := 0;
    temp := temper;
 end;
{show data}
str(temp1:2:2,outtemp1) ; setcolor(11) ;
outtextxy(460,72,outtemp1) ;
str(temp2:2:2,outtemp2) ; setcolor(12) ;
outtextxy(600,72,outtemp2) ;
str(temp3:2:2,outtemp3) ; setcolor(13) ;
outtextxy(460,83,outtemp3) ;
str(temp4:2:2,outtemp4) ; setcolor(14) ;
outtextxy(600,83,outtemp4) ;
        write(fi,temp1) ; write(fi,temp2) ;
        write(fi,temp3) ; write(fi,temp4) ;
         sound(1500) ; delay(10) ; nosound ;
              y1 := rangdata * temp1 ;
              truY1 := Trunc(y1) ;
              y2 := rangdata * temp2 ;
              truY2 := Trunc(y2) ;
              y3 := rangdata * temp3 ;
              truY3 := Trunc(y3) ;
              y4 := rangdata * temp4 ;
              truY4 := Trunc(y4) ;
              sumX := sumX + xa ;
              truSumX := Trunc(sumX) ;
              if checkdata <> 1 then
              begin
  if chgra = 1 then
    begin
      setcolor(11) ; circle(70+truSumX,395-truY1,0) ;
      setcolor(12) ; circle(70+truSumX,395-truY2,0) ;
      setcolor(13) ; circle(70+truSumX,395-truY3,0) ;
      setcolor(14) ; circle(70+truSumX,395-truY4,0) ;
      savkep[1] := 70+truSumX ; savkep[2] := 395 - truY1 ;
      savkep[3] := 70+truSumX ; savkep[4] := 395 - truY2 ;
      savkep[5] := 70+truSumX ; savkep[6] := 395 - truY3 ;
      savkep[7] := 70+truSumX ; savkep[8] := 395 - truY4 ;
    end;
  if chgra = 0 then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      begin
 {ch 1} setcolor(11) ; circle(70+truSumX,395-truY1,0) ;
      line(savkep[1],savkep[2],70+truSumX,395-truY1);
      savkep[1] := 70+truSumX ; savkep[2] := 395-truY1 ;
 {ch 2} setcolor(12) ; circle(70+truSumX,395-truY2,0) ;
      line(savkep[3],savkep[4],70+truSumX,395-truY2);
      savkep[3] := 70+truSumX ; savkep[4] := 395-truY2 ;
 {ch 3} setcolor(13) ; circle(70+truSumX,395-truY3,0) ;
      line(savkep[5],savkep[6],70+truSumX,395-truY3);
      savkep[5] := 70+truSumX ; savkep[6] := 395-truY3 ;
 {ch 4} setcolor(14) ; circle(70+truSumX,395-truY4,0) ;
      line(savkep[7],savkep[8],70+truSumX,395-truY4);
      savkep[7] := 70+truSumX ; savkep[8] := 395-truY4 ;
      end;
      chgra := 0 ;
                  sumtimed := sumtimed + timed ;
                   if sumtimed = sumcheckrangT then
                   begin
                      str(sumtimed:3:0,stc) ;
                      setcolor(15) ;
                 {  outtextxy(70+TruSumX-20,399,stc) ;}
                  circle(70+TruSumX,395,2) ;
            sumcheckrangT := sumcheckrangT + checkrangT ;
                   end
                   else
                   begin
                 setcolor(15) ; circle(70+TruSumX,395,0) ;
                   end ;
              if sumtimed >= Tkeepdata then checkdata := 1 ;
           end ;
                 delay(15) ;
                 i := i + 1 ;
                 timesent := timesent + timed ;
                 num := 1 ;
                 if i > 11 then x := x + 1 ;
                 for ii := 1 to 10 do powerup ;
               end ;
         end ;
    Until (timesent > tkeepdata) or keypressed ;
      Close(fi) ;
      ch := Readkey ;
      CloseGraph ;
      CursorOff ;
      WindowClose ;
      for i := 1 to 10 do
        powerdown;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          end ;
          end;
       end ;{else}
      end ;{r=0}
   end ;

procedure Directory ;
  var path,ch : string ;
     Dirinfo : SearchRec ;
     x,y,s,p,i,a,z,q,r : Byte ;
  begin
      SetWinAttr(Reverselow) ;
      SetBoxAttr(Reverselow) ;
      SetCharAttr(Reverselow) ;
      SetBoxStyle(Single) ;
      WindowOpen(10,7,40,9) ;
      CursorOn ;
      gotoxy(3,1) ;textcolor(4); write('ENTER PATH :') ;
      textcolor(4);readln(path) ;
      if (path='a') or(path='A') or (path='b') or (path='B') or
        (path='c') or (path='C') then
          path := path + ':*.*' ;
      if (path='a:') or(path='A:') or (path='b:') or (path='B:') or
        (path='c:') or (path='C:') then
          path := path + '*.*' ;
      CursorOff ;
      WindowClose ;
      WindowOpen(2,6,79,22) ;
      i := 1 ;
      x := 1 ;
      y := 2 ;
      s := 13 ;
      p := 27 ;
      q := 41 ;
      r := 55 ;
      a := 0 ;
      z := 0 ;
      Findfirst(path,Anyfile,Dirinfo) ;
      gotoxy(1,1) ;
      While DosError = 0 do
        begin
            a := 1 ;
            if z = 0 then
               write(Dirinfo.name) ;
            z := z + 1 ;
            FindNext(Dirinfo) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if (DosError = 0 ) then
          begin
              gotoxy(x,y) ;
              write(Dirinfo.name) ;
              y := y + 1 ;
              if i = s then
               begin
                    y := 1 ;
                    x := 20 ;
                    s := s + 56 ;
               end ;
              if i = p then
                begin
                     y := 1 ;
                     x := 40 ;
                     p := p + 56 ;
                end ;
              if i = q then
                begin
                     y := 1 ;
                     x := 60 ;
                     q := q + 56 ;
                end ;
              if i = r then
                begin
                     gotoxy(30,15) ;textcolor(4);
                    write('### PRESS ANYKEY TO CONTINUE ###') ;
                     ch := readkey ;
                     clrscr ;
                     y := 1 ;
                     x := 1 ;
                     r := r + 56 ;
                end ;
          end ;
          i := i + 1 ;
    end ;
  if a = 0 then
    begin
        gotoxy(27,8) ;textcolor(4);
        write('!!! FILE NOT FOUND !!!') ;
    end
  else
    begin
        gotoxy(6,15) ;
        write('*** ',z,' FILES ***') ;
    end ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      gotoxy(25,15) ;textcolor(4);
      write('### PRESS ANYKEY TO CONTINUE ###') ;
      ch := readkey ;
      WindowClose ;
  end ;

procedure ChDirec ;
  var   pathCh : string ;
        ch : char ;
  begin
      {$I-}
      SetWinAttr(Reverselow) ;
      SetBoxAttr(Reverselow) ;
      SetCharAttr(Reverselow) ;
      SetBoxStyle(Single) ;
      WindowOpen(10,7,60,9) ;
      CursorOn ;
      gotoxy(3,1) ; textcolor(4);write('ENTER PATH :') ;
      textcolor(4) ;readln(pathCh) ;
      if (pathCh = 'a') or (pathCh = 'A') or (pathCh = 'b') or
        (pathCh = 'B') or (pathCh = 'c') or (pathCh = 'C') then
          pathCh := pathCh + ':' ;
      ChDir(pathCh) ;
      CursorOff ;
      WindowClose ;
      if IOresult <> 0 then
        begin
          WindowOpen(30,9,54,11) ;
          gotoxy(1,1) ;textcolor(4);
          write('!!! PATH NOT FOUND !!!') ;
          ch := Readkey ;
          WindowClose ;
        end ;
   end ;

procedure quit;
  begin
    setattr(highdisplay);
    windowclose;
    cursoron;
    clrscr;
    finish := true;
  end;

procedure domenu1;
  begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    case chr(choicemenu[statusmenu]+48) of
       { '1' : Calibrate ;}
        '1' : Loaddata ;
        '2' : Keepdata ;
        '3' : Directory ;
        '4' : ChDirec ;
        '5' : Quit ;
    end ;
  end;

procedure Contstep ;
  var    convol : char ;
  begin
      setWinAttr(ReverseLow) ;
      setBoxAttr(ReverseLow) ;
      setCharAttr(ReverseLow) ;
      setBoxstyle(single) ;
      windowopen (10,12,60,14) ;
      CursorOn ;
    Repeat
      gotoxy(3,1) ; textcolor(4);
      write('ENTER CONTROL VOLTAGE (1 : INC ; 2 ; DEC) : ') ;
      convol := readkey ; write(convol) ;
      if convol <> #27 then readln ;
      if convol = '1' then powerup
      else if convol = '2' then powerdown ;
      clrscr;
    Until  convol = #27 ;
      CursorOff ;
     windowclose ;
  end ;

procedure domenu2;
  begin
    case chr(choicemenu[statusmenu]+48) of
       '1' : Contstep ;
    end ;
  end;

procedure Grapha ;
  Const    gmode = 2 ;
           gdriver = 9 ;
  Type     Datain = Array[1..8] of integer;
  var  grmode,grdriver,truSumX,w,n,mark,i,jj : integer;
       checkdata,checkY,Tdataset : integer ;
       maxdata,Tkeepdata,Timed,data,sumtimed,numdata,dataset : real ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    rangdata,rangtime,x,sumX,checkrangT,sumcheckrangT,rangT : real ;
    y1,y2,y3,y4 : real ;
    truY1,truY2,truY3,truY4 : integer ;
    ch : char ;
    st,stc,outtemp,outnum : string;
    str1,chname : string ;
    savdata : Datain;
    temper,gracon,xa,nn,mintime,minrang : real ;
    trugracon,YY,Tmintime,Tminrang,nnn,distx,showtime : integer;

begin
   getname(str1,chname1) ;
   if chname = #27 then
     begin
       WindowClose ;
       CursorOff ;
     end
   else
   begin
       filekeep := str1 + '.DAT' ;
       CursorOff ;
       WindowClose ;
       Assign(fi,filekeep) ;
       { * check error for file name * }
       i := 0 ;
       if Made(fi) then
       begin
            WindowOpen(1,1,80,25) ;
            grmode := gmode ;
            grdriver := gdriver ;
            maxdata := 0 ;
            initgraph(grdriver,grmode,'') ;
            { * creat graph * }



            Setcolor(15);
            SetTextStyle(0,0,1) ;setcolor(15);
            outtextxy(150,72{12},'GRAPH  FILE NAME :') ;
            outtextxy(300,72{12},filekeep) ;
            SetTextStyle(0,0,1) ;
    {type ch1} setcolor(11);
            outtextxy(450,72{12},'CHannel 1');
    {type ch2} setcolor(12);
            outtextxy(550,72{12},'CHannel 2');
    {type ch3} setcolor(13);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        outtextxy(450,93{23},'CHannel 3');
{type ch4} setcolor(14);
        outtextxy(550,93{23},'CHannel 4');
        setcolor(15) ;
        outtextxy(550,420{340},'TIME(MIN)') ;
        SetTextStyle(0,0,1) ;
        outtextxy(1,72{12},'Temperature(C)') ;
        outtextxy(57,392{332},'0') ;
        outtextxy(20,93{33},'60.00') ;
        circle(70,95{35},2);
        setcolor(10);
        line(70,85{25},70,395{335}) ;
        line(70,395{335},620,395{335}) ;
        line(70,80{20},67,85{25}) ;
        line(67,85{25},73,85{25}) ;
        line(73,85{25},70,80{20}) ;
        line(625,395{335},620,392{332}) ;
        line(620,392{332},620,398{338}) ;
        line(620,398{338},625,395{335}) ;
        { * check rangdata and rangtime * }
        Assign(fi,filekeep) ;
        Reset(fi) ;
        Read(fi,tkeepdata) ;
        Read(fi,timed) ;
        Read(fi,temper) ;
        checkY := 1;
        rangdata := 300 / 60 ;
       for jj := 1 to 5 do
        begin
            dataset := jj*10*rangdata ;
            Tdataset := Trunc(dataset);
            numdata := jj*10 ;
            setcolor(15);
            str(numdata:2:2,outnum) ;
            outtextxy(20,395{335}-Tdataset,outnum) ;
            circle(70,395{335}-Tdataset,2) ;
        end;
        rangtime := 540 / (Tkeepdata / Timed) ;
        rangtime := rangtime / Timed ;
          gracon := rangdata * temper ;
          trugracon := Trunc(gracon) ;
        str(temper:2:2,outtemp) ;
        setcolor(10) ; outtextxy(20,395{335}-trugracon,outtemp) ;
        circle(70,395{335}-trugracon,2) ;
        YY := 395{335} - trugracon ;
        line(70,YY,620,YY) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mintime := Tkeepdata/60 ;
Tmintime := Trunc(mintime) ;
minrang := 540/Tmintime ;
Tminrang := Trunc(minrang) ;
showtime := 1 ;
for nnn := 1 to Tmintime do
begin
     distx := nnn * Tminrang ;
   if showtime = nnn then
   begin
     str(nnn,stc) ;
     setcolor(15);
     outtextxy(70+distx-5,399{339},stc) ;
     circle(70+distx,395{335},2) ;
      showtime := showtime + 3 ;
   end;
 end;
      { * first data * }
Read(fi,data1) ; Read(fi,data2) ;
Read(fi,data3) ; Read(fi,data4) ;
Y1 := rangdata * data1 ;
truY1 := Trunc(Y1) ;
Y2 := rangdata * data2 ;
truY2 := Trunc(Y2) ;
Y3 := rangdata * data3 ;
truY3 := Trunc(Y3) ;
Y4 := rangdata * data4 ;
truY4 := Trunc(Y4) ;
sumX := 0 ;
xa := rangtime * timed ;
sumX := sumX + xa ;
truSumX := Trunc(sumX) ;
savdata[1] := 70+truSumX ; savdata[2] := 395{335}-truY1 ;
savdata[3] := 70+truSumX ; savdata[4] := 395{335}-truY2 ;
savdata[5] := 70+truSumX ; savdata[6] := 395{335}-truY3 ;
savdata[7] := 70+truSumX ; savdata[8] := 395{335}-truY4 ;
checkdata := 0 ;

sumtimed := 0 ;
x := rangtime * timed ;
n := 0 ;
nn := 1 ;
nnn := 60 ;
While NOT EOF(fi) do
  begin
     Read(fi,data1) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                y1 := rangdata * data1 ;
                truY1 := Trunc(y1) ;
                Read(fi,data2) ;
                y2 := rangdata * data2 ;
                truY2 := Trunc(y2) ;
                Read(fi,data3) ;
                y3 := rangdata * data3 ;
                truY3 := Trunc(y3) ;
                Read(fi,data4) ;
                y4 := rangdata * data4 ;
                truY4 := Trunc(y4) ;
                sumX := sumX + x ;
                truSumX := Trunc(sumX) ;
                if checkdata <> 1 then
                  begin
{ch 1} setcolor(11) ; circle(70+truSumX,395{335}-truY1,0) ;
     line(savdata[1],savdata[2],70+truSumX,395{335}-truY1);
     savdata[1] := 70+truSumX ; savdata[2] := 395{335}-truY1 ;
{ch 2} setcolor(12) ; circle(70+truSumX,395{335}-truY2,0) ;
     line(savdata[3],savdata[4],70+truSumX,395{335}-truY2);
     savdata[3] := 70+truSumX ; savdata[4] := 395{335}-truY2 ;
{ch 3} setcolor(13) ; circle(70+truSumX,395{335}-truY3,0) ;
     line(savdata[5],savdata[6],70+truSumX,395{335}-truY3);
     savdata[5] := 70+truSumX ; savdata[6] := 395{335}-truY3 ;
{ch 4} setcolor(14) ; circle(70+truSumX,395{335}-truY4,0) ;
     line(savdata[7],savdata[8],70+truSumX,395{335}-truY4);
     savdata[7] := 70+truSumX ; savdata[8] := 395{335}-truY4 ;
                        setcolor(15);
                       circle(70+TruSumX,395{335},0) ;
                  end ;
                if sumtimed >= Tkeepdata then checkdata := 1 ;
            end ;
        Close(fi) ;
        ch := Readkey ;
        CloseGraph ;
        CursorOff ;
        WindowClose ;
      end
      else
       begin
         WindowOpen(20,10,65,14) ;
         gotoxy(11,1) ; write('!!! ERROR FOR FILENAME !!!') ;
         gotoxy(8,2) ;  write('FILE NOT FOUND : ',filekeep) ;
         gotoxy(6,3) ; write('### PRESS ANYKEY TO CONTINUE  ###') ;
         ch := readkey ;
         WindowClose ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            end;
        end;
    end ;

procedure domenu3;
    begin
      case chr(choicemenu[statusmenu]+48) of
          '1' : Grapha ;
      end ;
    end;

{procedure domenu4;
    begin
      case chr(choicemenu[statusmenu]+48) of
          '1' : Timetokeepdata ;
          '2' : Timedata ;
          '3' : GraphH ;
          '4' : AboutProgram ;
      end ;
    end;}

procedure domenu;
    begin
     case statusmenu of
     1 : domenu1;
     2 : domenu2;
     3 : domenu3;
   {  4 : domenu4;}
      end;
   end;

procedure testkey(key:char);
   begin
     if funckey then
       case (key) of
         Home_Key : movetofirstmenu;
         End_Key  : movetolastmenu;
         Up_Key   : moveup;
         Lt_Key   : moveback;
         Rt_Key   : moveforward;
         Dn_Key   : movedown;
         PgUp_Key : movetofirstchoice;
         PgDn_Key : movetolastchoice;
       end
       else
         if key = Return_Key then domenu;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  end;

BEGIN
  clrscr;
  directvideo := true;
  checksnow   := true;
  displaymainmenu;
  menuactive(1);
  cursoroff;
  repeat
    readfunckey(key);
    testkey(key);
  until finish;
  clrscr;{names;}
end;

BEGIN
     PULLDOWNMENU ;
END.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายมนตรี ธนภควัต เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา เมื่อปี พ.ศ. 2536 ในปี พ.ศ. 2538-2539 เป็นผู้ช่วยวิจัยในโครงการทุนส่งเสริมวิชาชีพนักวิจัย ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโท มีบทความตีพิมพ์ทั้งในประเทศและต่างประเทศรวมทั้งสิ้น 5 บทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้