การวิเคราะห์สายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟแบบโค้งงอได้ เพื่อทำลายเซลล์มะเร็งในลำไส้ใหญ่

ANALYSIS OF FLEXIBLE MICROWAVE ANTENNA FOR COLON CANCER ABLATION

อภิชน ชินตนะสิงห์ธร
APICHON CHINTANASINTON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2552
KMITL-2009-EN-M-045-175

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์สายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟแบบโค้งงอได้เพื่อทำลายเซลล์มะเร็งในลำไส้ใหญ่

ANALYSIS OF FLEXIBLE MICROWAVE ANTENNA FOR COLON CANCER ABLATION

T105513

อภิชน ชินธนสินธร

APICHON CHIINTANASINTON

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105513
วันเดือนปี.....26 พ.ย. 2552

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-045-175

ANALYSIS OF FLEXIBLE MICROWAVE ANTENNA FOR COLON CANCER ABLATION

APICHON CHIINTANASINTON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN BIOMEDICAL ELECTRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-EN-M-045-175

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์สายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟแบบโค้งงอได้เพื่อการทำลายเซลล์มะเร็งในลำไส้ใหญ่

Thesis Title Analysis of Flexible Microwave Antenna for Colon Cancer Ablation

นักศึกษา นายอภิชน ชินธนสินธร

รหัสประจำตัว 47067307

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-045-175

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กิติพล	ชิตสกุล	
รศ.ดร.ชูชาติ	ปิณฑวิรุจน์	
ผศ.ดร.ชัญชนา	ตั้งวงศ์ศานต์	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบูลย์	
ผศ.ดร.สุพันธุ์	ตั้งจิตกุศลมั่น	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2552 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2552

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งมอบวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 30 เดือน ต.ค. พ.ศ. 52
ลงชื่อ

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ แบบโค้งงอได้เพื่อทำลายเซลล์มะเร็งในลำไส้ใหญ่
นักศึกษา	อภิชน ชินธนสินธร
รหัสประจำตัว	47067307
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอถึงการทำลายเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่บริเวณลำไส้ตรงส่วนปลายใกล้กับทวารหนักในระยะเริ่มแรก โดยนำเสนอวิธีการรักษามะเร็งแบบ MCT (Microwave Coagulation Therapy) ซึ่งเป็นการรักษาโดยการทำให้ลำใส่ใหญ่มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยออกแบบสายอากาศนำคลื่นไมโครเวฟให้มีการปล่อยคลื่นตามจุดที่ต้องการ ผ่านสายอากาศขนาดเล็กที่มีความยืดหยุ่น สามารถโค้งงอตามหลักกายวิภาคศาสตร์ของลำไส้ใหญ่ได้ การออกแบบสายอากาศที่ให้ความร้อนเฉพาะจุดนี้ จะสามารถกำหนดตำแหน่งที่จะทำลายเนื้องอกในส่วนที่ต้องการได้ โดยจะไม่เกิดความร้อนขึ้นในตำแหน่งอื่น เป็นผลให้ไม่เกิดความเสียหายกับเนื้อเยื่อดีข้างเคียงสายอากาศนำคลื่นไมโครเวฟแบบสล๊อต(Slot) นี้อาศัยคลื่นไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2.45 GHz ในการวิจัยนั้นได้นำเอาวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการจำลองการออกแบบ เพื่อสังเกตการกระจายความร้อนและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันส่งผลต่อเนื้องอกของมะเร็งในระยะเริ่มแรกที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อชั้น Mucosa และ Submucosa ที่ไม่มีการลุกลามขนาดไม่เกิน 2 ซม. รวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อผนังลำไส้ใกล้เคียงในส่วนอื่นๆ จากสายอากาศในกรณีต่างๆ ด้วยโมเดลของสายอากาศและโมเดลสามมิติของลำไส้ใหญ่ซึ่งสร้างมาจากภาพซีทีแสกน ที่มีค่าคุณสมบัติเสมือนจริง มาใช้ในการจำลองเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในด้านต่างๆได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น จากการจำลองพบว่า การใช้สายอากาศนำคลื่นไมโครเวฟแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตร ส่งกำลังงาน 5 วัตต์ เป็นเวลา 120 วินาที เสียบผ่านโดยตรงเข้าไปภายในเนื้องอก โดนบริเวณช่องเปิดของสายอากาศอยู่กึ่งกลางเนื้องอก จะได้ระยะบาดแผลเท่ากับ 5.12 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นร้อยละ 6.17 ของปริมาตรทั้งหมดของก้อนเนื้องอก ที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้

Thesis Title	ANALYSIS OF FLEXIBLE MICROWAVE ANTENNA FOR COLON CANCER ABLATION
Student	Mr.Apichon Chintanasinton
Student ID.	47067307
Degree	Master of Engineering
Program	Biomedical Electronics Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Supan Tungjitkusolmun

ABSTRACT

This thesis presents the treatment of rectal cancer cells in early stage by using Microwave Coagulation Therapy. In microwave ablation, a slot-antenna probe with a frequency of 2.45 GHz is used to induce microwave energy on targeted area, resulting in increased tissue temperature. Flexible microwave antenna corresponding to the colon anatomy was designed to deliver the microwave in the specific region and determine the location of cancer tissue without affecting the surrounding normal tissue. In this research, microwave ablation of the early stage of cancer on the mucosa and submucosa layers with diameter less than 2 cm and the side effects on surrounding tissue was studied using the Finite Element Method (FEM) to determine the temperature and heat distribution. 3D models were constructed from computed tomography images equivalent to the colon tissues. From the results, using a 5-mm slot-antenna at 5 W for 120 s inserted directly into the central region of cancer tissue was able to destroy tissue of 5.12 cm^3 (region with temperature higher than 50 $^{\circ}C$). In conclusion, the designed flexible slot antenna for microwave ablation of rectal colon cancer has the potential for use in treatment of early stage cancer.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆ ท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบคุณทุกๆท่านดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น อาจารย์ผู้ให้คำปรึกษา วางแนวทาง ตลอดจนชี้แนะให้งานวิจัยนี้บรรลุเป้าหมายและติดตามเกี่ยวกับงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประศาสน์วิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีอันเป็นคุณประโยชน์แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ น้องที่เป็นแรงงาน รวมทั้งเพื่อนๆ ทั้งในและนอกห้องปฏิบัติการที่เป็นกำลังใจให้ข้อคิด ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา ตลอดจนญาติพี่น้องผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้อบรม สอนสั่งและมอบวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

อภิชน ชินธนสินธร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 4

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย 4

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์ 5

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาลำไส้ใหญ่ของมนุษย์ 6

2.1.1 ส่วนประกอบของลำไส้ใหญ่ 6

2.1.2 หน้าที่ของลำไส้ใหญ่ 9

2.2 มะเร็งลำไส้ใหญ่(Colon Cancer) 9

2.2.1 ปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ 10

2.2.2 ข้อบ่งชี้ของมะเร็งลำไส้ใหญ่ 11

2.2.3 อาการที่บ่งชี้ตามตำแหน่ง 11

2.2.4 การเกิดติ่งเนื้อ(Polyp) 12

2.2.5 การตรวจวินิจฉัยมะเร็งลำไส้ใหญ่ 12

2.2.6 ระยะของโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Staging) 14

2.3 การรักษา(Treatments) 14

2.3.1 การผ่าตัด (Surgery) 14

2.3.2 Radiofrequency ablation 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12.2 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่ความถี่สูง 34
2.12.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิ 35
บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบ และการการสร้างแบบจำลอง 37
3.1 การสร้างแบบจำลองจากภาพ CT Scan 37
3.1.1 Block diagram ของการสร้างภาพ CT 37
3.1.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจากภาพ CT Scan 38
3.2 การออกแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 41
3.2.1 รูปแบบของแบบจำลอง 41
3.2.2 แบบจำลองสายอากาศ 46
3.2.3 แบบจำลองที่ใช้ในกรณีทั้งหมดในการทดลอง 53
3.3 ค่าคุณสมบัติที่ใช้ในการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 53
บทที่ 4 ผลการทดลอง 56
4.1 ผลการทดลองที่1 56
4.2 ผลการทดลองที่ 2 58
4.3 ผลการทดลองที่ 3 63
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 64
เอกสารอ้างอิง 65
ประวัติผู้เขียน 66

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงค่าความหนาของผนังลำไส้ใหญ่ที่สร้างในแบบจำลอง....44

3.2 เป็นตารางแสดงคุณลักษณะของสายอากาศ....47

3.3 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของเนื้อเยื่อลำไส้ใหญ่....52

3.4 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้า....52

4.1 สรุปการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2 62

4.2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ 3....68

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ลำไส้ใหญ่ (Large Intestine or Colon) 6

2.2 ส่วนประกอบของลำไส้ใหญ่ (Colon) 7

2.3 กราฟแสดงสถิติมะเร็งที่พบบ่อย 1 อันดับแรกในประเทศไทยในปี พ.ศ.2551 9

(ก) กราฟแสดงสถิติมะเร็งที่พบบ่อย 10 อันดับแรกในเพศชาย 9

(ก) กราฟแสดงสถิติมะเร็งที่พบบ่อย 10 อันดับแรกในเพศหญิง 9

2.4 เปอร์เซ็นต์ของบริเวณลำไส้แต่ละส่วนที่มีการกระจายตัวของมะเร็ง 10

2.5 ตัวอย่างลักษณะของติ่งเนื้อ (Polyp) ในลำไส้ใหญ่ 11

2.6 แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ของการตรวจด้วยการสวนแป้ง (Barium Enema) 13

2.7 ภาพแสดงการตรวจลำไส้ใหญ่ด้วยวิธี Colonoscopy 13

2.8 ภาพแสดงการตรวจลำไส้ใหญ่ตรงส่วนปลายด้วยวิธี Sigmoidscopy 13

2.9 แสดงการแบ่งระยะ ของโรคมะเร็ง ลำไส้ใหญ่ 14

2.10 (ก) ภาพแสดงมะเร็งที่ลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง 15

(ข) ภาพแสดงการตัดลำไส้บางส่วนและเนื้อเยื่อปกติข้างเคียงออก 15

(ค) ภาพแสดงการต่อลำไส้เข้าไว้ด้วยกัน (Anastomosis) 15

2.11 (ก) ภาพแสดงมะเร็งที่ลำไส้ใหญ่ 15

(ข) ภาพแสดงการตัดลำไส้บางส่วนและเนื้อเยื่อปกติข้างเคียงออก 15

(ค) ภาพแสดงการเปิดช่องทางผนังหน้าท้องและถุง (Colostomy and Bag) 15

2.12 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กกับทิศการเดินทางของคลื่นในโหมดการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ

(ก) การเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมดสนามแม่เหล็กตัดขวาง(TM mode) 20

(ข) การเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมดสนามไฟฟ้าตัดขวาง (TE mode) 21

(ค) ภาพการเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดขวาง(TEM mode) 21

2.13 ภาคตัดขวางของตัวกลางไดอิเล็กตริกโพลาไรซ์ 23

2.14 ตัวอย่างสายส่งสัญญาณแบบต่างๆ 24

(ก) สายส่งสัญญาณโหมดTEM (TEM transmission lines) 24

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

(ข) สายส่งสัญญาณโหมด(Multi-mode transmission lines) 24
2.15 ท่อนำคลื่นแบบต่างๆ 26
2.16 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์มะเร็ง 28
2.17 แสดงลักษณะของสายอากาศแบบโคแอกเชียลในเนื้อเยื่อทดสอบ 29
2.18 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแบบสล็อตโคแอกเชียล 29
2.19 แสดงจุดจ่ายกำลังงานคลื่นไมโครเวฟให้กับสายอากาศ 30
2.20 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตต่อเนื่อง 30
2.21 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตตัวนำ 31
2.22 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตสะท้อน 31
3.1 แสดง Block diagram การสร้างแบบจำลองลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจากภาพ ซี ที สแกน(CT Scan) 37
3.2 ภาพที่ได้จาก ซี ที สแกน (CT Scan) 38
3.3 แสดงภาพ 3 มิติ จากภาพ ซี ที สแกน (CT Scan) 39
3.4 ภาพ 3 มิติที่ผิวไม่เรียบ 39
3.5 ภาพ 3 มิติที่ทำการแต่งผิวให้เรียบ 40
3.6 การสร้างเส้นตัดขวาง 40
3.7 รูปที่มีปริมาตร (Solid) 41
3.8 แสดงแบบจำลองรูปทรงกระบอกของลำไส้ใหญ่ 41
3.9 แสดงแบบจำลองที่ใช้คำนวณการทำลายเซลล์ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย 42
3.10 รูปลักษณะกายวิภาคของผนังลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย 43
3.11 รูปลักษณะลำไส้ใหญ่ส่วนปลายที่ใช้ในการจำลองทางไฟไนน์เอลิเมนต์ 43
3.12 แสดงลักษณะก้อนมะเร็งที่ได้จากกล้องส่องลำไส้ใหญ่ส่วนปลายกับแบบจำลอง 45
(ก)รูปลักษณะก้อนมะเร็งบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจากกล้องส่องลำไส้ใหญ่มีขนาด 1 เซนติเมตร 45

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

(ข)รูปลักษณะก้อนมะเร็งบริเวณลำไส้ใหญ่จากแบบจำลองมีขนาด 1 เซนติเมตร 45

3.13 แสดงคุณลักษณะของสายอากาศ 46

(ก) สายอากาศแบบปลาย (Open Tip Antenna) 46

(ข) สายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) 46

3.14 แสดงแบบจำลองการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) 47

3.15 แสดงแบบจำลองการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศแบบปลายเปิด (Open Tip Antenna) 48

3.16 แสดงแบบจำลองการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) อยู่ภายในเซลล์มะเร็งแบบตรง 49

3.17 แสดงแบบจำลองการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) สัมผัสกับเซลล์มะเร็ง 49

3.18 แสดงแบบจำลองการวางสายอากาศอยู่ในเซลล์มะเร็งแบบโค้งงอเพื่อให้ตำแหน่งเหมาะสมต่อการทำลาย 50

3.19 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 1 มิลลิเมตร 51

3.20 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 2 มิลลิเมตร 51

3.21 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 3 มิลลิเมตร 52

3.22 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร 52

3.23 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 5 มิลลิเมตร 53

3.24 แสดงรูปแบบการเมชเอลิเมนต์ 55

4.1 แสดงการกระจายทางด้านอุณหภูมิของสายอากาศแบบปลายเปิด (Open Tip) 56

4.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบปลายเปิด (Open Tip) 56

4.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) 56

4.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) 57

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 อุณหภูมิ ของการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ที่อยู่ภายในเซลล์มะเร็งแบบตรง 59

4.6 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ที่อยู่ภายในเซลล์มะเร็งแบบตรง 59

4.7 แสดงการกระจายของอุณหภูมิการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) โดยสัมผัสกับเซลล์มะเร็ง 60

4.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาของวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) โดยสัมผัสกับเซลล์มะเร็ง 60

4.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิโดยการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ให้อยู่ภายในเซลล์มะเร็งในลักษณะโค้งงอเพื่อตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการทำลาย 61

4.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียส ในการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ให้อยู่ภายในเซลล์มะเร็งในลักษณะโค้งงอเพื่อตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการทำลาย 61

4.11 แสดงการกระจายอุณหภูมิการวางของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 1 มิลลิเมตร 63

4.12 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 1 มิลลิเมตร 63

4.13 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 2 มิลลิเมตร 64

4.14 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 2 มิลลิเมตร 64

4.15 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 3 มิลลิเมตร 65

4.16 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 3 มิลลิเมตร 65

4.17 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร 66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.18 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร 66

4.19 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 5 มิลลิเมตร 67

4.20 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 5 มิลลิเมตร 67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

มะเร็งเป็นโรคที่พบได้บ่อยและเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลกมากกว่า 1 ล้านคนต่อปี มะเร็งลำไส้ใหญ่นับเป็นมะเร็งอีกชนิดที่มีอัตราผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกปี จากสถิติของผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดนี้ของประชากรไทยที่เพิ่มจำนวนมากขึ้นมาเป็นอันดับที่ 1 ในเพศชาย และอันดับที่ 3 ในเพศหญิงจากมะเร็งทุกประเภท(สถาบันมะเร็ง. 2551) ในความจริงแล้วมะเร็งชนิดนี้สามารถรักษาให้หายขาดหรือการรักษาจะได้ผลดีมากหากตรวจพบและเริ่มรักษาในระยะแรกก่อนการลุกลาม แต่ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะทราบและเข้ารับการรักษาในระยะที่เซลล์มะเร็งเกิดการลุกลามแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากช่วงแรกๆ ผู้ป่วยจะไม่พบอาการผิดปกติแต่อย่างใด หรือเป็นเพียงความผิดปรกติเล็กน้อยที่สามารถทนได้ แต่จะเข้าพบแพทย์เพื่อทำการตรวจหรือเข้ารับการรักษาเมื่อมีอาการผิดปรกติมากแล้ว ทำให้การรักษาเป็นไปอย่างยากลำบาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย รวมทั้งมีโอกาสในการรอดชีวิตต่ำลงด้วย

ลำไส้ใหญ่นั้นเป็นอวัยวะส่วนปลาย ๆ ของระบบทางเดินอาหารถัดมามาจากลำไส้เล็กและเชื่อมต่อกับส่วนไส้ตรง (Rectum) ซึ่งจะไปสิ้นสุดที่ทวารหนัก ทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและเกลือแร่ที่เหลือจากลำไส้เล็กและขับกากอาหารที่เหลือผ่านทางทวารหนัก มะเร็งลำไส้ใหญ่นั้นเริ่มจากการเกิดติ่งเนื้อ (Polyp) บริเวณผนังลำไส้ใหญ่แล้วพัฒนากลายเป็นเนื้อร้ายในที่สุด แต่มักใช้เวลานานเป็น 10 ปี ดังนั้นการตรวจวินิจฉัยและคัดกรองมะเร็งลำไส้ด้วยวิธีการต่าง ๆเช่น การตรวจวินิจฉัยด้วยมือผ่านทางทวารหนัก การใช้กล้องส่องลำไส้ เป็นต้น หากตรวจพบติ่งเนื้อหรือความผิดปกติแพทย์จะทำการรักษาโดยการตัดติ่งเนื้อออกและนำติ่งเนื้อนั้นไปทำการวินิจฉัยว่าเป็นเนื้อร้ายหรือไม่ ก่อนเกิดการลุกลามจนยากจะทำการรักษา

การรักษามะเร็งลำไส้ใหญ่

1. การผ่าตัด เป็นการรักษาโดยการตัดเซลล์มะเร็งนั้นออก แต่เนื่องจากลำไส้ใหญ่มีขนาดที่ค่อนข้างยาว ดังนั้นการผ่าตัดเปิดหน้าท้องจะทำให้ได้ขนาดบาดแผลที่ค่อนข้างใหญ่ และอาจจะมีผลข้างเคียง เช่น เสียเลือดมาก บาดแผลติดเชื้อ เป็นต้น
2. การใช้เคมีบำบัด เนื่องจากสารเคมีที่ใช้อาจจะทำให้เกิดการแพ้สำหรับบางคน และอาจจะมีรังสีตกค้างตามร่างกายได้ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดผลข้างเคียง เช่น การทำงานในระบบต่างๆ ของร่างกายผิดปกติ
3. การผ่าตัดโดยผ่านทางกล้อง จะใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กเท่ากับช่องว่างของกล้องเข้าไปทำการตัดเอาเนื้อในช่วงที่ยังเป็นแค่ โพลิป ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อของลำไส้ใหญ่ โดยจะทำการรักษาได้เซลล์มะเร็งที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก และมักเป็นก้อนเนื้อชนิดมีก้าน

การรักษาด้วยไมโครเวฟ เป็นการรักษาที่ใช้การแผ่รังสีความร้อนเป็นกระบวนการทำลายเซลล์มะเร็งรูปแบบใหม่โดยส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสายอากาศและกระจายไปยังเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งที่ต้องการทำการรักษา ทำให้เซลล์มะเร็งมีการดูดซับพลังงานซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อเยื่ออย่างรวดเร็ว โดยความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อที่เป็นมะเร็งถ้ามีอุณหภูมิเพียง 50 °C ก็เพียงพอ แล้วที่จะทำให้เซลล์มะเร็งถูกทำลายและก็จะฝ่อลงในที่สุด เนื่องจากใช้การแพร่กระจายของคลื่น จึงจะทำให้ได้การทำลายเซลล์มะเร็งได้บริเวณกว้างกว่า และใช้เวลาสั้น คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ได้ถูกกำหนดจาก FDA (Federal Communications Commission)ให้เป็นความถี่ที่ใช้งานในด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์เรียกความถี่ในย่านนี้ว่า ISM Band (Industrial Scientific and Medical) แต่ในปัจจุบันยังไม่เคยมีการทำการรักษาด้วยด้วยคลื่นไมโครเวฟกับมะเร็งบริเวณลำไส้ใหญ่มาก่อน งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอเป็นแนวคิดใหม่ อีกรูปแบบหนึ่งที่นอกเหนือจากการรักษาในแบบเดิม ที่อาจมีข้อจำกัดและผลกระทบที่เกิดจากการรักษา เช่น ผลข้างเคียงจากการตกค้างของรังสี และการใช้เคมีบำบัด ที่เป็นอันตรายต่อผู้ป่วย ดังนั้นการทำรักษามะเร็งลำไส้ใหญ่ด้วยวิธีการนี้ จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของการรักษาที่จะช่วย ประหยัดเวลา ลดค่าใช้จ่าย ย่นระยะในการพักฟื้นที่ต้องใช้เวลานานจากการผ่าตัดแบบเปิดช่องท้อง ไม่เกิดผลข้างเคียง และสายอากาศที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นสายอากาศแบบโคแอกเชี่ยล(Coexial) ที่มีขนาดเล็กเพียง 2 มิลลิเมตร สามารถโค้งงอได้ตามตำแหน่งของติ่งเนื้อ และเหมาะกับการรักษาในติ่งเนื้อชนิดไม่มีก้าน(Sessile Polyp)ซึ่งมีฐานติดกับผนังลำไส้ในระยะที่ไม่มีการลุกลามขนาดไม่เกิน 2 เซนติเมตร มากกว่าการผ่าตัดติ่งเนื้อผ่านกล้อง(Polypectomy)

งานวิจัยที่ผ่านมาในเรื่องการรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Ablation) ซึ่งก็มีการออกแบบสายอากาศแบบต่างๆ เพื่อที่จะให้ได้ขนาดการทำลายเซลล์มะเร็งได้มากขึ้น เช่น Labonte et al [1] ได้ทำการพิจารณาสายอากาศแบบโมโนโพล 3 แบบ คือ 1. แบบปลายเปิด (Open Tip Monopole)2. แบบปลายปิด (Dielectric Tip Monopole)3. แบบสายอากาศปลายเป็นโลหะ (Metal Tip Monopole) เพื่อนำไปรักษาโรคหัวใจเต้นเร็วผิดปกติ ซึ่งข้อสรุปคือสายอากาศแบบปลายเป็นโลหะใช้ได้ดีที่สุด K. Saito al [2] ได้ทำการวิเคราะห์สายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) โดยนำมาทำลายเซลล์มะเร็งภายในตับ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องเชิงเวลา (Finite-Difference Time-Domain) และเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากตับหมู ซึ่งลักษณะการกระจายของคลื่นไมโครเวฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีกับที่ผลต่างสืบเนื่องเชิงเวลา (Finite-Difference Time-Domain) กับผลการทดลองที่ได้จากตับหมู มีลักษณะใกล้เคียงกันและนอกจากนี้ยังได้ทำการทดลอง และยังได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีกับที่ผลต่างสืบเนื่องเชิงเวลา (Finite-Difference Time-Domain) โดยใช้สายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) 2 ต้น เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำลายเซลล์มะเร็งให้มากขึ้น โดยไม่ได้ทำการทดลองจริงกับตับหมู P. Bernardi [3] ได้มีการวัดค่าการกระจายตัวของ SAR ในสายอากาศแบบแคบโช๊ค (Cap-Choke) โดยสายอากาศแบบนี้จะ

ออกแบบมาเพื่อใช้รักษาโรคหัวใจเต้นเร็วผิดปกติ ซึ่งการรักษาที่บริเวณหัวใจนั้นสายอากาศจำเป็นต้องมีลักษณะที่สามารถส่งคลื่นไมโครเวฟออกไปในบริเวณที่ต้องการรักษา และจะต้องไม่มีการกระจายออกต้องบริเวณอื่นเลย เพื่อที่จะป้องกันส่วนอื่นของหัวใจที่ไม่ใช่บริเวณที่ต้องการรักษาไม่ให้ถูกทำลาย ซึ่งสายอากาศแบบแคบโช๊ค (Cap-Choke) นั้นมีลักษณะตรงตามคุณสมบัติที่ต้องการ เพราะว่าไม่มีการสะท้อนกลับของกระแสในสายส่ง และสามารถควบคุมให้ออกบริเวณปลายได้ดีที่สุดอีกด้วย โดยใช้การวิเคราะห์วิธีผลต่างสืบเนื่องเชิงเวลา (Finite-Difference Time-Domain) และได้ทำการเปลี่ยนค่าการไหลเวียนของเลือดที่บริเวณหัวใจ ว่ามีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแล้วจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณปลายสายอากาศมากน้อยแค่ไหน K.Saito [4] ได้ทำการทดลองกับคนจริงโดยได้ใช้สายอากาศแบบปลายเปิด (Slot Antenna) แบบ 2 สล๊อต โดยได้ใช้ทำการรักษามะเร็งบริเวณลำคอ ซึ่งโดยวิธีการคือใช้เครื่องซีทีแสกน(CT Scan) เพื่อหาจุดที่เกิดเซลล์มะเร็ง แล้วทำการสอดสายอากาศผ่านทางผิวหนังเข้าไปถึงบริเวณจุดที่เกิดมะเร็ง แล้วทำการทำลายซึ่งผลที่ได้คือสามารถทำลายได้จริง ทำให้รู้ว่าการรักษามะเร็ง ด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นสามารถทำได้จริง L.Brace [5] ได้ทำการทดลองจริงโดยใช้สายอากาศแบบสามส่วน (Triaxial Antenna) ซึ่งนำไปใช้ทำลายเซลล์มะเร็งตับ ซึ่งลักษณะของสายอากาศแบบนี้ คือมีสายอากาศแบบโมโนโพล สอดผ่านส่วนที่เรียกว่า Biopsy Needle โดยให้ส่วนนี้เป็นตัวดักคลื่น แล้วทำการสอดสายอากาศแบบโมโนโพลเข้าไปในส่วน Biopsy Needle โดยสามารถกำหนดลักษณะของการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ว่าจะให้มีขนาดมากน้อยขนาดไหนโดนดูจากความลึกของสายโมโนโพลที่สอดกับ Biopsy needle โดยค่าที่ดีสุดคือ ซึ่งเป็นค่าความลึกที่ได้ค่าการกระจายของคลื่นไมโครเวฟมากที่สุด โดยได้ทดลองนำไปใช้กับตับวัวโดยการใช้ทำลายบริเวณที่ใกล้เส้นเลือดใหญ่ กับบริเวณที่ไม่มีเส้นเลือดใหญ่ปรากฏว่าบริเวณที่ใกล้เส้นเลือดใหญ่นั้นขนาดบาดแผลที่เกิดจากการทำลายจะไม่เกิดขึ้น ส่วนบริเวณที่ไม่มีลักษณะของบาดแผลจะต่อเนื่องกัน D.Yang [6] ได้ใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในการวิเคราะห์ แล้วได้ทำการทดลองจริงในตับวัวเพื่อเปรียบเทียบลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นไมโครเวฟว่าใกล้เคียงกันหรือไม่ สรุปแล้วผลที่ทำการวิเคราะห์กับการทดลองจริงนั้นมีค่าใกล้เคียง โดย สายอากาศที่ใช้มีชื่อเรียกว่า Floating Sleeve Antenna ซึ่งลักษณะของสายอากาศจะคล้ายกับสายโคแอกเชี่ยลธรรมดา แต่บริเวณตัวนำภายนอกของสายอากาศนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ เพื่อที่ว่าจะสามารถกำหนดให้คลื่นออกเฉพาะจุดที่ต้องการได้ K.Saito [7] ได้นำเสนอสายอากาศแบบโค้งงอเพื่อสามารถสอดเข้าไปทางปากแล้วให้โค้งงอตามเส้นเลือดจนไปถึงท่อน้ำดี เพื่อที่จะทำลายเซลล์มะเร็งที่เกิดจากท่อน้ำดี โดยสายอากาศที่ใช้นั้นเป็นแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีผลต่างสืบเนื่องเชิงเวลา (Finite-Difference Time-domain) ในการวิเคราะห์ ซึ่งสรุปแล้วโอกาสมีโอกาสจะสามารถรักษาได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการนำวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการกระจายตัวทางด้านความร้อนในเนื้อเยื่อมะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย
2. เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองสามมิติของลำไส้ใหญ่ส่วนปลายด้วยภาพวีทีสแกน(CT scan)
3. เพื่อศึกษาการนำวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการกระจายตัวทางด้านความร้อนของสายอากาศแบบต่างๆ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์มาใช้จำลองการกระจายตัวของความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อของมะเร็งในลำไส้ใหญ่ โดยการสร้างแบบจำลองสามมิติตามสรีรวิทยาของลำไส้ใหญ่จากภาพซีทีสแกน และกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆลงในแบบจำลอง ซึ่งพารามิเตอร์จะถูกนำมาใช้ในสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการคำนวณให้ได้ค่าที่ถูกต้องเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลกระทบจะที่เกิดขึ้นจากการรักษาด้วยสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟแบบเพื่อทำลายเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ เนื่องจากลักษณะทางด้านกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของลำไส้ใหญ่นั้นมีความคดเคี้ยว และมีตำแหน่งของการเกิดติ่งเนื้อที่ไม่แน่นอน ดังนั้นการใช้สายอากาศแบบโค้งงอจึงเหมาะสมต่อการรักษากว่าสายอากาศที่ไม่สามารถโค้งงอได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากการศึกษาทางด้านการรักษาโรคมะเร็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะต้องมีทั้งทฤษฎีทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้า กับทฤษฎีที่เกี่ยวกับการนำพาความร้อน(Heat Transfer) ซึ่งทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะเป็นไปตามสมการของ แม็กซ์เวล (Maxwell) และสมการของเฮล์มโฮลต (Helmholtz equation) ส่วนทฤษฎีที่เกี่ยวกับการนำพาความร้อน นั้นจะเป็นไปตามสมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio heat Equation)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยจะเป็นการใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อของลำไส้ใหญ่ ที่เกิดจากค่าพลังงานที่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟ โดยการสร้างแบบจำลองสามมิติตามสรีรวิทยาของลำไส้ใหญ่จากภาพซีทีสแกน และกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามคุณสมบัติของเนื้อเยื่อลงในแบบจำลอง เพื่อจำลองการรักษามะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย ในก้อนเนื้อขนาดไม่เกิน 2 เซนติเมตร ชนิดไม่มีก้าน(Sessile Polyp) โดยติ่งเนื้อชนิดนี้มักมีลักษณะเป็นก้อนกลมมีฐานกว้างติดกับผนังลำไส้ โดยใช้สายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และสามารถโค้งงอได้ตามลักษณะทางกายวิภาค

ศาสตร์ของลำไส้ใหญ่ตามตำแหน่งที่เกิดติ่งเนื้อ โดยปรับความกว้างของช่องสายอากาศเพื่อสังเกตค่าความเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของอุณหภูมิในเนื้อเยื่อของลำไส้ใหญ่

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย โครงสร้างวิทยานิพนธ์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจาก
งานวิจัยชิ้นนี้

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบ และการการสร้างแบบจำลอง

บทที่ 4 ผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถนำหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการจำลองการแพร่กระจายของความร้อนในเนื้อเยื่อมะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย

1.7.2 สามารถนำภาพจากซีทีสแกน(CT scan) มาจำลองเพื่อนำไปใช้ในการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

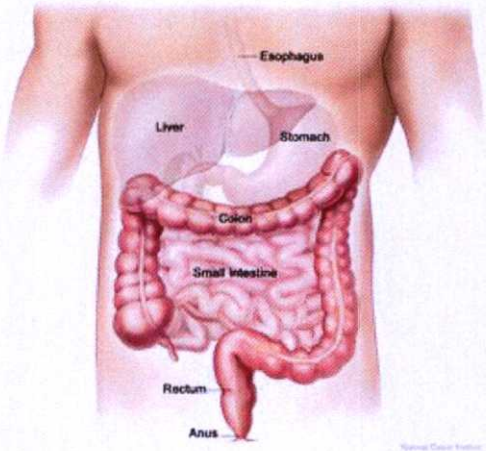
1.7.3 สามารถนำหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการจำลองเพื่อออกแบบสายอากาศให้เหมาะสมกับการรักษามะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย

1.7.4 เป็นข้อมูลสนับสนุนผู้วิจัย เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาการรักษามะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลายได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของลำไส้ใหญ่ของมนุษย์รวมทั้งปัจจัยเสี่ยง สาเหตุ ระยะความรุนแรง การรักษา มะเร็งลำไส้ใหญ่(Colon cancer) และพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา โดยกล่าวถึงสมการแมกซ์เวลล์(Maxwell's Equations) การเดินทางของคลื่นในตัวกลางชนิดต่างๆ พื้นฐานการกระจายความร้อนในเนื้อเยื่อ สมการความร้อนทางชีววิทยา (Bio heat Equation) และทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.1 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาลำไส้ใหญ่ของมนุษย์



รูปที่ 2.1ลำไส้ใหญ่ (Large intestine or Colon)

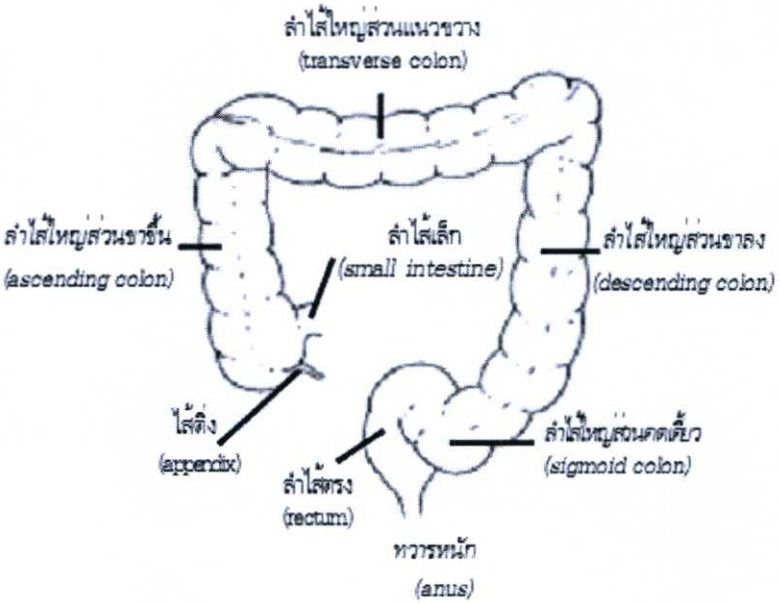
ลำไส้ใหญ่(Large intestine or Colon) เป็นอวัยวะส่วนหนึ่งของระบบทางเดินอาหาร อาหารที่เหลือจากการย่อยของลำไส้เล็ก ภายหลังดูดซึมกากอาหารและน้ำย่อยที่เหลือจะผ่านลงสู่ลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีความยาวประมาณ 5 ฟุต หรือ 1.56 เมตร ส่วนกว้าง กว้างกว่าลำไส้เล็ก โดยเฉพาะลำไส้ใหญ่ส่วนที่เป็นไส้ตัน (Cecum) กว้างประมาณ 2.5 นิ้ว ลำไส้ใหญ่ตั้งต้นจากลำไส้เล็กส่วนปลาย (Ileum) ไปจนถึงทวารหนัก (Anus) แสดงในรูปที่ 2.1

2.1.1 ส่วนประกอบของลำไส้ใหญ่

ส่วนประกอบของลำไส้ใหญ่แบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

2.1.1.1 ไส้ตัน (Cecum) เป็นที่ตั้งต้นของลำไส้ใหญ่ ลักษณะเป็นกระพุ้งใหญ่ มีลิ้นซึ่งทำด้วยรอยพับของเยื่อบุลำไส้ (Mucous Membrane) เรียกว่า ทวารลำไส้ใหญ่ (Ileccecal Valve) ปิดกั้นระหว่างลำไส้เล็กส่วนปลายกับไส้ตัน ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอาหารเข้าไปในลำไส้ใหญ่ทางเดียว

ไม่ให้ย้อนกลับมาในลำไส้เล็กอีก โดยทั่วไปทวารลำไส้ใหญ่นี้จะทนความดันย้อนกลับได้มากถึง 50-60 เซนติเมตรน้ำ ผนังของลำไส้เล็กส่วนปลายก่อนถึงทวารลำไส้ใหญ่นี้จะหนาขึ้น ทำหน้าที่เป็นหูรูด (Ileocecal Sphincter) ซึ่งตามปกติจะหดตัวเพื่อกั้นไม่ให้อาหารเข้าไปในไส้ตัน ภายหลังรับประทานอาหารจะมีการทำงานของ(Gastric-Ideal-Reflex) ซึ่งจะเร่งการบีบตัวเป็นคลื่นของลำไส้เล็กส่วนปลายให้ขับอาหาร ประมาณ 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อการบีบไล่ครั้งหนึ่งผ่านทวารนี้ไป จากนั้นกากอาหารเพียงประมาณ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ถูกขับออกไปสู่ไส้ตันใน 1 วัน และเมื่อมีความต้านทานต่อการปล่อยอาหารผ่านทวารลำไส้ใหญ่นี้จะทำให้อาหารค้างอยู่ในลำไส้เล็กส่วนปลายนานขึ้นเพื่อเพิ่มการดูดซึม การควบคุมหูรูดทวารลำไส้ใหญ่ การหดตัวของกล้ามเนื้อหูรูดนี้ถูกควบคุมโดยรีเฟล็กซ์จากไส้ตัน เมื่อใดก็ตามที่ไส้ตันถูกดันให้ตึง หูรูดก็จะหดตัวแรงขึ้น เป็นการถ่วงเวลาให้อาหารจากลำไส้เล็กส่วนปลายผ่านไปสู่ไส้ตันช้าลง รีเฟล็กซ์นี้อาศัยทางเดินประสาทของกลุ่มประสาทไมเอนเทอริก (Myenteric Plexus) นอกจากนั้น Viscero-Sympathetic Reflex หลายอย่างที่เกิดจากการระคายของระบบทางเดินอาหารส่วนอื่น เช่น จากไตหรือจากเยื่อบุช่องท้องจะทำให้หูรูดหดตัวอย่างรุนแรง มีผลทำให้อาหารเคลื่อนผ่านทวารลำไส้ใหญ่ช้าไปหรือหยุดเลยก็ได้



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของลำไส้ใหญ่ (Colon)

2.1.1.2 ลำไส้ใหญ่ (Colon) ในรูปที่ 2.2 เป็นส่วนที่ต่อจากไส้ตัน แบ่งออกเป็นตอน ๆ ดังนี้

1. ลำไส้ใหญ่ส่วนขึ้น (Ascending Colon) คือ ลำไส้ใหญ่ที่ต่อจากไส้ตันทอดขึ้นข้างบนทางขวาของช่องท้องไปจนถึงพื้นล่างใต้ตับ

2. ลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง (Transverse Colon) คือ ลำไส้ใหญ่ส่วนที่ทอดขวางช่องท้องไปทางซ้าย แล้วโค้งไปใต้ปลายล่างของม้าม

3. ลำไส้ใหญ่ส่วนลง (Descending Colon) คือ ลำไส้ใหญ่ส่วนที่ทอดลงมาข้างล่างซ้ายของช่องท้อง แล้วทอดโค้งคล้ายรูปอักษรตัวเอส (S) เรียกว่า Sigmoid Colon

2.1.1.3 ไส้ตรง (Rectum) มีความยาวประมาณ 5 นิ้ว ตรงบริเวณส่วนล่างมีลักษณะพองโตออกมามาก เพื่อเก็บอุจจาระไว้โดยมีลิ้นช่วยพยุงอยู่ ตำแหน่งที่ตั้งในเพศชายอยู่ข้างหลังกระเพาะปัสสาวะ ในเพศหญิงอยู่ข้างหลังมดลูกและมักเป็นบริเวณที่มีการตรวจพบมะเร็งลำไส้มากที่สุด

2.1.1.4 ท่อทวารหนัก (Anal Canal) เป็นส่วนปลายล่างของลำไส้ใหญ่ ยาวประมาณ 1-1.5 นิ้ว มีช่องเปิดออกสู่ภายนอกเรียกว่า ปากทวารหนัก (Anus) ที่ปากทวารหนักจะมีกล้ามเนื้อหุ้มล้อมเป็นวงอยู่โดยรอบ 2 วง วงในเรียกว่า หูรูดชั้นใน (Internal Sphincter) วงนอกเรียกว่าหูรูดชั้นนอก (External Sphincter) กล้ามเนื้อเหล่านี้มีหน้าที่สำหรับเปิดให้อุจจาระผ่านออกไปแล้วปิดอย่างเดิม ลำไส้ใหญ่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น คือ

1. Serous Cost เป็นชั้นนอกหุ้มอยู่เป็นตอน ๆ ในบางส่วนของลำไส้ใหญ่เท่านั้น ส่วนของปากทวารหนักจะไม่มีชั้นนี้หุ้มอยู่

2. Muscular Cost เรียงกันอยู่เป็น 2 ชั้น ชั้นในเรียงกันเป็นวงโดยรอบ (Circular layer) ชั้นนอกทอดไปตามยาว แต่รวมแยกกันเป็น 3 แถบ ตั้งต้นจากไส้ตันจนถึงส่วนต้นของไส้ตรง เรียกว่า Taeniae coli ซึ่งอาจมองเห็นด้วยตาเปล่า ผนังลำไส้ใหญ่ จะเห็นโป่งเป็นเป็นระยะ เรียกว่า Succulation Submucous cost

3. Mucous cost เป็นชั้นในสุด ไม่มี Circular Folds มีแต่ Intestinal Glands ซึ่งจะขับเมือก (Mucous) ออกมาเป็นจำนวนมาก จะเห็นว่าไม่มีการสร้างเอ็นไซม์ (Enzyme) ที่บริเวณลำไส้ใหญ่เลย จะมีแต่เฉพาะเซลล์เยื่อเมือกที่บุผนังลำไส้ใหญ่เท่านั้นที่สร้างน้ำเมือกออกมาเป็นจำนวนมาก มีลักษณะข้น ฤทธิ์เป็นด่าง pH 8-8.4 ทำหน้าที่หล่อลื่นกากอาหารให้เคลื่อนที่ผ่านไปได้สะดวก การที่ลำไส้ใหญ่ไม่มีเอ็นไซม์ เนื่องจากอาหารที่ผ่านกระเพาะมาถึงลำไส้ใหญ่นั้นส่วนใหญ่จะเป็นกากอาหารที่เหลวและไม่ย่อยแล้ว แต่ยังมีส่วนที่เป็นน้ำและเกลือแร่มาก เส้นประสาท (Nerves) ที่มาสู่ลำไส้ใหญ่ คือ เส้นประสาทอัตโนมัติที่แตกมาจากมิเซนเทอริก เพกซัส (Mesenteric Plexus) และไฮโปแกสติก เพกซัส (Hypo Gastric Plexua)

หลอดโลหิตที่มาสู่ลำไส้ใหญ่ คือ แขนงของ Superior Mesenteric Artery และ Inferior Mesenteric Artery นอกจากนี้ในส่วนของไส้ตรงยังได้รับโลหิตมาจากแขนงของ Hypo gastric Arteries

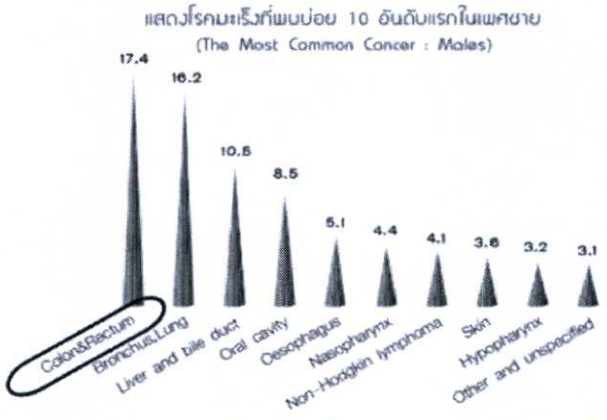
2.1.2 หน้าที่ของลำไส้ใหญ่

2.1.2.1. ถ่ายระบายกากอาหาร (Waste Product) ออกจากร่างกาย

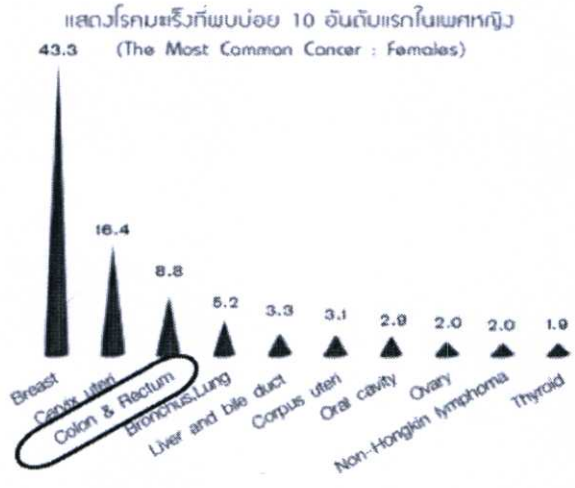
2.1.2.2. ดูดซึมน้ำและอิเลคโตรลัยต์จากอาหารที่ถูกย่อยแล้ว เช่น โซเดียมและเกลือแร่อื่น ๆ ทีเหลืออยู่ในกากอาหาร รวมทั้งวิตามินบางอย่างที่สร้างจากแบคทีเรีย ซึ่งอาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ ได้แก่ วิตามินบีรวม ด้วยเหตุนี้จึงเป็นหนทางสำหรับให้น้ำ อาหารและยาแก่ผู้รับบริการทางทวารหนักได้

2.1.2.3. ทำหน้าที่เก็บอุจจาระไว้จนกว่าจะถึงเวลาอันสมควรที่จะถ่ายออกนอกร่างกาย

2.2 มะเร็งลำไส้ใหญ่(Colon Cancer)



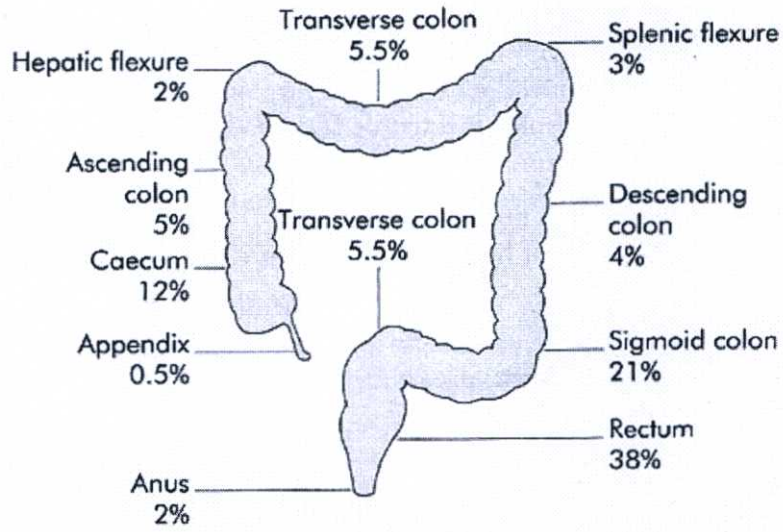
(ก) กราฟแสดงสถิติมะเร็งที่พบบ่อย 10 อันดับแรกในเพศชาย



(ข) กราฟแสดงสถิติมะเร็งที่พบบ่อย 10 อันดับแรกในเพศหญิง

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงสถิติมะเร็งที่พบบ่อย 1 อันดับแรกในประเทศไทยในปี พ.ศ.2551 จาก

มะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ขยับขึ้นมาเป็นอันดับสอง รองจากมะเร็งปอด ของผู้ป่วยมะเร็งทั้งหมด ใน สหรัฐอเมริกา มีผลทำให้ชาวอเมริกัน ตายจากโรคนี้ปีละประมาณ 60,000 คน และอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคนี้ ตลอดชั่วชีวิตได้เพิ่มจาก 1 ต่อ 25 เมื่อ 30 ปีก่อนมาเป็น 1 ต่อ 20 ในปัจจุบัน มะเร็งลำไส้ใหญ่นับเป็นมะเร็งอีกชนิดที่มีอัตราผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกปี จากสถิติของผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งชนิดนี้ของประชากรไทยที่เพิ่มจำนวนมากขึ้นมาเป็นอันดับที่ 1 ในเพศชาย และอันดับที่ 3 ในเพศหญิงจากมะเร็งทุกประเภทใน 10 อันดับแรก (สถาบันมะเร็ง. 2551)ดังแสดงในรูปที่ 2.3(ก) และ2.3(ข)



รูปที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์ของบริเวณลำไส้แต่ละส่วนที่มีการกระจายตัวของมะเร็ง

2.2.1 ปัจจัยเสี่ยงก่อให้เกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่

1. ผู้สูงอายุ ที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไปจะเป็นกลุ่มเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่
2. อาหาร เช่นการรับประทานอาหารประเภทเนื้อ หรือ อาหารที่มีเส้นใยน้อย
3. ผู้ที่มีประวัติบุคคลในครอบครัวเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่
4. ผู้ที่เคยมีประวัติเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ มะเร็งรังไข่ มะเร็งเต้านม มะเร็งมดลก เป็นต้น
5. ผู้ที่เคยมีประวัติมีติ่งเนื้อ (Polyps)ในลำไส้ใหญ่
6. ผู้ที่เคยมีประวัติลำไส้ใหญ่อักเสบเป็นแผลเปื่อย(Ulcerative Colitis)หรือลำไส้เล็กอักเสบ (Crohn's disease)

2.2.2 การบ่งชี้ของมะเร็งลำไส้ใหญ่

1. มีการเปลี่ยนแปลงนิสัยการขับถ่ายที่ผดปกติ
2. มีเลือดปนในอุจจาระทั้งที่เป็นเลือดแดงสด หรอเลือดเก่าแดงคล้ำ
3. มีท้องเสียสลับท้องผูก หรือมีความรู้สึกว่าอุจจาระไม่สุด
4. ลักษณะของอุจจาระเปลี่ยนไป เช่นมีขนาดลำอุจจาระเล็กลงกว่าปกติ
5. ปวดท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อเป็นประจำ
6. น้ำหนักลดลงโดยไม่ทราบสาเหตุ
7. ร่างกายอ่อนเพลีย ซีด หรือโลหิตจาง เนื่องจากเสียเลือดเรื้อรัง
8. คลื่นไส้ อาเจียน

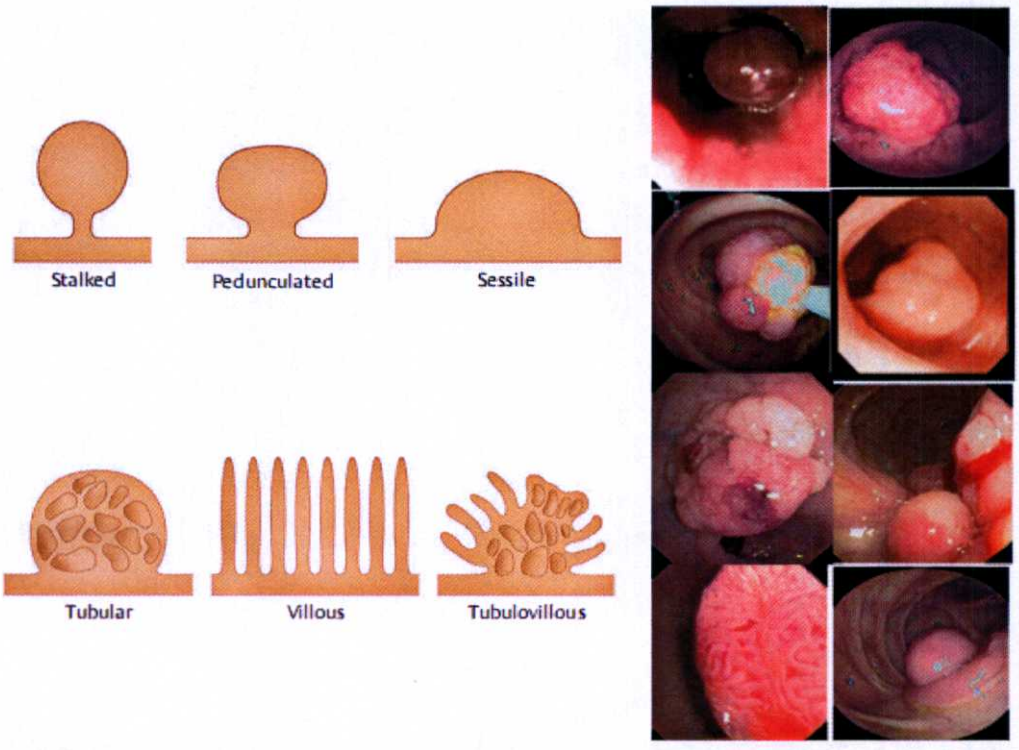
2.2.3 อาการที่บ่งชี้ตามตำแหน่ง

1. ลำไส้ใหญ่ด้านขวา มักมีอาการอ่อนเพลีย ปวดท้องเป็นประจำหรือมีเลือดออกในทางเดินอาหาร คลำได้ก้อนที่ท้องบริเวณด้านขวา ซีด น้ำหนักลด

2. ลำไส้ใหญ่ด้านซ้าย มักมีอาการของลำไส้ใหญ่อุดตันหรือถ่ายผิดปกติ ท้องผูกสลับกับท้องเสีย ท้องอืด ไม่ผายลม ปวดท้องรุนแรงหรือถ่ายมูกปนเลือด

3. ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย มีอาการปวดทวารหนัก ถ่ายเป็นเลือดสด รู้สึกถ่ายไม่สุด

4 ช่องทวารหนัก คลำได้ก้อน ถ่ายเป็นเลือดสด ถ่ายแล้วปวดหรือมีต่อมน้ำเหลืองที่ขาหนีบโต



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะของติ่งเนื้อ(Polyp) ในลำไส้ใหญ่

2.2.4 การเกิดติ่งเนื้อ (polyp) ทางการแพทย์พบว่าติ่งเนื้อ (Polyp) นี้เป็นขั้นตอนของขบวนการกลไกการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ แต่ยังอยู่ในระยะก่อนเป็นมะเร็ง หรือเกือบเป็นมะเร็ง หรือเป็นมะเร็งระยะไม่ลุกลาม (In Situ) โดยที่เยื่อบุผนังภายในลำไส้ใหญ่ (Mucosa) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยสารพิษที่อยู่ในกากอาหาร ซึ่งมักจะมาจากอาหารที่รับประทานอาหารเข้าไปเป็นเวลานานหลายสิบปี ก็จะเกิดความผิดปกติที่ยีน(Gene) หรือสารพันธุกรรมจนเกิดการแบ่งตัวที่ผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังลำไส้ใหญ่ เรียกว่าการกลายพันธุ์ (Mutation) เกิดเป็นเนื้องอกเล็กๆ ขึ้น ซึ่งเนื้องอกนี้ยังไม่ใช่มะเร็ง เป็นระยะก่อนเป็นมะเร็ง(Pre Cancerous) ต่อมาเนื้องอกเล็กๆ นี้มีการกลายพันธุ์และแบ่งตัวหลายๆ ครั้งขึ้นจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ความผิดปกติของลักษณะเซลล์มีมากขึ้นจนถึงระยะเกือบเป็นมะเร็ง (Severe Dysplasia) ยิ่งมีขนาดใหญ่โอกาสเป็นมะเร็งก็มีสูงขึ้น โดยการเป็นมะเร็งระยะแรกจะเกิดที่ผิวของก้อนเนื้องอกเท่านั้นยังไม่ลุกลาม ถึงเส้นเลือดฝอยเล็กๆ และเส้นน้ำเหลือง จึงเรียกมะเร็งระยะนี้ว่า ระยะไม่ลุกลาม (In Situ) และค่อยๆ พัฒนาจนกลายเป็นชนิดลุกลาม (Invasive Carcinoma) ในที่สุดเนื้องอกเล็กๆ นี้จะมีลักษณะเป็นติ่งเนื้อยื่นออกมาจาก ผนังลำไส้ เรียกว่าติ่งเนื้อ(Polyp) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดคือชนิดมีก้าน (Pedunculated Type) และชนิดไม่มีก้าน (Villous Type) ติ่งเนื้อ (Polyp) ชนิด มีก้านขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร จะใช้เวลาประมาณ 10 ปี ก่อนที่จะพัฒนาตนเองจนกลายเป็นมะเร็ง ดังนั้นถ้าสามารถตรวจพบติ่งเนื้อนี้ก่อนตั้งแต่ขนาดเล็กและตัดออกให้หมดก็จะสามารถตัดวงจรการกลายเป็นมะเร็งได้ ในรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงตัวอย่างลักษณะของติ่งเนื้อติ่งเนื้อ(Polyp) ในลำไส้ใหญ่

2.2.5 การตรวจวินิจฉัยมะเร็งลำไส้ใหญ่(Diagnosis)

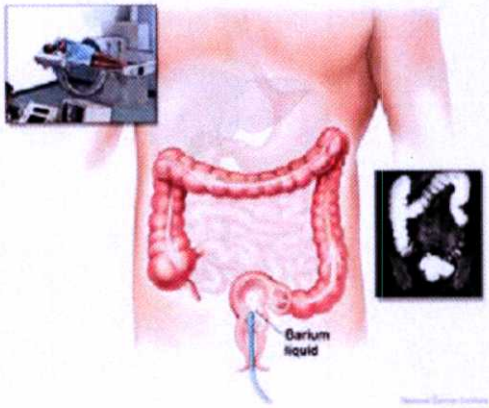
1. การตรวจร่างกายทั่วๆไป (Physical examination and history taking) แพทย์สอบถามอาการอันไม่พึง ประสงค์ หรือแพทย์คลำได้ก้อนที่บริเวณท้อง ซักประวัติด้านสุขภาพทั้งอดีต และปัจจุบัน

2. การตรวจหาเลือดที่ปนมากับอุจจาระ (Fecal occult blood test)

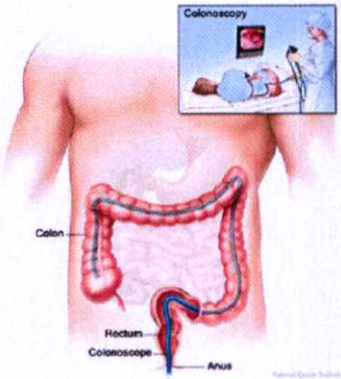
3. การตรวจทางทวารหนัก (Rectal examination) โดยแพทย์ใช้นิ้วสอดเข้าทางทวารหนักเพื่อหาว่ามีก้อน หรือสิ่งผิดปกติหรอไม่

4. การตรวจลำไส้ใหญ่โดยการสวนแป้ง (Barium enema) โดยแพทย์จะสวนแป้งเข้าทางทวารหนัก แล้ว ถ่ายภาพเอกซ์เรย์ดูความผิดปกตที่เกิดขึ้นบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนต่างๆ

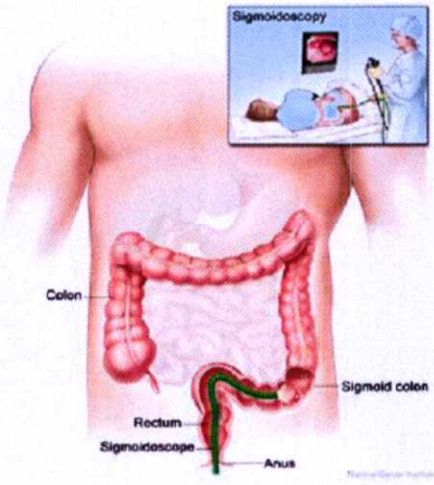
5. การตรวจลำไส้ใหญ่ทั้งหมดโดยการส่องกล้อง (Colonoscopy) โดยการสอดท่อขนาดเล็กและบางที่มี กล้องติดอยู่เข้าไปทางทวารหนัก สามารถตรวจดูความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในลำไส้ใหญ่ทั้งหมด ซึ่งมี ความแม่นยำและความไวสูง และถ้าพบสิ่งผดปกติ เช่น ติ่งเนื้อ สามารถนำชิ้นเนื้อนั้น (Biopsy) ออกมาตรวจทางห้องปฏิบัติการได้ด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์ของการตรวจด้วยการสวนแป้ง (Barium Enema)



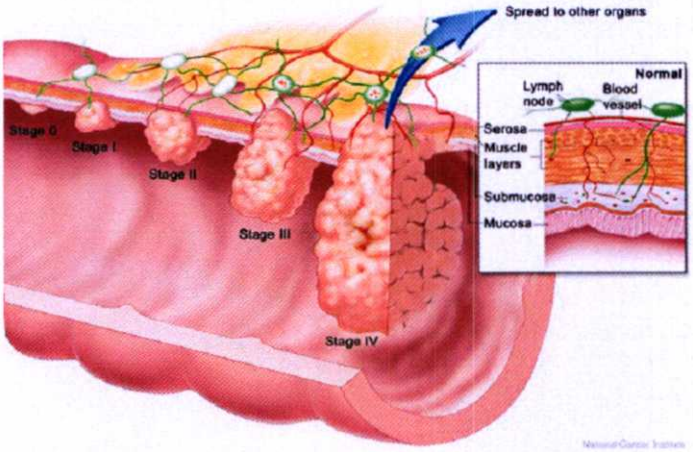
รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการตรวจลำไส้ใหญ่ด้วยวิธี Colonoscopy



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงการตรวจลำไส้ใหญ่ตรงส่วนปลายด้วยวิธี Sigmoidscopy

2.2.6 ระยะของโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ (Staging)

การวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ แพทย์จำเป็นต้องหาระยะของโรค เพื่อประกอบในการวางแผนการรักษา ซึ่งจะต้องอาศัยการตรวจวินิจฉัยอย่างละเอียดเพิ่มเติมเพื่อแบ่งระยะของโรคได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น โดยระยะของโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่แบ่งออกเป็น



รูปที่ 2.9 แสดง การแบ่งระยะ ของโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่

1. ระยะ 0 (Stage 0) มะเร็งในระยะเริ่มแรกซึ่งพบเซลล์มะเร็งเฉพาะที่ผนังชั้นในสุดของลำไส้ใหญ่ หรือ เรียกว่า Carcinoma in situ

2. ระยะ 1 (Stage I) พบเซลล์มะเร็งออกนอกผนังชั้นในไปสู่ผนังชั้นกลางของลำไส้ใหญ่ บางครั้ง เรียกว่า Dukes' A

3. ระยะ 2 (Stage II) เซลล์มะเร็งได้ลุกลามออกจากผนังชั้นกลางเกือบถึงเนื้อเยื่อขางเคียง แต่ยังไม่ แพร่กระจายไปที่ต่อมน้ำเหลือง บางครั้ง เรยกว่า Dukes' B

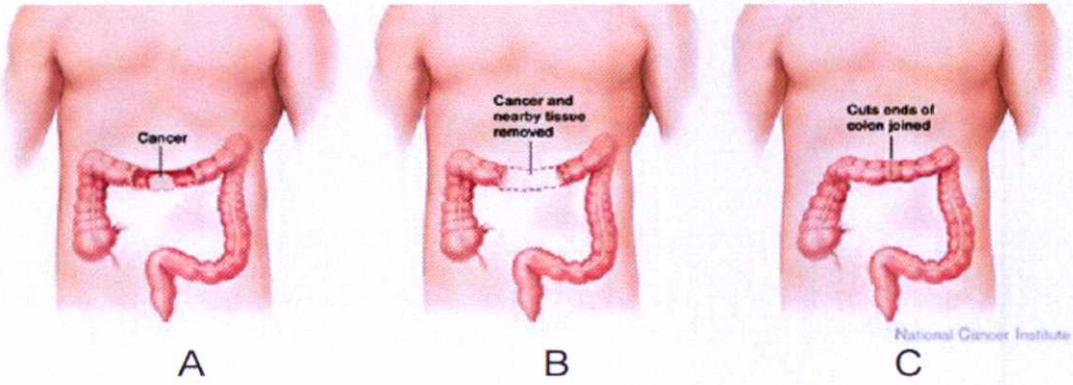
4. ระยะ 3 (Stage III) เซลล์มะเร็งได้แพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองข้างเคียง แต่ยังไม่ได้แพร่กระจาย ปที่อวัยวะอืน บางครั้ง เรยกว่า Dukes' C

5. ระยะ 4 (Stage IV) เซลล์มะเร็งได้แพร่กระจายไปยังอวัยวะสวนอื่นของร่างกาย ส่วนมากมักจะ กระจายไปยังตับ หรือ ปอด บางครั้ง เรียกว่า Dukes' D

2.3 การรักษา (Treatments)

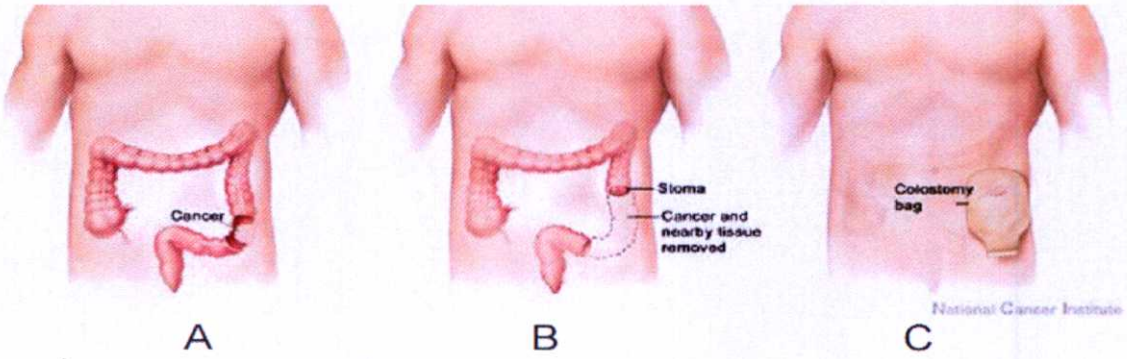
2.3.1. การผ่าตัด (Surgery) เป็นวิธีการรักษาหลักของมะเร็งลำไส้ใหญ่ในทุกระยะ โดยจะแบ่งการ ผ่าตัดตามระยะของโรค คือ Local excision ถ้าตรวจพบมะเร็งในระยะแรก แพทย์สามารถตัดชิ้นเนื้อส่วนที่เป็น มะเร็งออกได้โดยการสอดใส่ท่อที่มีกล้องนำทางเข้าไปยังลำไส้ใหญ่ โดยไม่จำเป็นต้อง เปิดผนังหน้าท้อง Resection ถ้าก้อนมะเร็งมีขนาดใหญ่ แพทย์จำเป็นต้อง

ตัดลำไส้บางส่วนและเนื้อเยื่อปกติ ข้างเคียงออก (Partial colectomy) แลวเย็บลำไส้ส่วนที่เหลือเข้าไว้ด้วยกัน (Anastomosis) นอกจากนั้นแพทย์อาจจะนำต่อมน้ำเหลืองใกล้ๆสวนของลำไส้ที่เป็นมะเร็งออกมาตรวจเพิ่มเติม



รูปที่ 2.10 (ก) ภาพแสดงมะเร็งที่ลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง
(ข) ภาพแสดงการตัดลำไส้บางส่วนและเนื้อเยื่อปกติข้างเคียงออก
(ค) ภาพแสดงการต่อลำไส้เข้าไว้ด้วยกัน

แล้วเข้าไว้ด้วยกันได้ แพทย์จำเป็นต้องเปิดช่องทางผนังหน้าท้องแล้วต่อด้วยถุงพลาสติก ไว้เพื่อเก็บกากอาหารที่ไม่ต้องการนำออกนอกร่างกาย เราเรียกช่องเปิดหน้าท้องว่า Colostomy
การทำช่องเปิดอาจทำขึ้นชั่วคราวจนกระทั่งลำไส้ส่วนที่ผ่าตัดสมบูรณ์แล้ว ทำการต่อคืนเหมือนเดิม แพทย์ก็จะทำการปิดผนังหน้าท้องให้ แต่ในบางกรณีอาจจำเป็นต้องเปิดช่องทางผนังหน้าท้องแบบถาวร



รูปที่ 2.11 (ก) ภาพแสดงมะเร็งที่ลำไส้ใหญ่
(ข) ภาพแสดงการตัดลำไส้บางส่วน
(ค) ภาพแสดงการเปิดช่องทางผนังหน้าท้องและถุง

หลังจากแพทย์ผ่าตัดเอาส่วนที่เป็นมะเร็งออกไปแล้ว บางครั้งแพทย์จะต้องให้การรักษา อย่างอื่นควบคู่ไปด้วย ซึ่งได้แก่ การให้ยาเคมี การฉายรังสี เพื่อชวยเพิ่มอัตราการรักษาให้หาย เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกการรักษาแบบผสมผสานว่า Adjuvant therapy

2.3.2 Radiofrequency ablation เป็นการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้คลื่นวิทยุความถี่สูง ซึ่งใช้อุปกรณ์ที่มีส่วนปลายเป็นขั้วไฟฟ้าไปฆ่าเซลล์มะเร็ง

2.3.3 Cryosurgery การใช้อุปกรณ์ที่ให้ความเย็นจัดไปทำลายเซลล์มะเร็ง

2.3.4 การให้ยาเคมีบำบัด (Chemotherapy) เป็นการรักษาโดยใช้ยาเพื่อหยุดการเจริญเติบโตและ ฆ่าเซลล์มะเร็ง การให้ยาเคมีบำบัดมักจะใช้กับผู้ป่วยที่มีก้อนขนาดใหญ่และลุกลามมาก หรือ มีเซลล์มะเร็งแพร่กระจายไปที่ต่อมน้ำเหลือง การให้ยาเคมีบำบัดหลังการผ่าตัดมีจุดประสงค์ เพื่อที่จะป้องกันการเกิดเป็นมะเร็ง ยาเคมีบำบัดยังเป็นการรักษาหลักในผู้ป่วยระยะ แพร่กระจาย หรือใช้ในรายที่ไม่สามารถรับการผ่าตัด

2.3.5. การฉายรังสี (Radiation Therapy) เป็นการรักษาโดยใช้รังสีเอกซเรย์พลังงานสูงไปฆ่าเซลล์มะเร็งเฉพาะที่ บางครั้งแพทย์อาจให้ฉายรังสีก่อนการผ่าตัดซึ่งมักจะร่วมกับยาเคมี บำบัดเพื่อลดขนาดก้อนมะเร็งก่อนที่จะทำการผ่าตัดต่อไป การฉายรังสีอาจจะให้เพื่อบรรเทา

2.4 ผลข้างเคียง (Side Effect)

ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นจากการรักษาขึ้นอยู่กับชนิดของการรักษา และขึ้นกบผป่วยแต่ละคน ผลข้างเคยง ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นชั่วคราวในช่วงระหว่างการรักษา แบ่งผลข้างเคียงตามวิธีการรักษาดังนี้

2.4.1. การผ่าตัด จะเกิดอาการปวด เจ็บ และตึง บรเวณผ่าตัด อาจทำให้เกิดอาการท้องผูก หรือท้องเสีย มักจะเกิดขึ้นชั่วคราว ผู้ป่วยทมีช่องเปิดทางผนังหน้าท้อง (Colostomy) อาจมีอาการ ระคายเคืองผิวหนังบริเวณรอบๆช่องเปิด ผู้ป่วยควรทำความสะอาดและเปลี่ยนถุงพลาสติก เป็นประจำจะสามารถลดอาการเหล่านี้ได้

2.4.2. การให้ยาเคมีบำบัด ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับชนิดของยาและปริมาณยาที่ผู้ป่วยได้รับ โดยอาการที่มักจะเกิดขึ้นได้แก่ ระดับเม็ดเลือดต่ำ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ อาเจียน ผมหรอขนรวง เจ็บปาก ปากแห้ง ท้องเสีย และซด อาจเกิดอาการรุนแรงได้ แต่เกิดขึ้นได้น้อยมาก เช่น อาการติดเชื้อ หรอ เสียเลือดเป็นจำนวนมาก

2.4.3. การฉายรังสี ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับขอบเขต และปริมาณของรังสีท่ผู้ป่วยได้รับ ผลข้างเคียงที่มักจะเกิดขึ้น ได้แก่ ซีด ผิวหนังบรเวณให้รังสมีสีคลำขน ความอยากอาหาร ลดลง คลื่นไส้ อาเจียน บางครั้งการฉายรังสอาจก่อให้เกิดเลือดออกบริเวณลำไส้ได้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.5 การวิเคราะห์ทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปทั่วไปแล้วจะเป็นคลื่นซึ่งเป็นสัญญาณที่มีฮาร์โมนิก(Time – Harmonic Field) หรืออีกนัยหนึ่งคือ เป็นสัญญาณที่มีคาบการแกว่งที่แน่นอน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะแทนด้วยผลรวมของสัญญาณรูปซายน์ที่สามารถใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เขียนได้ทั้งฟังก์ชันโคซายน์ ฟังก์ชันซายน์ หรือฟังชันก์เอ็กโปแนนเชียลเชิงซ้อน ถ้าพิจารณาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณโคซายน์ก็จะได้ $\frac{\partial \bar{E}}{\partial t} = j\omega\bar{E}$ ในกรณีที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณรูปซายน์นั้น สามารถวิเคราะห์ผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อตัวกลางได้ง่ายได้ง่ายโดยพิจารณาการตอบสนองของช่วงเวลาที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อตัวกลางได้ง่ายโดยพิจารณาการตอบสนองของช่วงเวลาที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณซายน์คงตัว (Steady state) ซึ่งสามารถอนุมานอัตราการเปลี่ยนแปลงกับเวลา $\frac{\partial}{\partial t}$ คือ การเฉลี่ยด้วยค่า $j\omega$ ทำให้ได้สมการแมกซ์เวลล์เป็นการเขียนในลักษณะเฟสเซอร์

2.5.1 สมการแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equations)

$$\nabla \times \bar{H} = -j\omega\varepsilon\bar{E} + \sigma\bar{E} \tag{2.1}$$

$$\nabla \bullet \bar{D} = \rho \tag{2.2}$$

$$\nabla \bullet \bar{B} = 0 \tag{2.3}$$

$$\bar{D} = \varepsilon\bar{E} \tag{2.4}$$

$$\bar{B} = \mu\bar{H} \tag{2.5}$$

เมื่อ

$\bar{E}$ = สนามไฟฟ้า

$\bar{D}$ = ฟลั๊กของสนามไฟฟ้า

$\bar{H}$ = ความเข้มสนามแม่เหล็ก

ρ = ความหนาแน่นของประจุเชิงปริมาตร

$\bar{B}$ = สนามแม่เหล็ก

ε = ค่าความยินยอมทางไฟฟ้า

μ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก

105513

2.5.2 สมการของแมกซ์เวลล์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

ในการปฏิบัติแหล่งกำเนิดส่วนมากจะให้ความแตกต่างและกระแสไฟฟ้ารวมทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนตามเวลาเป็นเส้นโค้งรูปซายน์ ตัวอย่างเช่น

$$\bar{E} = \bar{E}_0 \cos \omega t = \bar{E}_0 \cos 2\pi ft$$

หรือ $$\bar{E} = \bar{E}_0 \sin \omega t = \bar{E}_0 \sin 2\pi ft \qquad (2.6)$$

เมื่อเป็นความถี่ของการแปรเปลี่ยน จากสมการ (2.13) แสดงว่ามีแฟกเตอร์ (factor) ของเวลาที่เป็นเส้นโค้งรูปซายน์ปรากฏในทุกพจน์ในสมการใดๆ

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

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

จะได้สนามไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนตามเวลามีรูปแบบดังนี้

$$\bar{E}\,(\mathrm{r,t}) = \mathrm{Re}[\,\bar{E}\,(\mathrm{r})\, e^{j\omega t}] \qquad (2.7)$$

เมื่อ $\bar{E}$ (r) เป็นจำนวนเชิงซ้อน (complex number) ในทำนองเดียวกัน จะได้การขจัดไฟฟ้าความเข้มของสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลาดังนี้

$$\bar{D}\,(\mathrm{r,t}) = \mathrm{Re}[\,\bar{D}\,(\mathrm{r})e^{j\omega t}] \qquad (2.8)$$

$$\bar{H}\,(\mathrm{r,t}) = \mathrm{Re}[\,\bar{H}\,(\mathrm{r})e^{j\omega t}] \qquad (2.9)$$

$$\bar{B}\,(\mathrm{r,t}) = \mathrm{Re}[\,\bar{B}\,(\mathrm{r})e^{j\omega t}] \qquad (2.10)$$

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

พิจารณาจากสมการของแมกซ์เวล เคิร์ลของสนามแม่เหล็ก เมื่อมีการแปรเปลี่ยนตามเวลา

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

แทนค่า $\bar{D}$ (r,t) และ $\bar{H}$ (r,t) จากสมการ (2.8) และ (2.9) ในสมการ (2.10) จะได้

$$\nabla \times \left[\mathrm{Re}\,\bar{H}(r)e^{j\omega t}\right] = \frac{\partial}{\partial t}\left[\mathrm{Re}\,\bar{D}(r)e^{j\omega t}\right] + \mathrm{Re}\left[\bar{J}(r)e^{j\omega t}\right]$$

$$\mathrm{Re}\left[\nabla \times \bar{H}(r)\right] = \mathrm{Re}\left[j\omega\bar{D}(r) + \bar{J}(r)\right]$$

ถ้าความสัมพันธ์นี้เป็นจริงทุกค่าของ t จะได้

$$\nabla \times \bar{H} = j\omega\bar{D} + \bar{J} \tag{2.12}$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการของแมกซ์เวลล์ เคิร์ลของสนามไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนตามเวลาจะได้

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \tag{2.13}$$

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

$$\begin{aligned} \nabla \times \left[\mathrm{Re}\,\bar{E}(r)e^{j\omega t}\right] &= -\frac{\partial}{\partial t}\left[\mathrm{Re}\,\bar{B}(r)e^{j\omega t}\right] \\ \mathrm{Re}\left[\nabla \times \bar{E}(r)\right] &= -\mathrm{Re}\left[j\omega\bar{B}(r)\right] \\ \nabla \times \bar{E} &= -j\omega\bar{B} \end{aligned} \tag{2.14}$$

ดังนั้น สมการของแมกซ์เวลล์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาเป็นเส้นค้างรูปซายน์ จึงมีรูปแบบดังสมการทั้งสี่ (2.22) ข้างล่าง โดยจัดในรูปแบบอนุพันธ์

$$\begin{aligned} \nabla \bullet \bar{D} &= \sigma \\ \nabla \bullet \bar{B} &= 0 \\ \nabla \times \bar{E} &= -j\omega\bar{B} \\ \nabla \times \bar{H} &= j\omega\bar{D} + \bar{J} \end{aligned} \tag{2.15}$$

2.6 โหมดสำหรับการเดินทางของคลื่น (Wave Propagation Modes)

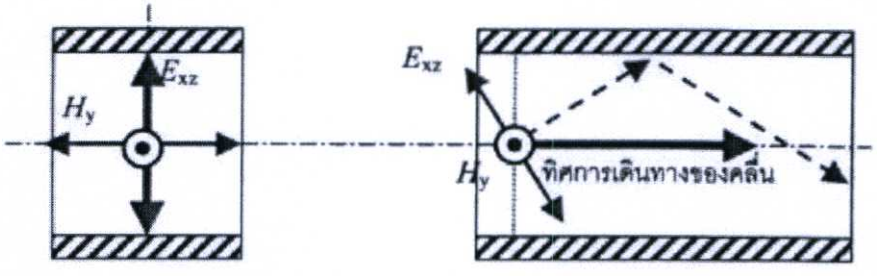
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ในสายส่งใดๆนั้นจะมีลักษณะโหมดการเคลื่อนที่ หรือลักษณะการเคลื่อนที่ภายในสายส่งนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการพุ่งเข้าของคลื่นและรูปทรงภาคตัดขวางของสายส่งสัญญาณไฟฟ้านั้น โดยแต่ละโหมดจะมีรูปแบบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีรูปร่างลักษณะที่สอดคล้องกับภาคตัดขวางภายในของสายนั้นๆซึ่งในทางคณิตศาสตร์แล้วจะเปรียบเหมือนรูปทรงภาคตัดขวางว่าเป็นเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ภายในสายส่งสัญญาณไฟฟ้านั้นๆ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าภาคตัดขวาง (Transverse fields) ที่เกิดขึ้นมานี้จะมีรูปแบบของสนามเฉพาะตัวที่เรียกว่า โหมดภาคตัวขวาง (Transverse mode) โดยทั่งไปแล้วสายส่ง

ได้จำแนกตามประเภทของโหมดการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจำแนกออกเป็นโหมดพื้นฐานได้สามแบบ คือ

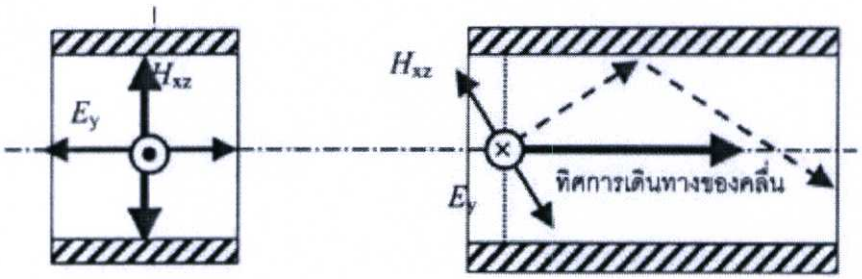
ก) โหมดสนามแม่เหล็กตัดขวาง (Transverse Magnetic Mode :TM Mode) เป็นโหมดที่คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยมีส่วนประกอบของสนามแม่เหล็กเท่านั้นที่ตั้งฉากกับทิศการเดินทางของคลื่นในสายส่งนั้นหรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามแม่เหล็กในทิศทางของคลื่นในสายส่ง ดูรูปประกอบการอธิบายได้ในรูปที่ 2.11(ก)

ข) โหมดสนามไฟฟ้าตัดขวาง (Transverse Electric Mode :TE Mode) เป็นโหมดที่คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยมีส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าเท่านั้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นในสายส่งนั้นหรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามไฟฟ้าในทิศการเดินทางของคลื่นในสายส่ง ดูรูปประกอบการอธิบายได้ในรูปที่ 2.11(ข)

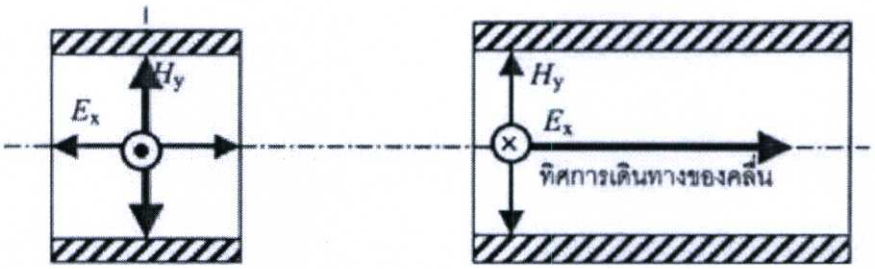
ค) โหมดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดขวาง (Transverse Electromagnetic Mode :TEM mode) เป็นโหมดที่คลื่นที่เคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยมีส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับทิศการเดินทางของคลื่นในสายส่งนั้น หรืออีกนัยหนึ่งคือคลื่นจะเคลื่อนที่ไปตามตัวกลางโดยไม่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในทิศทางการเดินทางของคลื่นในสายส่งเลย ดูรูปประกอบการอธิบายได้ในรูปที่ 2.11(ค) โดยทั่วไปแล้วการเคลื่อนที่ในโหมดนี้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะต้องมีความสมมาตรกันหมด ดังเช่น คลื่นเคลื่อนที่ในอากาศ ในสายโคแอกเซียล (Coaxial) และสายส่งอื่นๆในรูปที่ 2.11(ก) แต่ก็อาจมีโอกาสที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีความสมมารถไม่สมบูรณ์หมดดังเช่นคลื่นที่เคลื่อนที่ในสายส่งแบบไมโครสตริป (Microstrip) ในรูปที่ 2.11(ก) จึงเรียกโหมดย่อยนี้ว่า โหมดกึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดขวาง(Quasi-TEM)



(ก) การเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมดสนามแม่เหล็กตัดขวาง(TM mode)



(ข) การเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมดสนามไฟฟ้าตัดขวาง(TE mode)



(ค) การเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดขวาง(TEM mode)

รูปที่ 2.12 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กกับทิศการเดินทางของคลื่นในโหมดการเคลื่อนที่ในแบบต่าง ๆ

ตัวอย่างของโหมดการเคลื่อนที่ทั้งสามแบบของคลื่นที่เคลื่อนที่ในแผ่นตัวนำคลื่นรูปเหลี่ยมนี้ (Slab Waveguide) ได้แสดงดังในรูปที่ 2.11

ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสายส่งนั้น โดยทั่งไปแล้วจะต้องหาสมการคำตอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กบนแกนต่างๆในที่ว่างอิสระทั้งหมดหกสนามด้วยกันคือ E_x, E_y, E_z , H_x, H_y และ H_z แต่เมื่อมาทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่นของคลื่นในสายส่งสัญญาณแล้ว สามารถที่จะกำหนดรูปแบบโหมดของการเคลื่อนที่เพื่อที่จะลดจำนวนองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่จะคำนวณลงไปได้ เช่นในกรณีที่คลื่นเคลื่อนที่ไปในทิศ z ในโหมด TM สามารถไม่นำ H_z (โดยมี $H_z = 0$) มาพิจารณาจึงเหลือส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กทั้งหมดห้าสนามด้วยกันคือ E_x, E_y, E_z, H_x, H_y และ H_z ในทำนองเดียวกันในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมด TE จะเหลือส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กทั้งหมดห้าสนามด้วยกันคือ E_x, E_y , E_z , H_x , H_y และ H_z (โดยมี $E_z = 0$) สำหรับการเคลื่อนที่ของคลื่นในโหมดสุดท้ายหรือโหมด TEM จะไม่มีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในทิศทางเคลื่อนที่หรือมีสนาม E_z กับ $H_z = 0$ จึงเหลือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงแค่สี่สนามคือ E_x, E_y, E_z , H_x, H_y และ H_z เท่านั้น

นอกจากนี้แล้วการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของโหมดต่างๆสามารถทำให้ง่ายยิ่งขึ้นมาก ถ้าสมมุติการวิเคราะห์คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมีสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าสนามใดสนามหนึ่งอยู่บนหลักต่างๆนั่นคือ แกน x หรือ แกน y แล้วจะทำให้สามารถลดจำนวนสนามบนระนาบ xy สี่สนาม E_x, E_y, H_x และ H_y ลงมาเหลือเป็น E_x กับ H_y หรือ E_y กับ H_x เพียงแค่สองสนามเท่านั้น ดังนั้นสำหรับในกรณีที่คลื่นเคลื่อนที่ไปในทิศ z ในโหมด TM จะมีส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กทั้งหมดที่ต้องพิจารณาเหลือเพียงสามสนามด้วยกันคือ E_x, H_y กับ E_z, E_y เพียง H_x กับ E_z เช่นเดียวกันสำหรับในกรณีที่คลื่นเคลื่อนที่ไปในทิศ z ในโหมด TE จะมีส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กทั้งหมดที่ต้องพิจารณาเหลือเพียงสามสนามด้วยกันคือ E_x, H_y กับ H_z หรือ E_y, H_x กับ E_z ในทำนองเดียวกันการวิเคราะห์ของคลื่นในสายส่งเป็นคลื่นที่อยู่ในรูปแบบของโหมด TEM สามารถจะทำการวิเคราะห์ได้ง่ายที่สุดโดยมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงแค่ E_x กับ H_y หรือ E_y กับ H_x เพียงแค่คู่สนามเดียวเท่านั้น เราจึงมักเริ่มทำการวิเคราะห์หาสมการของคลื่นที่โหมด TEM ก่อนเสมอเนื่องจากเป็นโหมดที่ง่ายที่สุด

2.7 สนามไฟฟ้าในช่องว่างวัสดุ (Electric Fields in Material Space)

การพิจารณาถึงสนามไฟฟ้าสถิตในช่องว่างอวกาศว่าง(Free Space) หรือสุญญากาศ(Vacuum) หรือบริเวณที่ไม่มีวัสดุอยู่(No Material) ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 4 ในบทนี้เราจะพัฒนาขึ้นไปอีก สนามไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ในอวกาศว่าง มันอาจจะเกิดขึ้นได้ในตัวกลางวัสดุ(Material Media) เช่น ตัวกลางที่เป็นกระดาษ ฯลฯ ที่คั่นอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองของตัวเก็บประจุ เราจะเรียกว่าเป็นตัวกลางวัสดุ วัสดุอาจถูกจำแนกอย่างคร่าวๆตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมันได้ดังเช่น ตัวนำไฟฟ้า (Conductor) และตัวไม่นำไฟฟ้า(Nonconductor) ซึ่งไม่นำไฟฟ้าหรือวัสดุไม่นำไฟฟ้า (Nonconducting Material) โดยปกติจะเรียกว่า ตัวฉนวน(Insulator) หรือ ไดอิเล็กตริก(Dielectric) และโดยทั่วๆไป การพิจารณาอย่างคร่าวๆ ถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานความเข้าใจถึงแนวความคิดเกี่ยวกับ การนำ (Conduction), กระแสไฟฟ้า (Electric Current) และการโพลาไรซ์(Polarization) และนอกจากนั้นก็จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric Material)

2.7.1 วัสดุตัวกลาง(Material Media) ในสนามไฟฟ้าสถิต(Static Electric Field)

เราได้พิจารณาถึงสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการกระจายของประจุอยู่กับที่ในอากาศหรืออวกาศว่างมาแล้ว และจากนี้ไปเราจะได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของสนามในวัสดุตัวกลาง(Material Media) โดยทั่วไปเราสามารถจำแนกวัสดุตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้เป็นสามชนิดคือ ตัวนำ(Conductor) สารกึ่งตัวนำ(Semiconductor) และตัวฉนวน(Insulator หรือ Dielectric) ตามการพิจารณาข้างต้นเรา

ได้ทราบแล้วว่าการที่วัสดุจะเป็นตัวนำสารกึ่งตัวนำ หรือตัวนำฉนวนนั้น จะขึ้นอยู่กับอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง

2.7.2 ตัวนำ (Conductors) ในสนามไฟฟ้าสถิต

โดยทั่วไปแล้วปัญหาแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องกับตัวกลางที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์หลายอย่าง และยังต้องทราบถึงความสัมพันธ์ของปริมาณสนามที่ขอบร่วม (Interface) ระหว่างสองตัวกลาง ดังเช่น เราอาจจะต้องการหาวิธีการที่ E และ D เปลี่ยนไปตรงบริเวณขอบร่วม ซึ่งเราทราบมาแล้วว่าเงื่อนไขขอบจะต้องสอดคล้องที่ขอบร่วมระหว่างตัวนำกับอากาศว่าง และเงื่อนไขเหล่านี้ได้กำหนดไว้ในสมการที่ (2.16) และ (2.17)

$$\bar{E}_t = 0 \tag{2.16}$$

$$\bar{E}_n = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0} \tag{2.17}$$

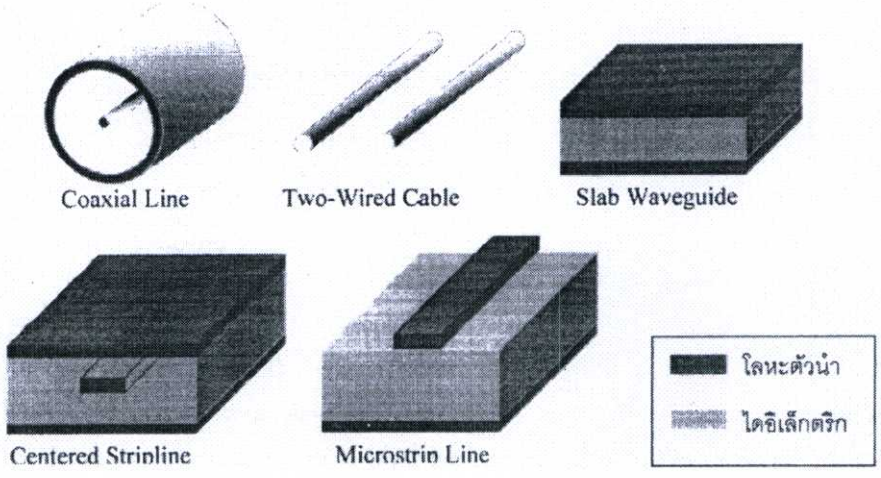
2.7.3 ไดอิเล็กตริก (Dielectrics) ในสนามไฟฟ้าสถิต

ตัวกลางวัสดุทุกชนิดจะประกอบไปด้วยอะตอมที่มีนิวเคลียสประจุบวกถูกล้อมรอบด้วยอิเล็กตรอนประจุลบ ถึงแม้ว่าโมเลกุลของไดอิเล็กตริกจะเป็นกลางแบบมาโครสโคปิก (Macroscopically Neutral) แต่การมีสนามไฟฟ้าอยู่ภายนอกจะเป็นเหตุทำให้เกิดแรงกระทำบนแต่ละอนุภาคประจุ และเป็นเหตุทำให้เกิดการเข้าแทนที่กันของประจุบวกและประจุลบในระยะสั้นๆ ใน ทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งประจุเหล่านี้คือ ประจุผูกพัน(Bound Charge) การเข้าแทนที่กันถึงแม้ว่าจะเป็นระยะสั้นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของอะตอม การเป็นขั้วหรือโพลาไรซ์(Polarize) ของวัสดุไดอิเล็กตริกจะเข้ามาเกี่ยวข้อง และไดโพลไฟฟ้า(Electric Dipole) จะเกิดขึ้นเสมอ ตำแหน่งในการเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งในขณะที่ไดโพลไฟฟ้าเกิดขึ้นนั้นศักย์ไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าจะต้องปรากฏขึ้นด้วย

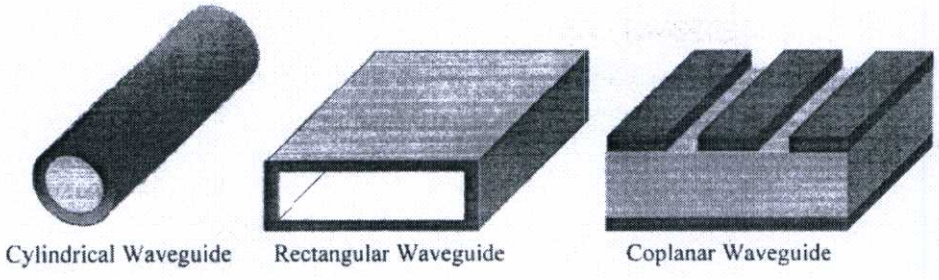
รูปที่ 2.13 ภาคตัดขวางของตัวกลางไดอิเล็กตริกโพลาไรซ์

2.8 สายส่งไมโครเวฟและท่อนำคลื่น (Microwave Transmission Line and Wave Guides)

ในการส่งสัญญาณไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยงโหลดหรือแหล่งที่ใช้พลังงานทางไฟฟ้านั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพึ่งตัวกลางส่งผ่านสัญญาณหรือพลังงานทางไฟฟ้านั้น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วสำหรับในทางไฟฟ้านั้นมักจะใช้สายตัวนำไฟฟ้าสองเส้นเป็นตัวกลางนำส่งสัญญาณหรือกระแสไฟฟ้านั้นๆ โดยทั่วไปคู่สายตัวนำที่ใช้ในการนำกระแสไฟฟ้านั้นเรียกว่า สายส่งสัญญาณไฟฟ้า (Transmission Lines)



ก) สายส่งสัญญาณโหมดTEM(TEM transmission lines)



ข) สายส่งสัญญาณโหมด(Multi-mode Transmission Lines)

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างสายส่งสัญญาณแบบต่างๆ

สายส่งสัญญาณไฟฟ้านั้นมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทขึ้นอยู่กับความถี่และลักษณะการเคลื่อนที่ของสัญญาณในสายส่งนั้นๆ โดยที่ความถี่ต่ำมักจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของสัญญาณคล้ายกับการไหลของกระแสน้ำตามท่อน้ำทั่วไป แต่สำหรับที่ความถี่สูงแล้วมักจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของ

สัญญาณคล้ายกับการเคลื่อนที่ของคลื่นสัญญาณที่ประกอบด้วยสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง

เนื่องจากว่าสายสัญญาณความถี่สูงนั้นจะมีรูปแบบต่างๆที่ได้รับการวิเคราะห์มาแล้วมากมายตากลักษณะโครงสร้างของภาคตัดขวางต่างๆที่แน่นอน โดยทั่งไปแล้วในการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าในสายส่งต่างๆนั้นมักจะสมมุติให้สายส่งเหล่านี้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าตามแนวความยาวที่แน่นอนโดยกำหนดให้มีการกระจายค่างทางไฟฟ้าเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอกันตลอดทั้งเส้น ดังนั้นจึงมักเรียกสายส่งเหล่านี้ว่าสายส่งสัญญาณไฟฟ้าแบบราบเรียบสม่ำเสมอ (Uniform Transmission Lines) โดยมีตัวอย่างของสาส่งประเภทนี้ดังรูปที่ 2.13

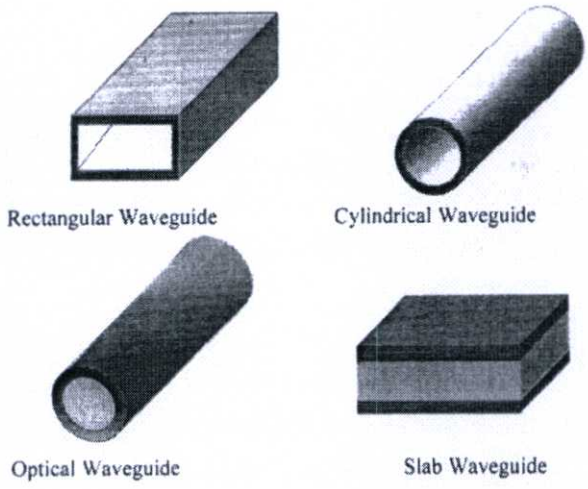
2.8.1 สายส่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้นำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยสายส่งมีโครงสร้างที่ใช้กันทั่วไปสี่แบบคือ

1. สายตัวนำคู่ขนาน
2. สายโคแอกเซียล
3. ท่อนำคลื่นหรือเวฟไกด์ (Wave Guide)
4. ไมโครสตริพ หรือ สายสตริพ

สายตัวนำคู่ขนานมักใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟช่วงความถี่ต่ำเท่านั้น ข้อจำกัดหลักนี้ได้มาจากการสูญเสียในการกระจายคลื่นซึ่งเป็นการสูญเสียเนื่องมาจากสารไดอิเล็กตริกและปรากฏการณ์ความลึกผิว (Skin Depth) ที่ย่านความถี่เหนือ 200 MHz สายโคแอกเซียลจะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ความถี่สูงกว่านี้

สายโคแอดเซียลมีการพัฒนาในเรื่องการลดการสูญเสียพลังงานในการเคลื่อนที่ของคลื่นจากโครงสร้างการชิลด์ของสายที่เป็นตัวนำทรงกระบอกหุ้มรอบแกนตัวนำด้านใน แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากฉนวนไดอิเล็กตริกภายในและปรากฏการณ์ความลึกผิวอยู่ดี

ท่อนำคลื่นหรือเวฟไกด์จัดเป็นสายส่งย่านความถี่ไมโครเวฟหรือเป็นท่อนำคลื่นในย่านความถี่สูงที่ดีที่สุดสำหรับโครงสร้างทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้ว ท่อนำคลื่นที่ใช้งานได้มีการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมกับย่านความถี่ที่ใช้งานโครงสร้างตัวอย่างที่แสดงในรูปที่2.14 แต่เนื่องจากคลื่นเดินทางท่อนำคลื่นทั่งไปนั้นไม่อาจจะเป็นเพียงแค่โหมดพื้นฐาน TEM บริสุทธิ์เท่านั้นแต่มีโหมดการเคลื่อนที่แบบอื่นๆอีกที่สามารถเคลื่นที่อยู่ในท่อนำคลื่นนั้นๆได้ ดังนั้นการวิเคราะห์คลื่นบนท่อนำคลื่นจะต้องคำนึงถึงโหมดการเดินทางของคลื่นโหมดอื่นๆที่สามารถจะเป็นไปได้คือโหมด TM กับ TE



รูปที่ 2.15 ท่อนำคลื่นแบบต่างๆ

2.9 สมการความร้อนในทางชีววิทยา (The Bio heat Equation)

ในการวิเคราะห์ด้วยความถี่ไมโครเวฟได้พิจารณาถึงสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปอด การดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปอด ซึ่งรูปแบบของสมการ หรือตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการกระจายความร้อน ในปอดแสดงดังสมการที่ (2.18)

$$pc\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(k \bullet \nabla T) - h_b c_b \omega_b (T_b - T) + Q_m + Q_{ext} \qquad (2.18)$$

เมื่อ

$h_{b1} = \rho_{b1} c_{b1} \omega_{b1}$

ρ = ความหนาแน่นจำเพาะของเนื้อเยื่อ (kg/m^3)

c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเนื้อเยื่อ (J/kg.K)

k = ค่าความนำความร้อนของเนื้อเยื่อ (W/m.K)

h_b = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากเลือดที่ไหลซึมอยู่ในเนื้อเยื่อ

ρ = ความหนาแน่นเลือด (kg/m^3)

c_b = ค่าความร้อนจำเพาะของเลือด (J/kg●K)

ω_b = อัตราฉีดเลือด (1/s)

T_b = ค่าอุณหภูมิเลือด (37 °C)

Q_m = ค่าความร้อนจากกระบวนการเมตาโบลิซึมของเม็ดเลือด (W/m^3)

Q_{ext} = ค่าความร้อนจากภายนอก (W/m^3)

จากสมการ Bioheat (2.18) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ละทิ้งค่าตัวแปรจำนวน 2 ตัว คือ สัมประสิทธิการพาความร้อนจากเลือดที่ไหลซึมอยู่ในเนื้อเยื่อ (h_b) และพลังงานที่สร้างขึ้นโดยกระบวนการเมตาโบลิซึมของเม็ดเลือด (Q_m) ซึ่งค่าตัวแปรทั้ง 2 นี้ จะถือว่ามีค้าน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณ Q_{ext}

2.9.1 สมการการดูดซับความร้อน

พิจารณาจาก สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก ที่มีการแพร่กระจายลงเนื้อเยื่อปอด จะเกิดการสูญเสียพลังงานในเนื้อเยื่อปอด ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสมการ ดังสมการที่ (2.19)

$$SAR = \frac{1}{\rho} Q_{ext} = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 \tag{2.19}$$

เมื่อ

SAR = Specific absorption rate (W/kg)

Q_{ext} = ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกเนื้อเยื่อ (W/m^3)

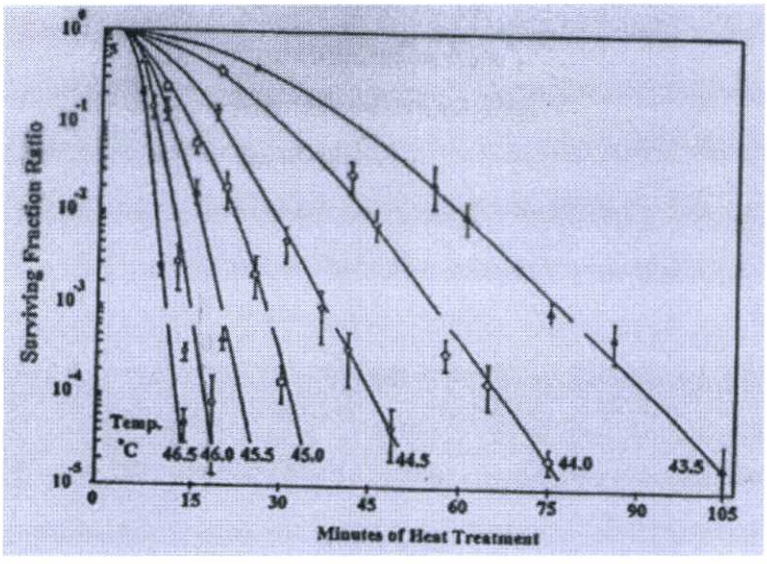
σ = สภาพความนำไฟฟ้าของเนื้อเยื่อ (S/m)

ρ = ความหนาแน่นจำเพาะ (kg/m^3)

2.10 พื้นฐานการกระจายความร้อนภายในเนื้อเยื่อ

การใช้ความร้อนในการรักษาโรค เป็นการรักษาที่ทำให้อุณหภูมิ ณ บริเวณนั้น สูงขึ้นอยู่ในช่วง 41 – 46 องศาเซลเซียส เซลล์ที่อยู่บริเวณนั้นๆ จะได้รับผลกระทบ และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับอุณหภูมิ การใช้ความร้อนในการรักษาโรคมะเร็ง ได้มีการพัฒนาเทคนิค ที่เรียกว่า Hyperthermal cancer therapy ซึ่งมีการเริ่มใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 โดยการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อน เป็นรูปแบบการรักษาโรคมะเร็งแบบใหม่ ซึ่งมีพื้นฐาน และหลักการทางชีววิทยาที่สามารถพิสูจน์ ทดลอง และสามารถอธิบายได้ ซึ่งในปัจจุบันการรักษาโรคมะเร็งโดยใช้ความร้อนนี้สามารถรักษาโรคมะเร็งชนิดต่างๆ ได้ทั่วร่างกาย และได้ผลการรักษาที่น่าสนใจ การรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน อาศัยหลักการให้ความร้อนกับเซลล์มะเร็งอยู่ในช่วง 41 – 46 องศาเซลเซียส และรักษาระดับของอุณหภูมิไว้ให้คงที่ พื้นฐานของปรากฏการณ์ทางชีววิทยาสำหรับการรักษาโรคมะเร็งด้วยความร้อน จะมีอยู่สองปริมาณที่มีความสำคัญในการรักษา คือ อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งตาม รูปที่ 2.15 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่ส่งผลต่อปริมาณเซลล์มะเร็งที่รอนตายจากการให้ความร้อน รูปที่ 21 เมื่อให้อุณหภูมิสูงแก่เซลล์มะเร็งในช่วงเวลาเริ่มต้นเซลล์มะเร็งจะสูญเสียเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อมีการลดอุณหภูมิที่ให้แก่เซลล์มะเร็งผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ ต้องใช้เวลามากขึ้นเพื่อทำให้เซลล์มะเร็งตาย ในการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงๆ แก่ เซลล์ จำนวนเซลล์จะเกิดการสูญเสียมาก และจะทำให้เซลล์ปกติ

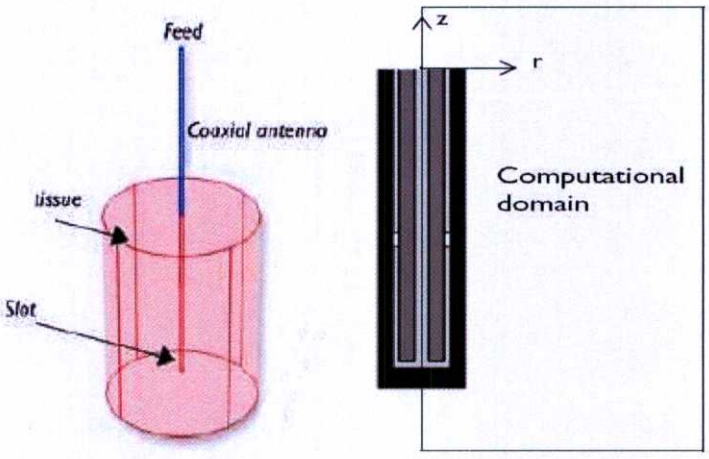
ที่อยู่รอบๆ เซลล์มะเร็งได้รับความเสียหายได้เช่นกัน ดังนั้นในการเพิ่มอุณภูมิให้เหมาะสมนั้น สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้จำนวนมาก และไม่เป็นอันตรายแก่เซลล์ปกติ



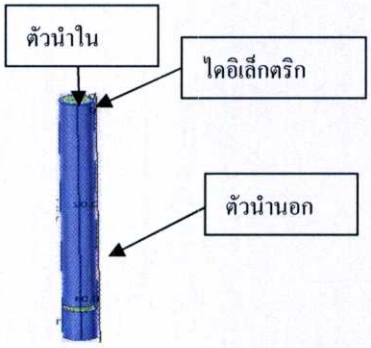
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์มะเร็ง

2.11 หลักการของเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง

จากรูปที่ 2.16 เป็นการแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองของการรักษาด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยใช้สายอากาศแบบโคแอกเชียลแบบสล็อต โดยทรงกระบอกกลมแทนเนื้อเยื่อทดสอบโดยสายอากาศโคแอกเชียลถูกแทงเข้าไปในเนื้อเยื่อทดสอบ และสายอากาศจะถูกจ่ายกำลังงานคลื่นไมโครเวฟที่จุดบนตรงส่วนของชั้นฉนวน (Feed) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกปล่อยออกมาบริเวณสล็อต จากนั้นเนื้อเยื่อจะถูกทำให้เกิดความร้อนซึ่งเป็นไปตามสมการของซาร์ โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเดินทางในสายโคแอคเชียลอยู่ในโหมดของ TEM โดยสมมุติว่าคลื่นเป็นคลื่นฮาโมนิกส์แบบเชิงซ้อน



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของสายอากาศแบบโคแอกเชียลในเนื้อเยื่อทดสอบ

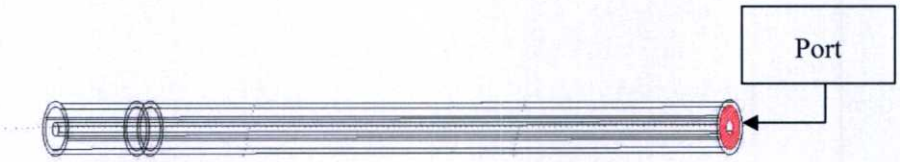


รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแบบสล็อตโคแอกเชียล

สายอากาศโคแอกเชียลจะประกอบไปด้วยชั้นสามชั้นด้วยกันชั้นแรกเป็นชั้นของตัวนำใน ชั้นถัดมาเป็นชั้นของไดอิเล็กตริก และชั้นสุดท้ายเป็นชั้นของตัวนำนอกโดยเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านสายโคแอกเชียลจะมีกระบวนการจะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้กับแบบจำลองโดยตัวอย่างต่อไปนี้จะเป็นการกำหนดเงื่อนไขขอบของสายอากาศแบบหนึ่งสล็อต

2.11.1 เงื่อนไขขอบเขตของพอร์ต (Port)

ใช้เงื่อนไขนี้สำหรับใส่ค่ากำลังของคลื่นไมโครเวฟที่จ่ายให้กับสายอากาศโดยกำหนดเป็นค่ากำลัง เช่น 5 W. โดยจะจ่ายให้กับชั้นไดอิเล็กตริกตามรูปเนื่องจากคลื่นจะเดินทางในชั้นนี้



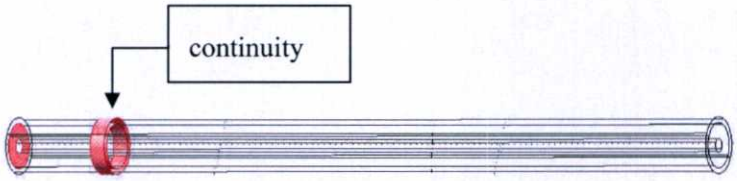
รูปที่ 2.19 แสดงจุดจ่ายกำลังงานคลื่นไมโครเวฟให้กับสายอากาศ

2.11.2 เงื่อนไขขอบเขตของความต่อเนื่อง (Continuity)

เงื่อนไขนี้เป็นเงื่อนไขที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติที่แสดงให้ถึงความต่อเนื่องขององค์ประกอบในแนวเส้นสัมผัสของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

$$n\times\left(\bar{H}_1-\bar{H}_2\right)=0 \tag{2.20}$$

$$n\times\left(\bar{E}_1-\bar{E}_2\right)=0 \tag{2.21}$$

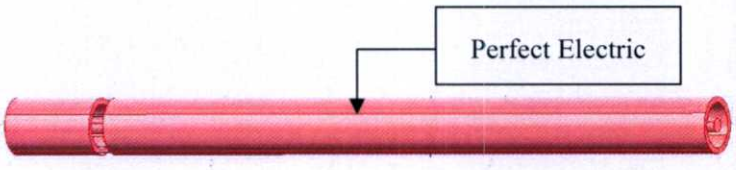


รูปที่ 2.20 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตต่อเนื่อง

จากรูปบริเวณที่เป็นความต่อเนื่อง (Continuity) จะเป็นบริเวณที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง

2.11.3. เงื่อนไขขอบเขตของตัวนำ(Perfect Electric Conductor)

เป็นกรณีของเงื่อนซึ่งกำหนดให้องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวขนานกับผิวตัวนำมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2.21 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตตัวนำ

จากสมการแสดงให้เห็นว่าไม่มีความต่างศักดิ์บริเวณผิวตัวนำหรือเรียกได้ว่าไม่มีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่มีทิศขนานกับผิวตัวนำ

2.11.4 เงื่อนไขขอบของเนื้อเยื่อ (Scattering Boundary)

ใช้เงื่อนไขนี้เมื่อต้องการขอบเขตที่ไม่ก่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่น โดยมีสมการที่ใช้คือ

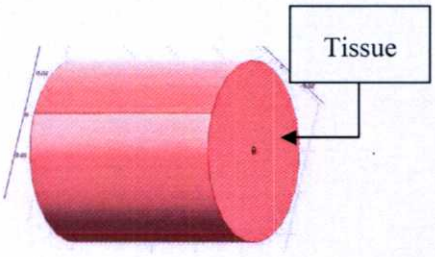
Plane scattered wave $$\bar{E} = \bar{E}_{SC} e^{-jk(n.r)} + \bar{E}_S e^{-jk(k.r)} \quad (2.22)$$

Cylindrical scattered wave $$\bar{E} = \bar{E}_{SC} \frac{e^{-jk(n.r)}}{\sqrt{r}} + \bar{E}_S e^{-jk(k.r)} \quad (2.23)$$

Spherical scattered wave $$\bar{E} = \bar{E}_{SC} \frac{e^{-jk(n.r)}}{\sqrt{r_s}} + \bar{E}_S e^{-jk(k.r)} \quad (2.24)$$

เมื่อ

r_s = รัศมีของทรงกลม



รูปที่ 2.22 แสดงบริเวณที่เป็นขอบเขตสะท้อน

E_0เป็นระนาบตกกระทบของคลื่นระนาบซึ่งเดินทางในทิศ k โดยเงื่อนไขขอบเขตนี้จะปล่อยให้คลื่นผ่านตัวมันไปในทุกๆมุนตกกระทบ

2.12 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปเมตริกซ์สมการพื้นฐานทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่สูง และสมการความสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิ

2.12.1 พื้นฐานสมการทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

$$\nabla \times \{\bar{H}\} = \{J\} + \left\{\frac{\partial D}{\partial t}\right\} = \{J_s\} + \{J_e\} + \{J_v\} + \left\lfloor \frac{\partial D}{\partial t} \right\rfloor \tag{2.25}$$

$$\nabla \times \bar{E} = -\left\{\frac{\partial B}{\partial t}\right\} \tag{2.26}$$

$$\nabla . \{B\} = 0 \tag{2.27}$$

$$\nabla \bullet \{D\} = \rho \tag{2.28}$$

เมื่อ

$\nabla \times$ = ตัวปฏิบัติการเคิร์ล

$\nabla .$ = ตัวปฏิบัติการไดเวอร์เจนซ์

$\{H\}$ = เวกเตอร์ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

$\{J\}$ = เวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแสรวม

$\{J_S\}$ = เวกเตอร์ความหนาแน่นของแหล่งกำเนิกกระแส

$\{J_e\}$ = เวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ

$\{J_{VS}\}$ = เวกเตอร์อัตราความเร็วของความหนาแน่นของกระแส

$\{D\}$ = เวกเตอร์ความหนาแน่นของฟลั๊กซ์ไฟฟ้า

$\{E\}$ = เวกเตอร์ความเข้มของสนามไฟฟ้า

$\{B\}$ = เวกเตอร์ความหนาแน่นฟลั๊กซ์แม่เหล็ก

ρ = ความหนาแน่นของประจุไฟฟ้า

t = เวลา

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

เมื่อ

σ_{xx} = สภาพการนำไฟฟ้าในแนวแกน x มีหน่วยเป็น S/m

ε_{xx} = สภาพยินยอมทางไฟฟ้าในแนวแกน x มีหน่วยเป็น F/m

2.12.2 การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่ความถี่สูง

จากสมการ (2.31) และสมการ (2.32) เป็นสมการแมกซ์เวลล์ถ้าพิจารณาในกรณีที่มีสัญญานฮาร์มอนิกโดยเขียนในรูปของ e^{jwi} จะได้เวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าในรูปของสมการเฮล์มโฮลตซ์ดังสมการที่ (2.33)

$$\nabla \times \left[\overline{\overline{u_r}}^{-1} . (\nabla \times E) \right] - k_0^2 \overline{\overline{\varepsilon_r}} . \bar{E} = j\omega\mu_0 \vec{J}_s \qquad (2.33)$$

เมื่อ

$\bar{E}$ = เวกเตอร์สนามไฟฟ้า

$\overline{\overline{\varepsilon_r}}$ = ค่าความยินยอมทางไฟฟ้าสัมพันธ์

μ_0 = ค่าความซึมซับแม่เหล็กในฟรีสเปซ

$\overline{\overline{\mu_r}}$ = ค่าความซึมซับแม่เหล็กในฟรีสเปซ

k_0 = จำนวนคลื่น (Vacuum Wave Number)

ω = ค่าความถี่เชิงมุม

$\vec{J}_s$ = เวกเตอร์ความหนาแน่นของกระแสแหล่งกำเนิด

จากสมการ (2.32) สามารถหาค่าของสนามไฟฟ้าได้จากสมการที่ (2.34) และหาค่าของสนามแม่เหล็กได้จากสมการที่ (2.35)

$$\bar{E} = \sum_{i=1}^{N} \bar{W}_i E_i \qquad (2.34)$$

$$\bar{H} = \frac{j}{\omega\mu_0} \overline{\overline{\mu}}^{-1} . \sum_{i=1}^{N} \nabla \times \bar{W}_i \bar{E}_i \qquad (2.35)$$

เมื่อ

$\vec{E}$ = เวกเตอร์ความเข้มของสนามไฟฟ้า

$\vec{H}$ = เวกเตอร์ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

E_i = สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเอลิเมนต์

$\vec{W}$ = รูปแบบฟังก์ชันเวกเตอร์ของเอลิเมนต์แต่ละแบบ

2.12.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กับความร้อนที่ใช้ในวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีรูปแบบของสมการทางคณิศาสตร์แบบเมตริกซ์ซึ่งแสดงได้ดังสมการ (2.36)

$$\begin{bmatrix}[C] & [0]\\ [0] & [0]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\dot{T}\}\\ \{0\}\end{Bmatrix}+\begin{bmatrix}[K_c] & [0]\\ [0] & [K_v]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{T\}\\ \{0\}\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}\{Q\}\\ \{I\}\end{Bmatrix} \qquad (2.36)$$

ให้

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

เมื่อ

$[C]$ = เมตริกซ์ของความร้อนจำเพาะ

$\{\dot{T}\}$ = เอลิเมนต์ของการนำความร้อน

$\{T\}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่โหนดโดยสัมพันธ์กับเวลา

$\{V\}$ = เวกเตอร์แรงดันที่โหนด

$[K_c]$ = เวกเตอร์อัตราการไหลของความร้อนที่โหนดนั้นๆ

$[K^v]$ = เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนภายใน

$[K^m]$ = เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนจากสมการ Joule heating

$\{Q\}$ = ความร้อนรวม

$\{Q^{nd}\}$ = เวกเตอร์อัตราการไหลของความร้อนที่โหนดนั้นๆ

$\{Q^{g}\}$ = เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนภายใน

$\{Q^{j}\}$ = เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนจากสมการ Joule heating

$\{Q^{c}\}$ = เวกเตอร์การพาความร้อนที่ผิว

$\{I\}$ = โหลดเวกเตอร์อันเนื่องมาจากการไหลของกระแสที่โหนด

จากสมการที่ (2.36) เป็นสมการที่มีการใช้ลักษณะการคำนวณของเมตริกซ์ ที่มีความสัมพันธ์รูปแบบของอุณหภูมิ และกระแสไฟฟ้า ฟลั๊กแม่เหล็ก และค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิซึ่งจะถูกกำหนดด้วยการนำพาความร้อน Q, อุณหภูมิ T, ความร้อนจำเพาะ C, การนำพาความร้อน K และในส่วนของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า จะถูกกำหนดด้วยแรงดัน V, กระแส I, ในสมการค่าของพารามิเตอร์ Q^j เวกเตอร์อัตราการเกิดความร้อนจากสมการ Joule heat ดังในสมการที่ (2.37)

$$Q^j = \mathrm{Re}\left(\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}[\rho]\{J_{ti}\}\bullet\{J_{ti}\}^*\right) \tag{2.37}$$

เมื่อ Q^j = Joule Heat ต่อหน่วยปริมาตร

n = จำนวนเอลิเมนต์ที่อินทิเกรต

$[\rho]$ = เมตริกซ์ของสภาพความต้านทาน

Re = จำนวนจริงขององค์ประกอบ

$\{J_{ti}\}$ = ความหนาแน่นของกระแสรวมในแต่ละเอลิเมนต์

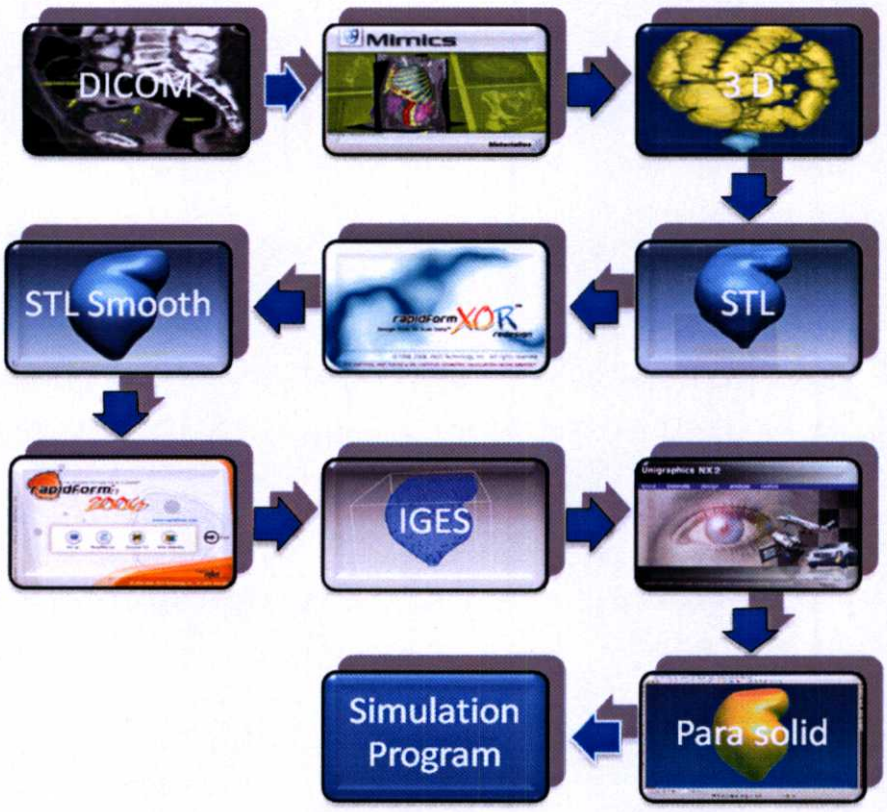
$\{\ \}^*$ = คอนจูเกตของความหนาแน่นของกระแสรวมในแต่ละเอลิเมนต์

บทที่ 3
ขั้นตอนการออกแบบ และการการสร้างแบบจำลอง

เนื่องจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้ในการจำลองรูปแบบต่างๆ เช่น การกระจายความร้อน การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งส่วนใหญ่ได้นำไปใช้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์การแพทย์ต่างๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการจำลองการทำลายเซลล์มะเร็งบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย โดยใช้โปรแกรมคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และเพื่อให้เกิดความเสมือนจริงทางผู้วิจัยได้นำภาพลำไส้ใหญ่จากภาพ ซี ที สแกน (CT Scan) เพื่อสร้างแบบจำลองที่เสมือนจริงมากที่สุด โดยวิธีการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จะกล่าวถึงในบทนี้

3.1 การสร้างแบบจำลองจากภาพ ซี ที สแกน(CT Scan)

3.1.1 Block diagram ของการสร้างภาพ CT



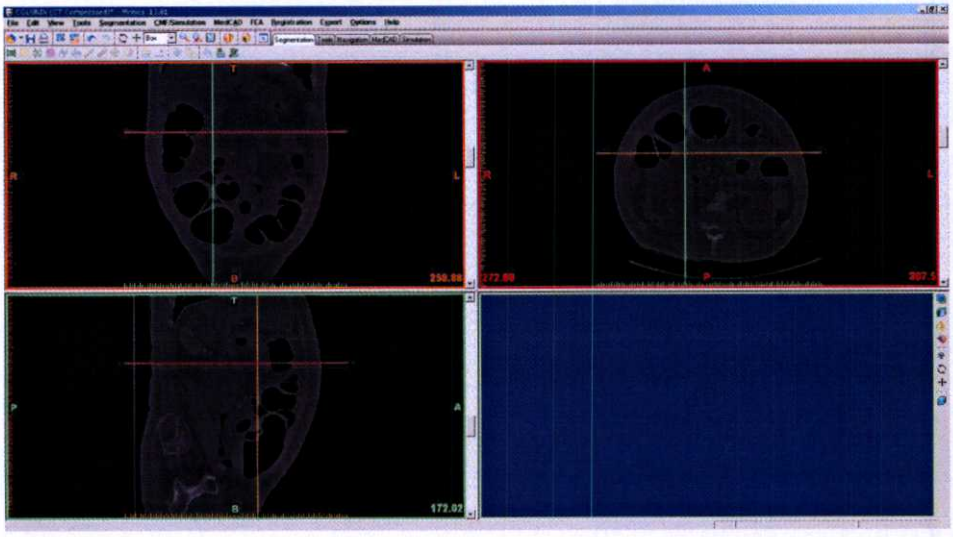
รูปที่ 3.1 แสดง Block Diagram การสร้างแบบจำลองลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจากภาพ ซี ที สแกน(CT Scan)

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์จากภาพซี ที สแกน (CT Scan) เป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากมีโปรแกรมหลายโปรแกรมเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมสร้างภาพ 3 มิติ หรือ โปรแกรมที่ใช้ในการปรับผิวรวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการสร้าง CAD ซึ่งจะอธิบายเป็น Block Diagram ได้ดังรูปที่ 3.1

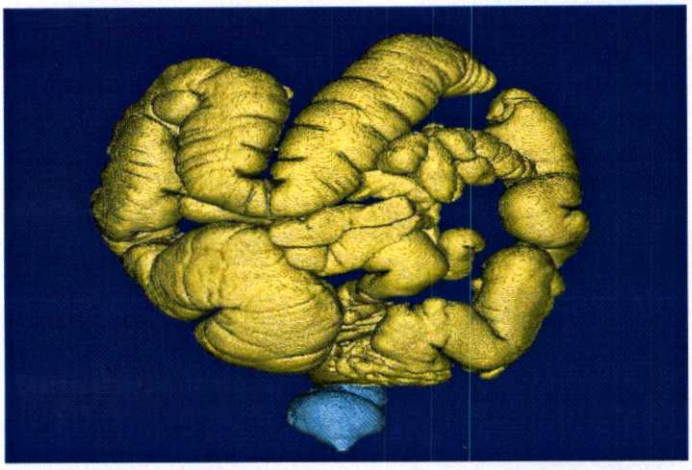
3.1.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจากภาพ ซี ที สแกน(CT Scan)

3.1.2.1 การสร้างภาพ 3 มิติ

นำภาพลำไส้ใหญ่ที่ได้จากเครื่อง ซี ที สแกน(CT Scan) มาทำการสร้างภาพให้เป็นลักษณะ 3 มิติ โดยภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้จาก[12] ซึ่งเป็นภาพ ซี ที สแกน(CT Scan) มีจำนวน 889 ภาพ และมีความหนาของ Slice 1 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.2 และส่วนนามสกุลไฟล์ภาพนั้นเป็น DICOM ซึ่งเป็นนามสกุลมาตรฐานในวงการแพทย์ และได้นำไฟล์ที่มีนามสกุล DICOM มาเข้าโปรแกรมที่สามารถสร้างภาพให้เป็นลักษณะ 3 มิติ โดยโปรแกรมที่ใช้สร้างภาพ 3 มิติ ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้มีชื่อว่าโปรแกรม Mimics และสามารถทำการเลือกบริเวณที่ต้องการจะสร้างภาพ 3 มิติได้ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย ซึ่งก็คือบริเวณสีฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.3 และเซฟไฟล์ภาพ 3 มิติที่แสดงดังรูปที่ 3.3 ให้เป็นนามสกุล .STL เพื่อนำไปดำเนินการในขั้นตอนวิธีการปรับผิวของรูปแบบจำลอง ซึ่งอยู่ในหัวข้อ 3.1.2.2



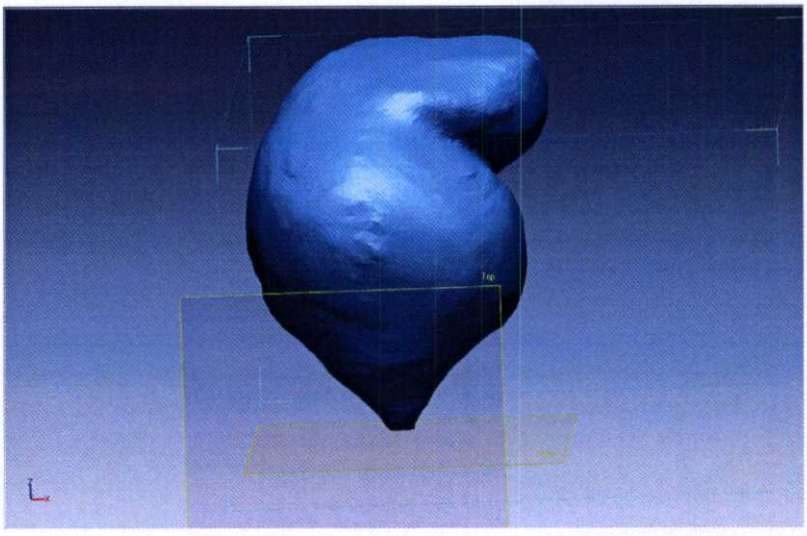
รูปที่ 3.2 ภาพที่ได้จาก ซี ที สแกน (CT Scan)



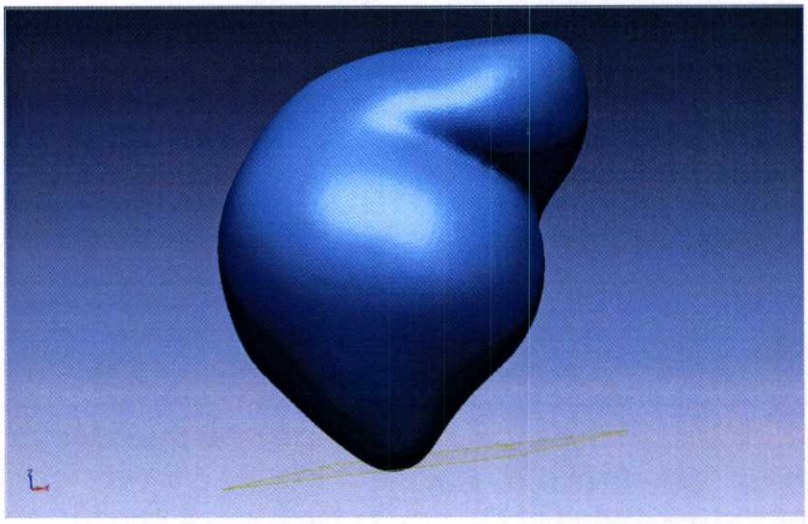
รูปที่ 3.3 แสดงภาพ 3 มิติ จากภาพ ซี ที สแกน (CT Scan)

3.1.2.2 วิธีการปรับผิวของรูปแบบจำลอง

ในลำดับต่อมาเมื่อทำการสร้างภาพเป็น 3 มิติ แล้วทำการนำภาพ 3 มิติที่ได้มาทำการปรับผิวให้เรียบด้วยโปรแกรม Rapidform ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สนับสนุนไฟล์นามสกุล .STL โดยภาพ 3 มิติ ที่ได้นั้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจากลักษณะที่เห็นดังรูปที่ 3.4 มีลักษณะของผิวที่ไม่เรียบ ทำให้ไม่สามารถนำไปจำลองในโปรแกรมจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ จึงทำการตกแต่งผิวให้เรียบ ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 3.5



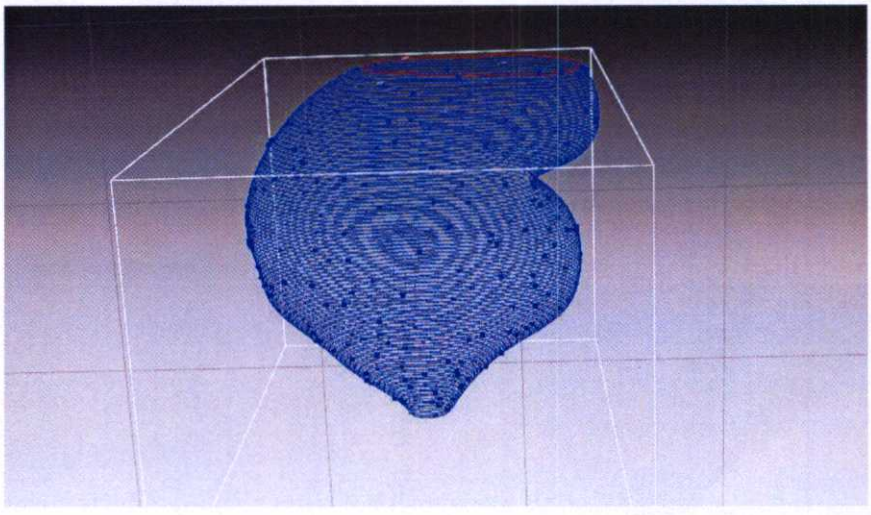
รูปที่ 3.4 แสดงภาพ 3 มิติที่ผิวไม่เรียบ



รูปที่ 3.5 แสดงภาพ 3 มิติที่ทำการแต่งผิวให้เรียบ

3.1.2.3 วิธีการสร้างภาพตัดขวาง

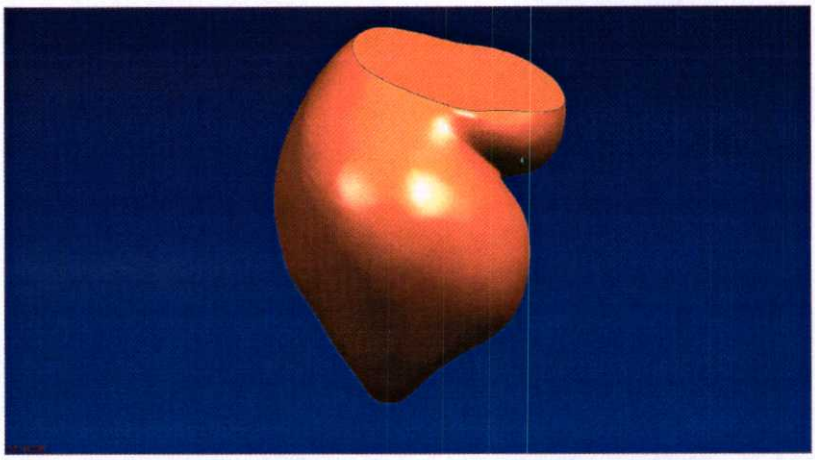
เมื่อทำการตกแต่งผิวให้เรียบจากโปรแกรม Rapidform จะได้ดังรูปที่ 3.5 จึงทำการสร้างเส้นตัดขวาง เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองเพื่อใช้จำลองในโปรแกรมคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพราะเนื่องจากภาพที่ได้นั้นเป็นไฟล์นามสกุล .STL ซึ่งมีแต่ผิว (Face) ไม่เป็นรูปทรงที่มีปริมาตร (Solid) โดยรูปที่ 3.6 เป็นรูปที่เกิดจากการสร้างเส้นตัดขวาง 500 เส้นของรูปที่ 3.5 ซึ่งใช้โปรแกรม Rapidform 2006 แล้วทำการเซฟไฟล์เป็นนามสกุล .IGES



รูปที่ 3.6 การสร้างเส้นตัดขวาง

3.1.2.4 วิธีการขึ้นรูปที่มีปริมาตร

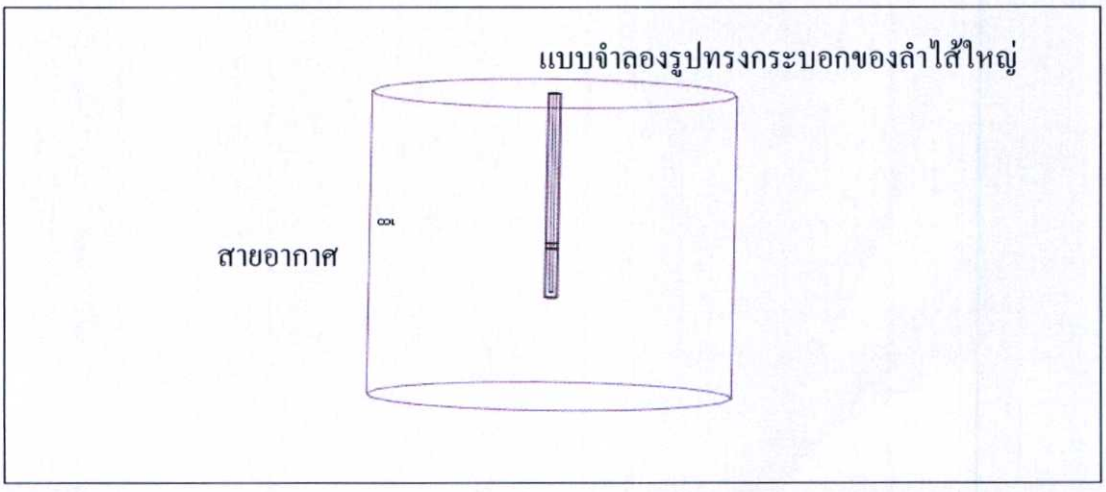
เมื่อทำการสร้างเส้นตัดขวางเรียบร้อย จึงนำไปขึ้นรูปให้เกิดเป็นรูปที่มีปริมาตร(Solid) เพื่อนำไปทำการจำลองด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังที่แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยใช้โปรแกรม UG NX ทำเป็นไฟล์นามสกุล Parasolid ซึ่งสามารถนำมาเข้าโปรแกรมที่คำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์



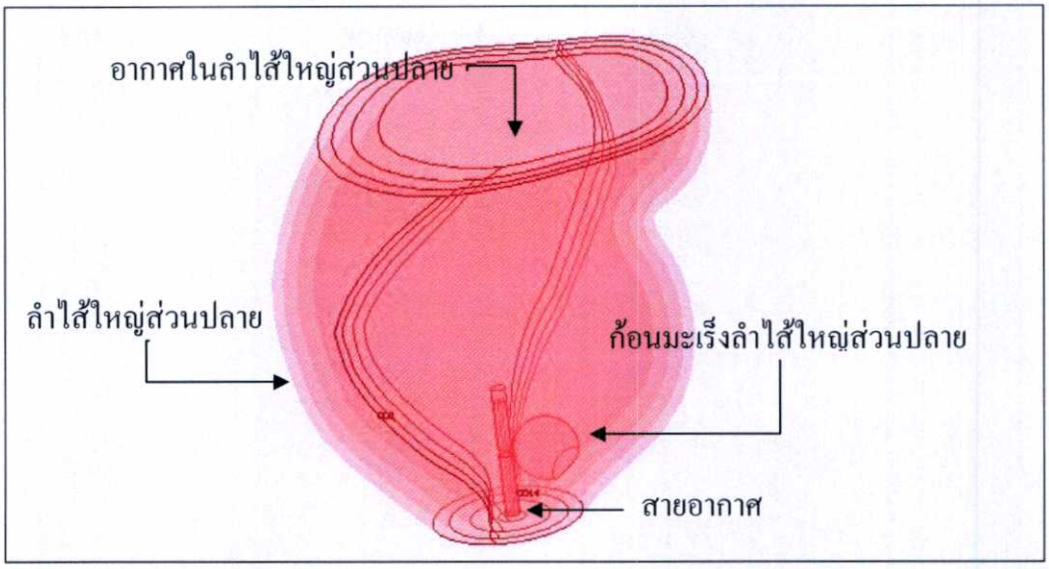
รูปที่ 3.7รูปที่มีปริมาตร(Solid)

3.2 การออกแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.1 รูปแบบของแบบจำลอง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 โดยแสดงดังรูป 3.8 และ 3.9 โดยประกอบด้วย



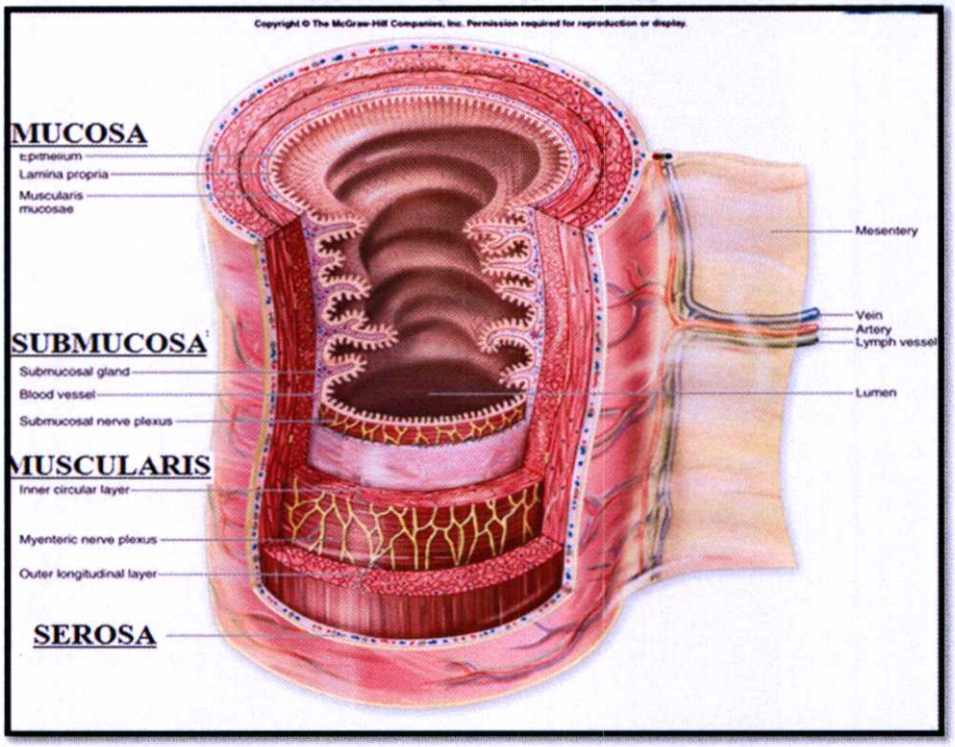
รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองรูปทรงกระบอกของลำไส้ใหญ่



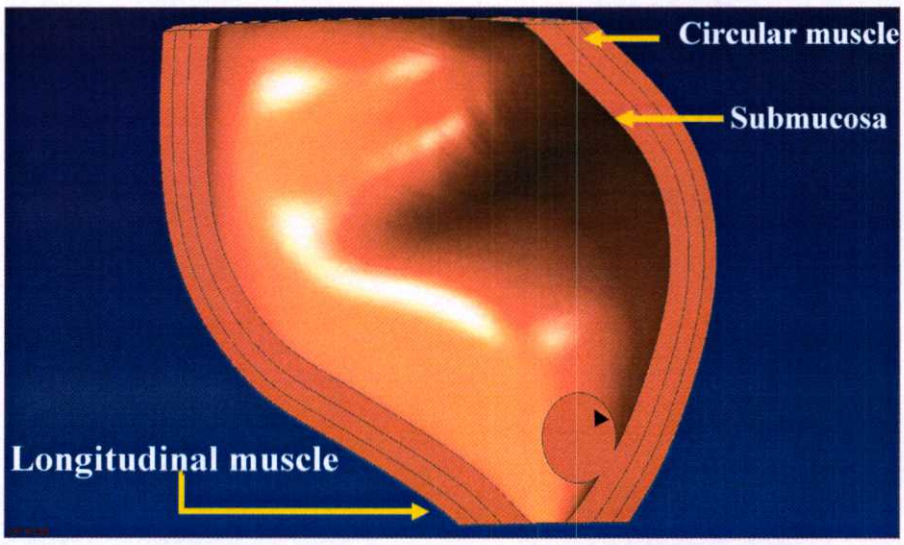
รูปที่ 3.9 แสดงแบบจำลองที่ใช้คำนวณการทำลายเซลล์ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย

จากรูปที่ 3.8 เป็นรูปแบบการจำลองโดยลักษณะให้ลำไส้ใหญ่เป็นทรงกระบอกโดยการออกแบบรูปแบบจำลองแบบนี้เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบการกระจายคลื่นของอุณหภูมิของสายอากาศ 2 แบบ คือ สายอากาศแบบปลายเปิด(Open Tip) กับสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) โดยให้คุณลักษณะทางความร้อนกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าของรูปแบบจำลองทรงกระบอก ให้มีค่าเท่ากับคุณลักษณะทางความร้อนกับคุณลักษณะทางไฟฟ้าของลำไส้ใหญ่

ต่อมารูปที่ 3.9 เป็นรูปแบบจำลองลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจากภาพ CT และมีการเพิ่มส่วนที่เป็นก้อนเซลล์มะเร็งลงไปด้วยและเนื่องจากลักษณะกายวิภาคของลำไส้ใหญ่มีลักษณะเป็นชั้น โดยแบ่งเป็นชั้นหลักๆ ได้ 3 ชั้น ได้แก่ 1 Submucosa ซึ่งมีขนาดความหนาอยู่ระหว่าง2ถึง2.5มิลลิเมตร [9] 2 Circular Muscle มีขนาดความหนาอยู่ระหว่าง 2ถึง 5 มิลลิเมตร[9] 3 Longitudinal Muscle มีขนาดความหนาอยู่ระหว่าง 1.63 ถึง 2.07 มิลลิเมตร[10] ซึ่งแสดงรายละเอียดดังรูป 3.10 และรูปที่ 3.11 เป็นรูปแบบจำลองซึ่งนำมาใช้ในการจำลองการทำลายเซลล์มะเร็ง บริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนปลายให้มีลักษณะและชั้นของผนังลำไส้ใกล้เคียงของจริงมากที่สุด



รูปที่ 3.10 รูปลักษณะกายวิภาคของผนังลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย

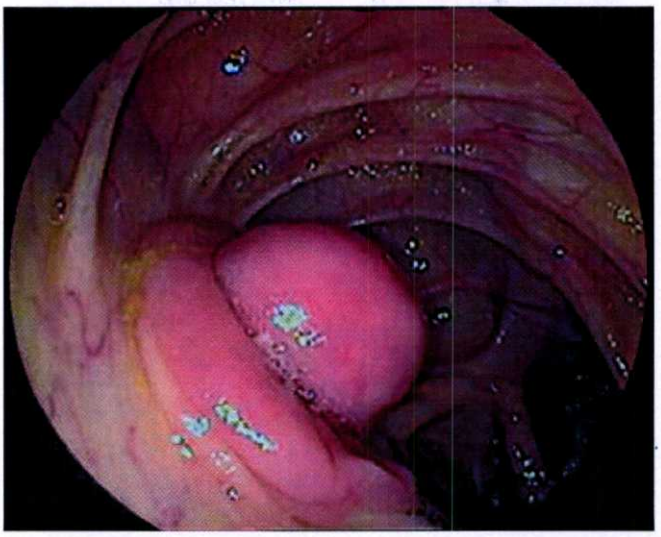


รูปที่ 3.11 รูปลักษณะลำไส้ใหญ่ส่วนปลายที่ใช้ในการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

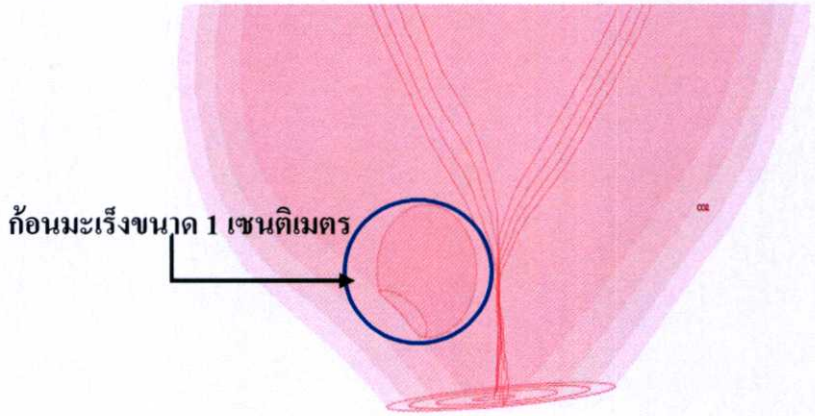
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าความหนาของผนังลำไส้ใหญ่ที่สร้างในแบบจำลองดังรูปที่ 3.11

ชั้นลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย	ความหนา (mm)
Submucosa	2
Circular muscle	2
Longitudinal muscle	1.63

ซึ่งค่าความหนาของผนังลำไส้ใหญ่จากตารางที่ 3.1 ที่นำมาใช้เป็นค่าความหนาที่มีขนาดมาตรฐานในเกณฑ์ที่พบมากที่สุด ในลำดับต่อมาเนื่องจากการรักษามะเร็งลำไส้ใหญ่ที่ต้องการรักษา อยู่ในระยะเริ่มต้น ดังนั้นขนาดของมะเร็งระยะเริ่มต้นจะมีขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร และจะอยู่บริเวณชั้นที่เรียกว่า Submucosa ซึ่งในแบบจำลองจึงทำการจำลองขนาดของก้อนมะเร็งอยู่ที่ 1 เซนติเมตร และมีลักษณะเป็นทรงกลมเพื่อให้ใกล้เคียงกับลักษณะกายวิภาคจริงของก้อนมะเร็งมากที่สุด ดังรูปที่ 3.12 เป็นการเปรียบเทียบลักษณะก้อนมะเร็งของจริงในระยะเริ่มต้นกับลักษณะของก้อนมะเร็งที่สร้างในแบบจำลอง ส่วนตำแหน่งของก้อนมะเร็งจะให้อยู่ใกล้รูทวารหนักมากที่สุดเพราะ เป็นบริเวณที่มีอัตราการเกิดก้อนมะเร็งค่อนข้างสูง และการรักษาด้วยวิธีการผ่าตัดนั้น ดำเนินการได้ยากที่สุดเนื่องจากถ้าอยู่ใกล้บริเวณนี้จำเป็นต้องทำการควักรูทวารหนัก เพื่อเอากล้ามเนื้อหูรูดออกด้วย ดังนั้นถ้ารักษาด้วยวิธีการ Microwave Ablation จะทำให้ได้ผลการรักษาที่น่าพอใจมากกว่า เนื่องจากเป็นการรักษาโดยใช้สายอากาศเสียบเข้าทางรูทวารหนัก ทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการเปิดช่องท้องที่เกิดจากการผ่าตัด ทำให้ลดปริมาตรการสูญเสียเลือดและระยะเวลาการพักฟื้นร่างกายก็ใช้เวลาน้อยลง



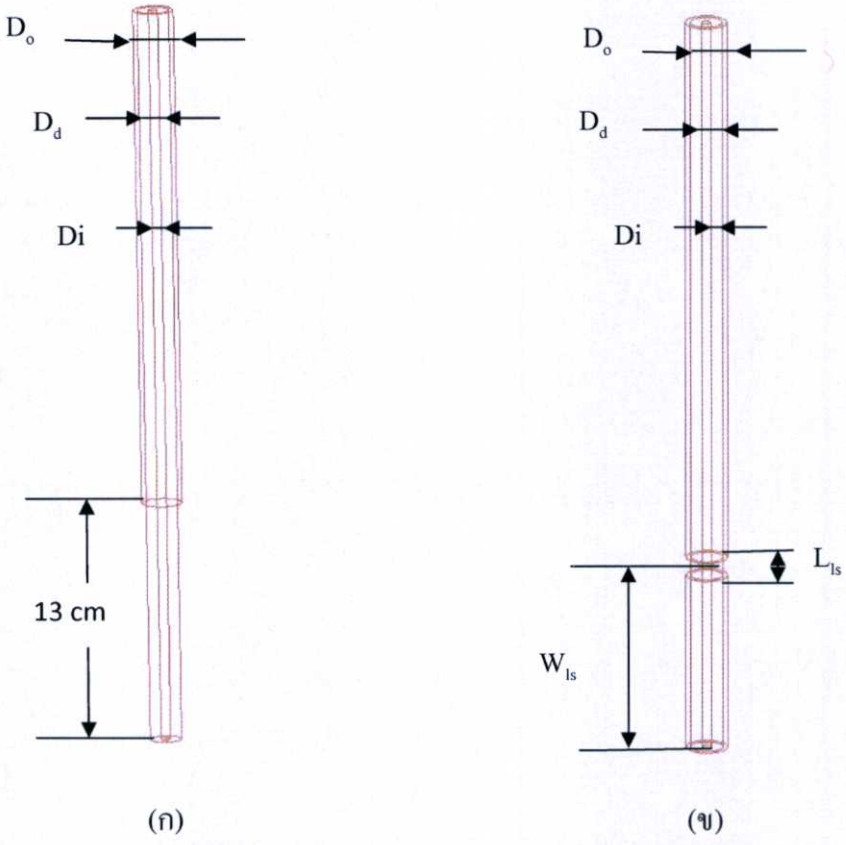
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะก้อนมะเร็งที่ได้จากกล้องส่องลำไส้ใหญ่ส่วนปลายกับแบบจำลอง
(ก) รูปลักษณะก้อนมะเร็งบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนปลายจากกล้องส่องลำไส้ใหญ่มีขนาด 1 เซนติเมตร
(ข) รูปลักษณะก้อนมะเร็งบริเวณลำไส้ใหญ่จากแบบจำลองมีขนาด 1 เซนติเมตร

3.2.2 แบบจำลองสายอากาศ



รูปที่ 3.13 แสดงคุณลักษณะของสายอากาศ

(ก) สายอากาศแบบปลาย (Open Tip Antenna)

(ข) สายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna)

จากรูปที่ 3.13 เป็นรูปสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ที่ใช้ในการทดลอง และตารางที่ 3.2 จะแสดงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางและความกว้างยาวทั้งหมดของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) จากรูปที่ 3.13 โดยลักษณะความกว้างของSlot จะมีขนาด 1 mm และความยาวจากปลายสายอากาศถึงกลาง Slot มีความยาว 10 mmซึ่งค่าความกว้างของ Slot กับความยาวจากปลายสายอากาศถึงกลาง Slot ได้ทำการอ้างอิงมาจาก Saito [7]

ตารางที่ 3.2 เป็นตารางแสดงคุณลักษณะของสายอากาศ

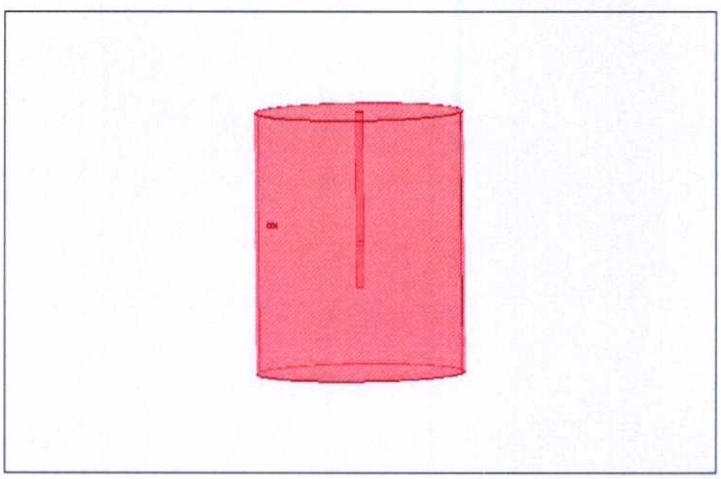
D_o(Diameter of Outer Conductor) (mm)	2.2
D_d(Diameter of the Dielectric) (mm)	1.7
Di (Diameter of the Conductor) (mm)	0.51
L_{ls}(Length form Tip to Center of the Slot) (mm)	10
W_{ls}(Wire of the Slot) (mm)	1

3.2.3 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง

3.2.3.1 การทดลองที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศ

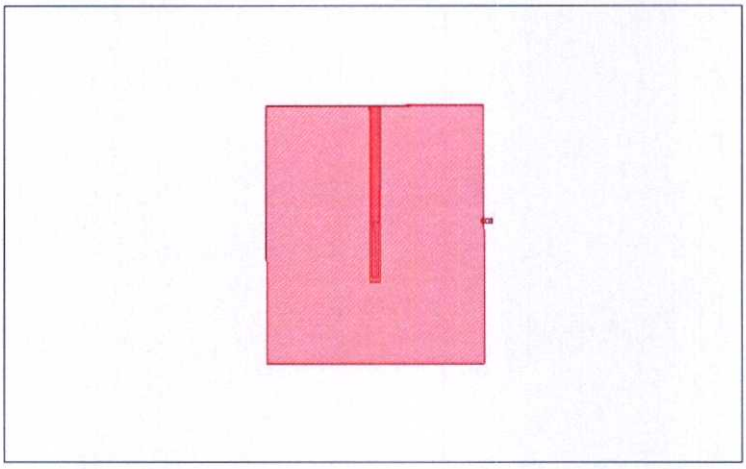
เนื่องจากการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อต้องการทราบถึงผลการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศทั้ง 2 แบบ คือ สายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ซึ่งแสดงดังรูป 3.14 กับ สายอากาศแบบ Open Tip รูปที่ 3.15 เพราะว่ามะเร็งลำไส้ใหญ่มีลักษณะที่ก้อนดังรูปที่ 3.12 ก ดังนั้นการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศที่ใช้ในรักษาต้องค่อนข้างเฉพาะจุด ซึ่งจะช่วยในการควบคุมโดนบริเวณผนังของลำไส้ที่เป็นเนื้อเยื่อส่วนดี

1. แบบจำลองการกระจายตัวทางอุณหภูมิสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna)



รูปที่ 3.14 แสดงแบบจำลองการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna)

2. แบบจำลองการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศแบบปลายเปิด Open Tip Antenna

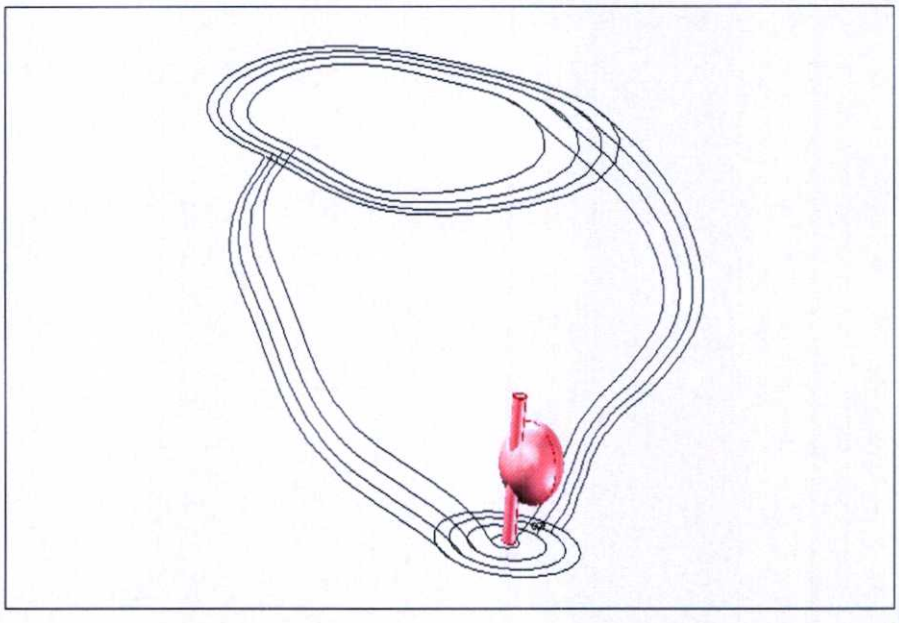


รูปที่ 3.15 แสดงแบบจำลองการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศแบบปลายเปิด (Open Tip Antenna)

3.2.3.2 การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองการวางสายอากาศในลักษณะที่แตกต่างกัน

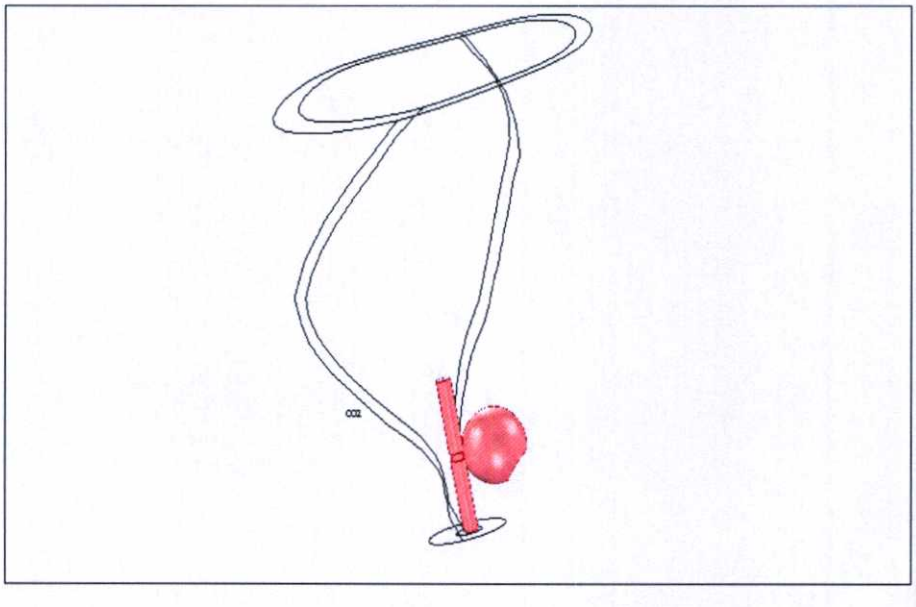
ในการทดลองที่ 2 จะเป็นการทดลองการวางตำแหน่งของสายอากาศโดยขนาดของเซลล์มะเร็งมีขนาด1 เซนติเมตร 3 ตำแหน่ง คือ 1 อยู่ในเซลล์มะเร็งแบบตรงดังที่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.16 ซึ่งคือการนำสายอากาศเสียบผ่านทางรูทวารและผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งโดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งของ Slot ว่าอยู่ตรงกลางก้อนเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งหรือไม่ส่วนแบบที่2 ติดกับเซลล์มะเร็ง ซึ่งจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.17 นั้นเป็นการนำสายอากาศแบบ Slot ไปวางทาบติดกับเซลล์มะเร็ง และ 3 อยู่ในเซลล์มะเร็งแบบโค้งงอ เพื่อให้บริเวณตำแหน่งของ Slot อยู่ตรงกลางก้อนมะเร็งมากที่สุด ซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงมุมการโค้งงอตามตำแหน่งของก้อนเนื้อเยื่อเซลล์มะเร็งดังจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.19 เพื่อต้องการหาตำแหน่งการวางที่เหมาะสมในการทำลายเซลล์มะเร็งให้ได้มากที่สุด

1. แบบจำลองการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) อยู่ในเซลล์มะเร็งแบบตรง



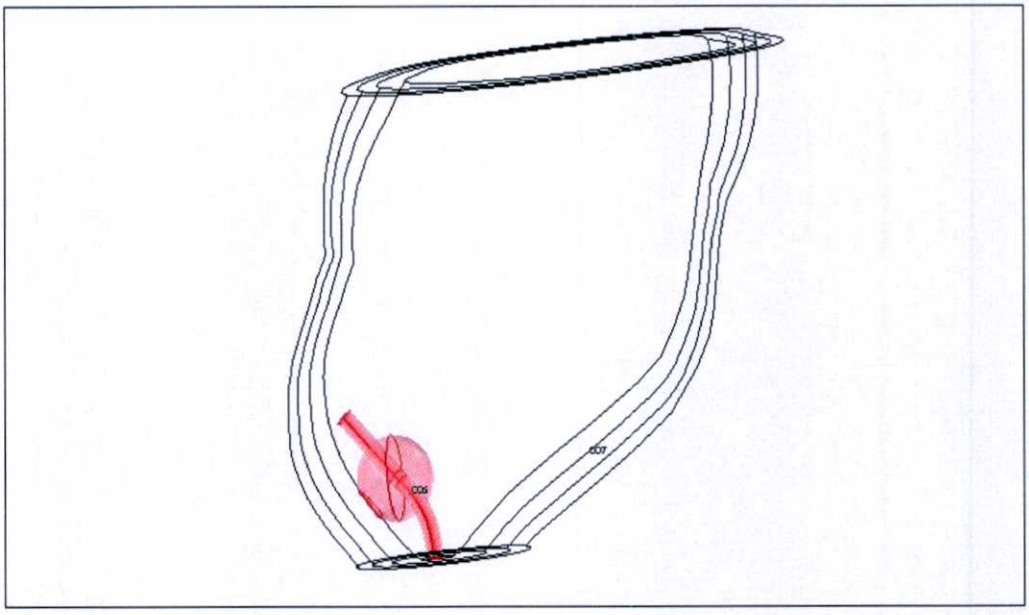
รูปที่ 3.16 แสดงแบบจำลองการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) อยู่ภายในเซลล์มะเร็งแบบตรง

2. แบบจำลองการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) สัมผัสกับเซลล์มะเร็ง



รูปที่ 3.17 แสดงแบบจำลองการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) สัมผัสกับเซลล์มะเร็ง

3. สายอากาศอยู่ในเซลล์มะเร็งแบบโค้งงอเพื่อให้ตำแหน่งเหมาะสมต่อการทำลาย

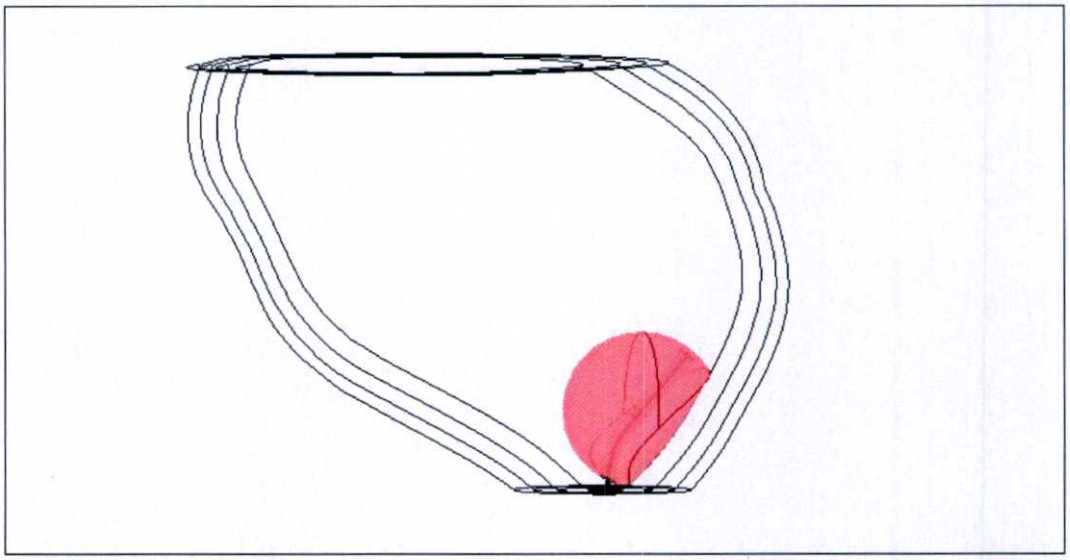


รูปที่ 3.18 แสดงแบบจำลองการวางสายอากาศอยู่ในเซลล์มะเร็งแบบโค้งงอเพื่อให้ตำแหน่งเหมาะสมต่อการทำลาย

3.2.3.3 การทดลองที่ 3 เป็นการทดลองเพิ่มขนาดของเซลล์มะเร็งเป็น 2 เซนติเมตร

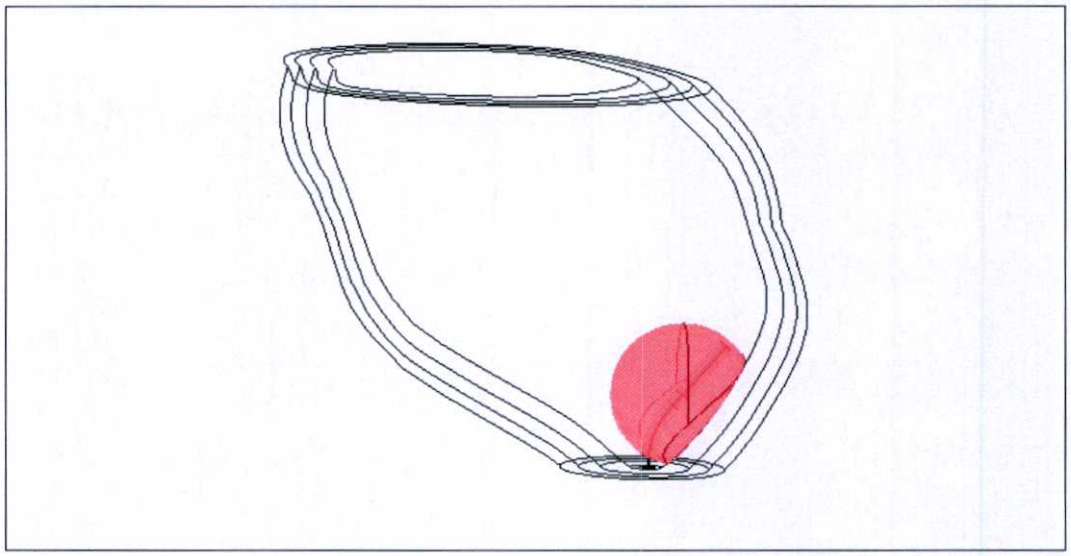
เนื่องจากมะเร็งลำไส้ใหญ่นั้นมีระยะการเป็นมะเร็งดังรูปที่ 2.10 ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งระยะที่ทางผู้วิจัยทำการรักษาจะอยู่ในระยะ 0 กับ I หรือมะเร็งในระยะไม่ลุกลาม ซึ่งมะเร็งระยะดังกล่าวจะมีค่าไม่เกิน 2 เซนติเมตร เพราะฉะนั้นการทดลองที่ 3 ได้ทำการทดลองโดยเพิ่มขนาดของเซลล์มะเร็งเป็น 2 เซนติเมตร และได้ทำการเพิ่มความกว้างบริเวณ Slot ของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna)เพื่อเพิ่มปริมาตรการทำลายให้มากขึ้น และตำแหน่งการวางสายอากาศเป็นการวางแบบโค้งงอเพื่อให้บริเวณตำแหน่งของ Slot อยู่ตรงกลางก้อนมะเร็ง โดยการทดลองที่ 3 จะทำการเปลี่ยนแปลง ความกว้างบริเวณ Slot ดังนี้คือ 1ความกว้างบริเวณ Slot 1 มิลลิเมตร ดังที่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.20 2 ความกว้างบริเวณ Slot 2 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.21 3 ความกว้างบริเวณ Slot 3 มิลลิเมตรซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.22 4 ความกว้างบริเวณ Slot 4 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.23 5 ความกว้างบริเวณ Slot 5 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่3.24

1. สายอากาศแบบเปิดช่อง(S lot Antenna) ขนาด 1 มิลลิเมตร



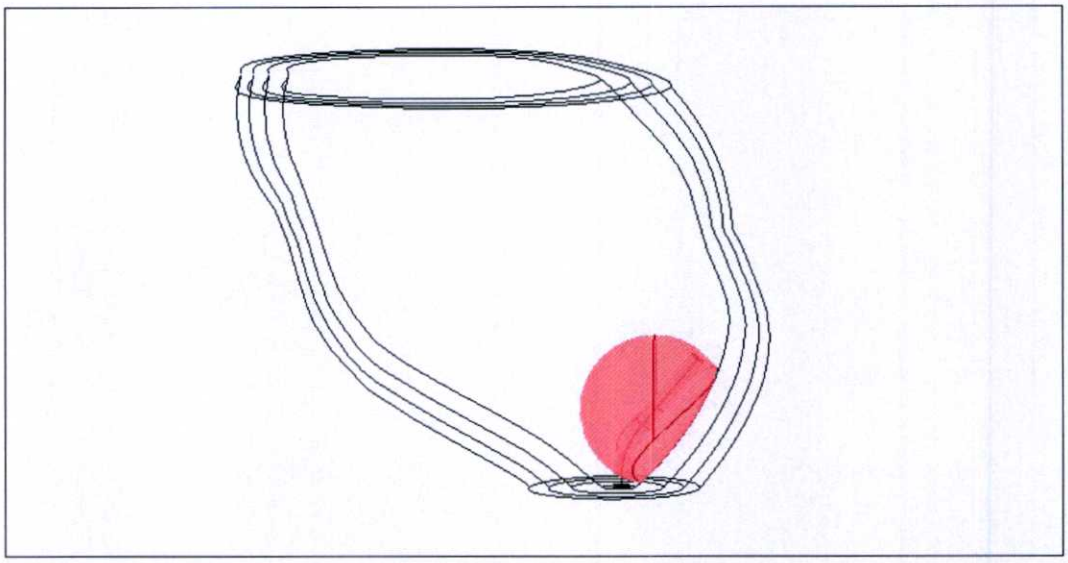
รูปที่ 3.19 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 1 มิลลิเมตร

2. สายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด2 มิลลิเมตร



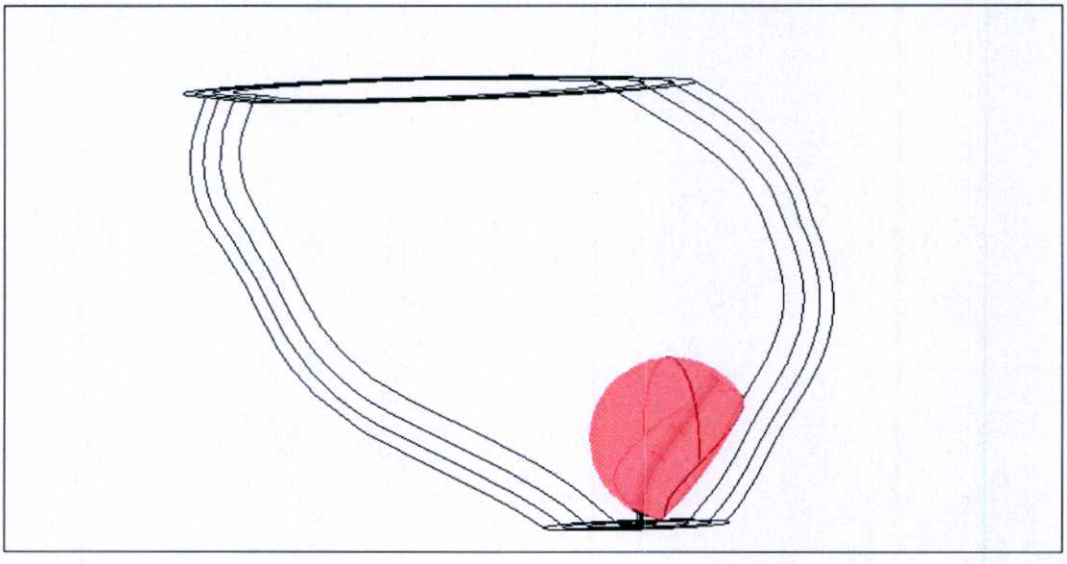
รูปที่ 3.20 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 2 มิลลิเมตร

3. สายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 3 มิลลิเมตร



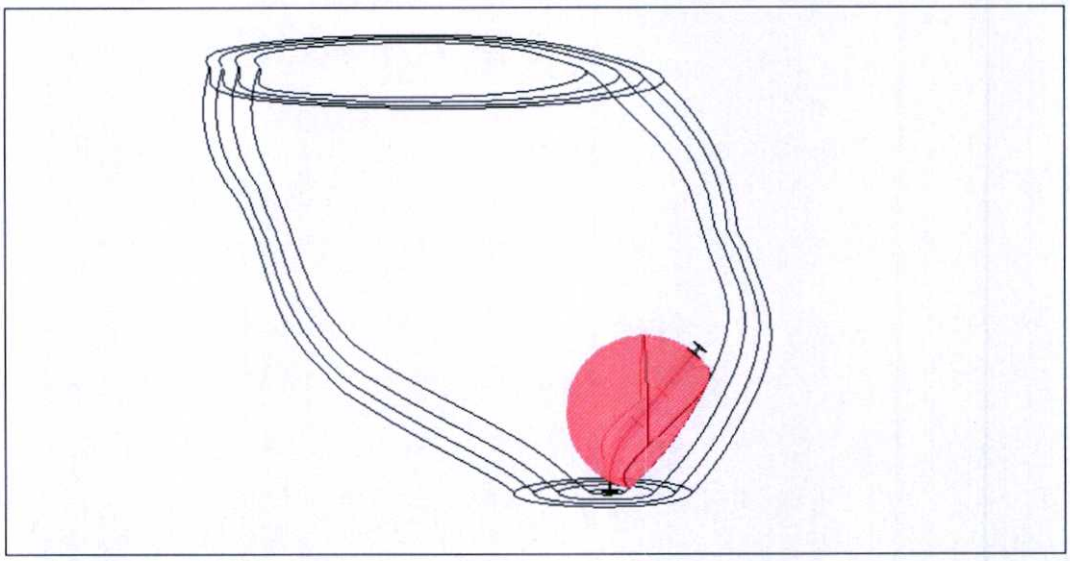
รูปที่ 3.21 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 3 มิลลิเมตร

4. สายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.22 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร

5. สายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.23 แสดงแบบจำลองสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 5 มิลลิเมตร

3.3 ค่าคุณสมบัติที่ใช้ในการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการทดลองจะมีการคำนวณ 2 แบบ คือ การคำนวณทางด้านไฟฟ้าและการคำนวณทางความร้อนซึ่งการคำนวณทั้ง 2 แบบจะสัมพันธ์กัน โดยวิธีการจะทำการคำนวณทางไฟฟ้าก่อน จึงนำค่าที่ได้จากการคำนวณทางไฟฟ้ามาทำการคำนวณทางความร้อนต่อไป

3.3.1 การคำนวณทางด้านความร้อน

การคำนวณทางด้านความร้อนในงานวิจัยนี้ได้ใช้สมการ Bio Heat ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งในสมการ Bio Heat นั้นมีการใช้ค่าคุณลักษณะทางความร้อนต่างๆไม่ว่าจะเป็น Thermal Conductivity หรือค่า Specific Heat เป็นต้น ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 3.3 เป็นค่าคุณลักษณะทางความร้อนของเนื้อเยื่อลำไส้ใหญ่ แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการออกแบบ แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณเป็นบริเวณลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย และมีชั้นของลำไส้ใหญ่กับก้อนเซลล์มะเร็งประกอบอยู่ในแบบจำลองด้วย ซึ่งในความเป็นจริงค่าคุณลักษณะทางความร้อนของชั้นลำไส้ใหญ่แต่ละชั้นรวมทั้งค่าคุณลักษณะทางความร้อนก้อนเซลล์มะเร็ง มีความแตกต่างกันแต่เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลของค่าคุณลักษณะทางความร้อนของชั้นลำไส้ใหญ่แต่ละชั้นกับก้อนเซลล์มะเร็ง จึงใช้ค่าค่าคุณลักษณะทางความร้อนเป็นค่าเดียวกันทั้งหมดตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณลักษณะเฉพาะของเนื้อเยื่อลำไส้ใหญ่[7]

	Density [kg/m^3]	**Blood Flow Rate [m^3/kg.s]**	**Specific Heat [J/kg.K]**	**Thermal Conductivity [W/m.K]**
Colon	1043	3500	0.6	$1.33x10^{-5}$

3.3.2 คำนวณไฟฟ้า

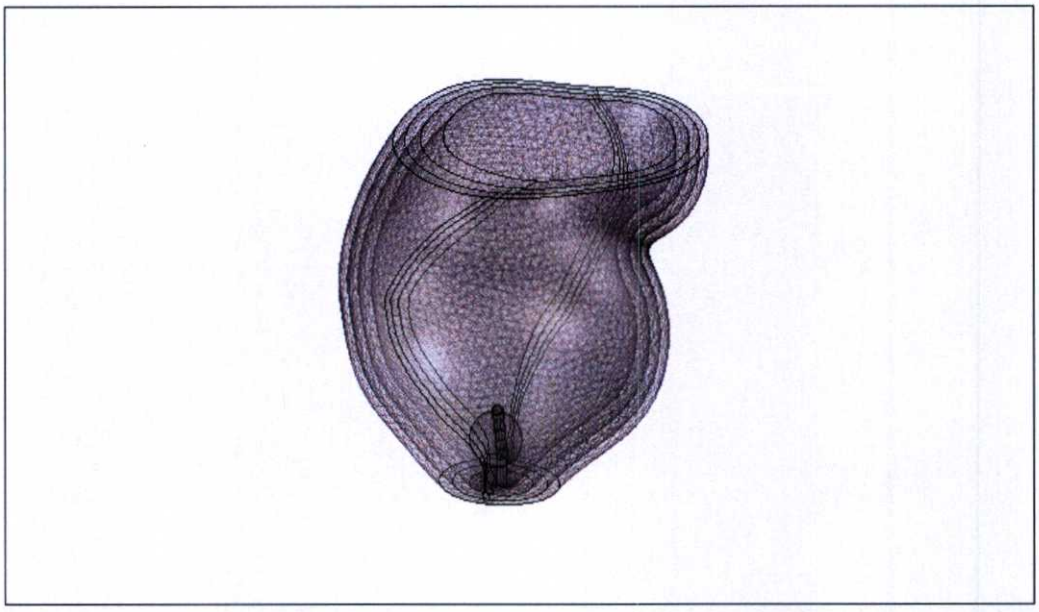
ในการคำนวณทางด้านไฟฟ้าจะใช้สมการในการคำนวณทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะเป็นไปตามสมการของ แม็กซ์เวล (Maxwell) และสมการของเฮล์มโฮลต (Helmholtz Equation) ซึ่งสมการจะแสดงในบทที่ 2 ซึ่งการคำนวณทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้านั้นต้องใช้คุณลักษณะทางไฟฟ้าดังตารางที่ 3.4 เพื่อมาทำการคำนวณทางในทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้า[7]

	Relative permittivity	**Conductivity [S/m]**
Colon	53.9	2.04
Dielectric of antenna(PTEE)	2.03	0

3.3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

โปรแกรมที่ใช้ในจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม COMSOL 3.5 a ซึ่งสเปคคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณนั้นมีดั้งนี้ 1 Intel Quad Core 2.6 GHz 2 RAM 8 GB 3 OS Window 64 Bit และแต่ละแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณจะใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมและใช้จำนวนเมชเอลิเมนต์จำนวน 136000 ถึง 180000 ดังรูปที่ 3.25 ขึ้นอยู่กับขนาดของแบบจำลอง เช่น แบบจำลองมีขนาดของก้อนมะเร็ง 1 เซนติเมตร ก็จะทำให้จำนวนที่ใช้เมชเอลิเมนต์เพิ่มมากขึ้นกว่าจำนวนเมชเอลิเมนต์ของก้อนมะเร็งขนาด 2 เซนติเมตร



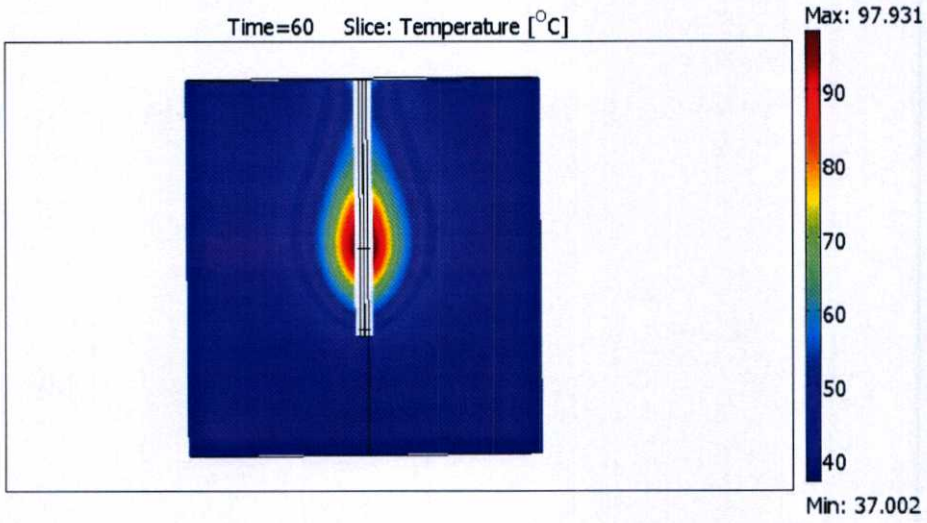
รูปที่ 3.24 แสดงรูปแบบการเมชเอลิเมนต์

บทที่ 4

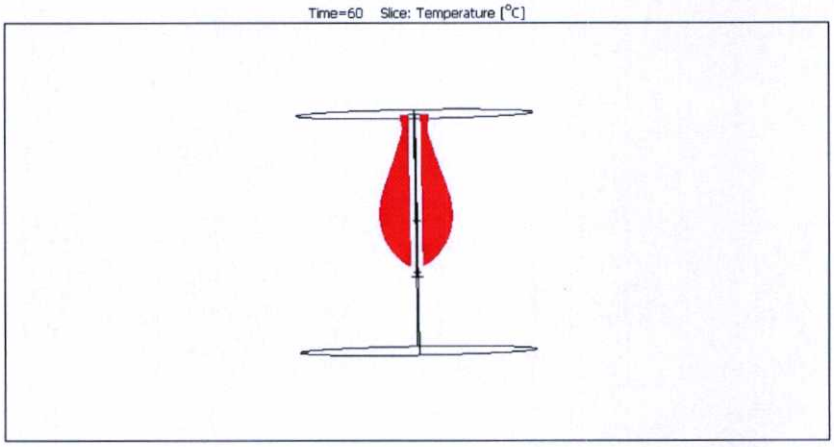
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ 1

เป็นการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิ และแสดงบริเวณที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียสขึ้นไปซึ่งเป็นค่าที่สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้ โดยกำหนดเวลาที่ปล่อยพลังงานไมโครเวฟเท่ากับ 60 วินาที และควบคุมค่าของอุณหภูมิของผลการจำลองที่ได้ให้มีค่าสูงสุดไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส

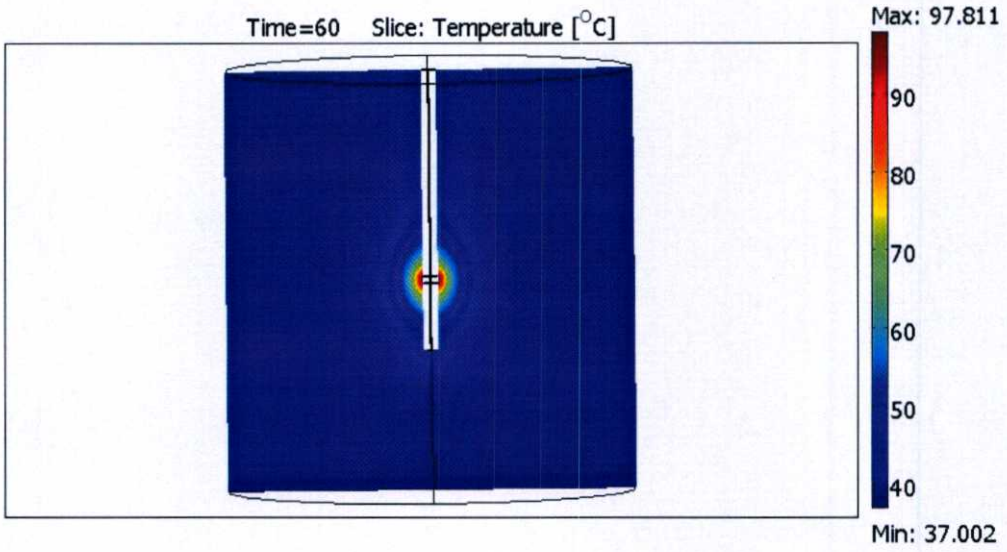


รูปที่ 4.1 แสดงการกระจายทางด้านอุณหภูมิของสายอากาศแบบปลายเปิด(Open Tip)

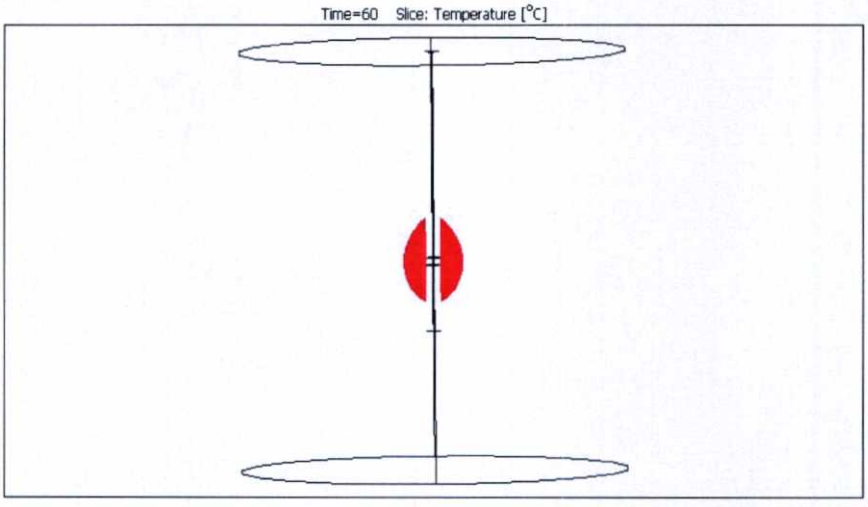


รูปที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบปลายเปิด(Open Tip)

จากรูปที่ 4.1 เป็นการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศแบบปลายเปิด (Open Tip) ซึ่งกระจายตัวแบบวงกว้างและค่าสูงสุดของอุณหภูมิจะอยู่ล้อมรอบใกล้บริเวณจุดตัดของตัวนำนอกของสายอากาศแบบปลายเปิด (Open Tip) ส่วนรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ซึ่งจะเห็นว่าการทำลายเกิดเป็นบริเวณวงกว้างยาวไปทางด้านของตัวสายอากาศ



รูปที่ 4.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna)

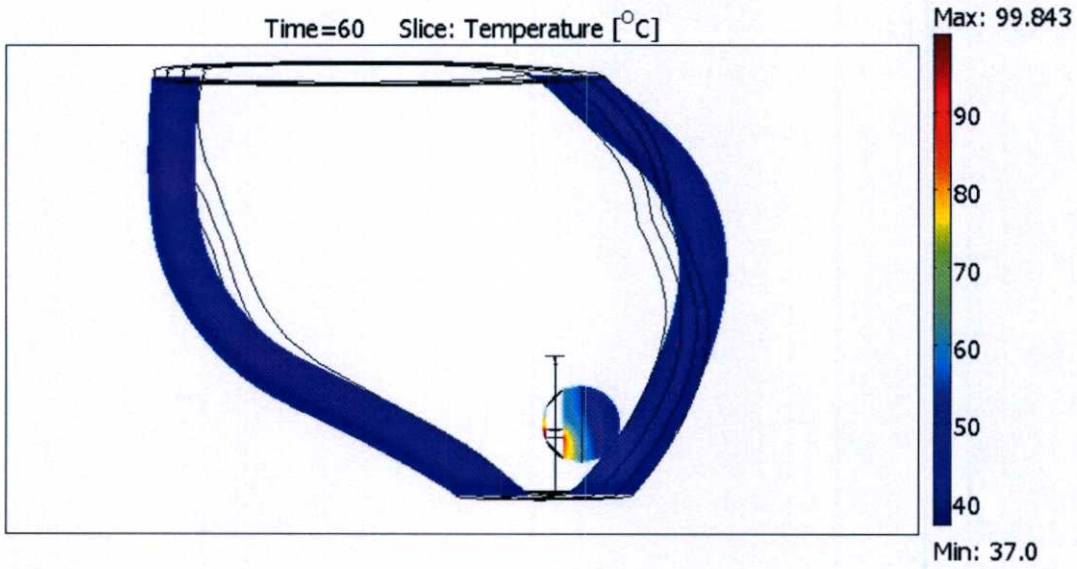


รูปที่ 4.4 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna)

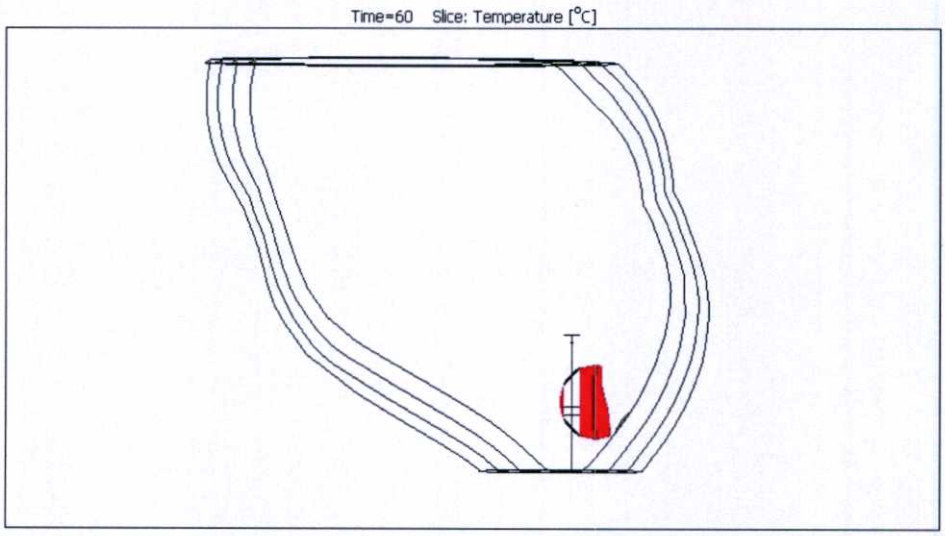
ในรูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการกระจายตัวทางอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ที่มีรูปแบบสมมาตร และค่าสูงสุดของอุณหภูมิจะอยู่ล้อมรอบใกล้บริเวณช่องเปิด ส่วนรูปที่ 4.4 เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิมากว่า 50 องศาเซลเซียส ขึ้นไป โดยมีรูปแบบเฉพาะจุดและไม่มีการกระจายขึ้นมาทางด้านของสายอากาศ

4.2 ผลการทดลองที่ 2

เป็นการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิ และแสดงบริเวณที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียสขึ้นไปซึ่งเป็นค่าที่สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้ โดยกำหนดเวลาที่ปล่อยพลังงานไมโครเวฟเท่ากับ 60 วินาที และควบคุมค่าของอุณหภูมิของผลการจำลองที่ได้ให้มีค่าสูงสุดไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้กับลักษณะการวางทั้ง 3 แบบ คือ อยู่ภายในเซลล์มะเร็งแบบตรง สัมผัสกับเซลล์มะเร็ง โค้งงอเพื่อให้ตำแหน่งเหมาะสมต่อการทำลาย

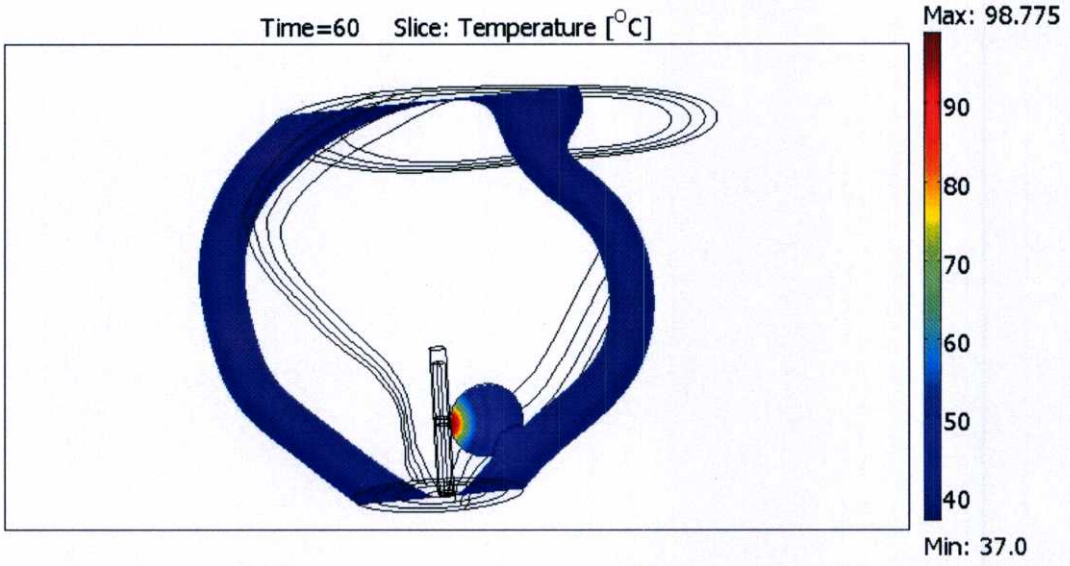


รูปที่ 4.5 แสดงการกระจายของอุณหภูมิ ของการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ที่อยู่ภายในเซลล์มะเร็งแบบตรง

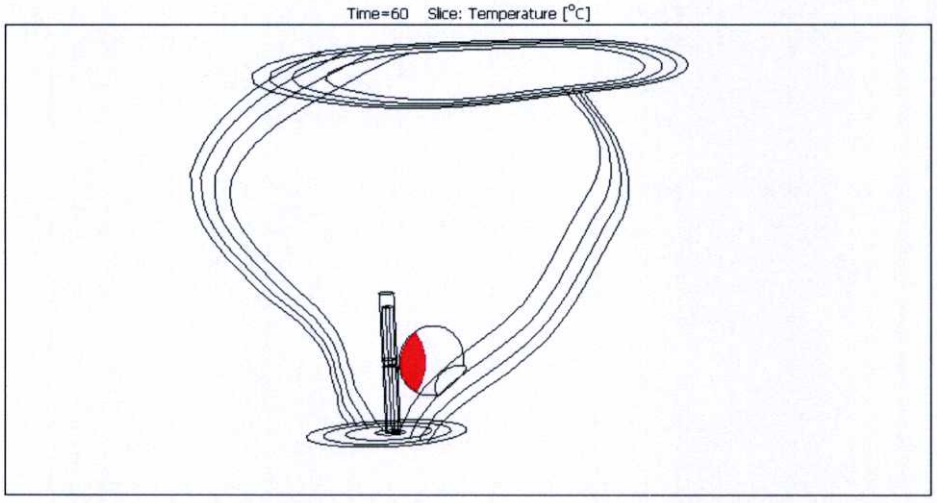


รูปที่ 4.6 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna)ที่อยู่ภายในเซลล์มะเร็งแบบตรง

จากรูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบการกระจายอุณหภูมิ สำหรับการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ที่อยู่ในเซลล์มะเร็งแบบตรง โดยมีรูปแบบการกระจายไปทางด้านล่างของเซลล์มะเร็ง ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับช่องเปิด (Slot) และจากรูป 4.6 จะเห็นถึงลักษณะบริเวณที่ทำลายเซลล์มะเร็งกระจายไปเกือบครึ่งหนึ่งของเซลล์มะเร็ง

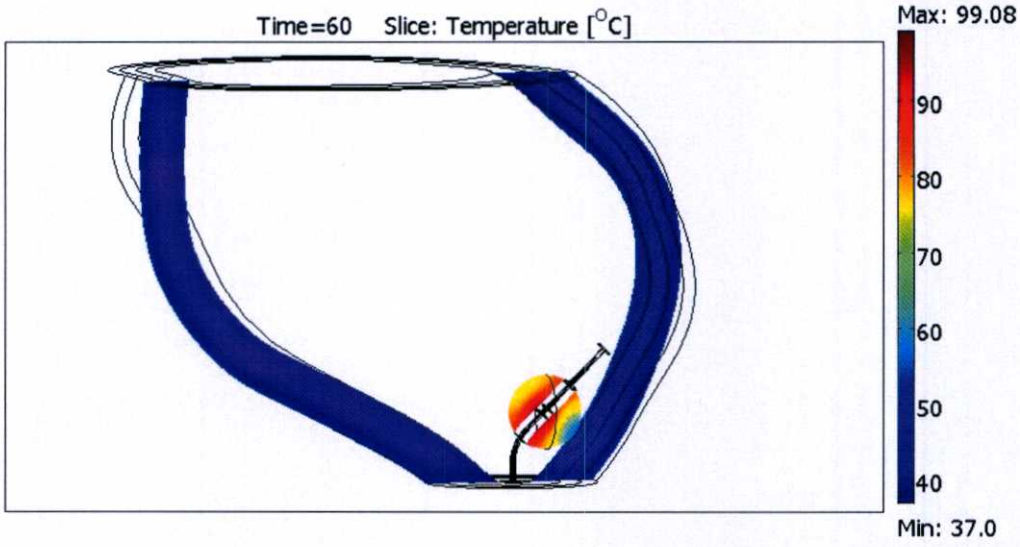


รูปที่ 4.7 แสดงการกระจายของอุณหภูมิการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) โดยสัมผัสกับเซลล์มะเร็ง

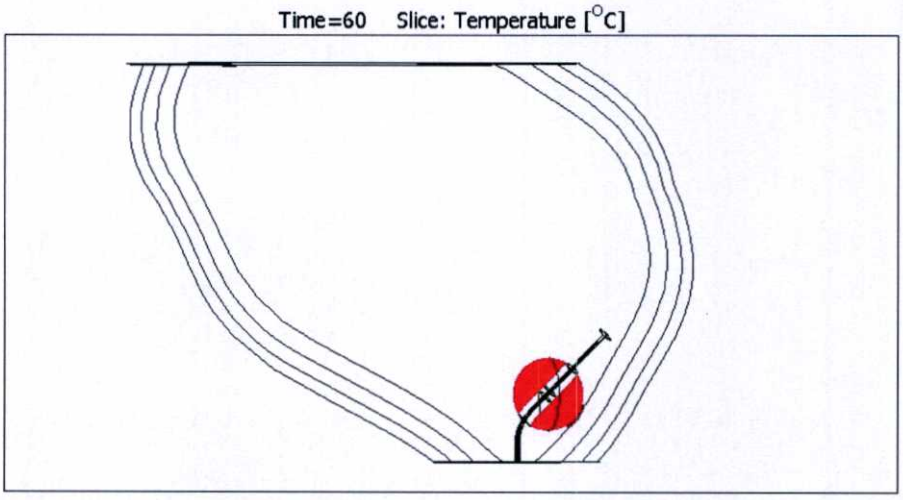


รูปที่ 4.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาของวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) โดยสัมผัสกับเซลล์มะเร็ง

จากรูปที่ 4.7 เป็นรูปแบบการกระจายอุณหภูมิสำหรับการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดบริเวณติดกับส่วนของช่องเปิด (Slot) แล้วลดต่ำลงตามระยะห่างจากบริเวณช่องเปิด (Slot) ส่วนในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้ ซึ่งมีขนาดไม่ถึงครึ่งหนึ่งของเซลล์มะเร็ง



รูปที่ 4.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิโดยการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ให้อยู่ภายในเซลล์มะเร็งในลักษณะโค้งงอเพื่อตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการทำลาย



รูปที่ 4.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียส ในการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ให้อยู่ภายในเซลล์มะเร็งในลักษณะโค้งงอเพื่อตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการทำลาย

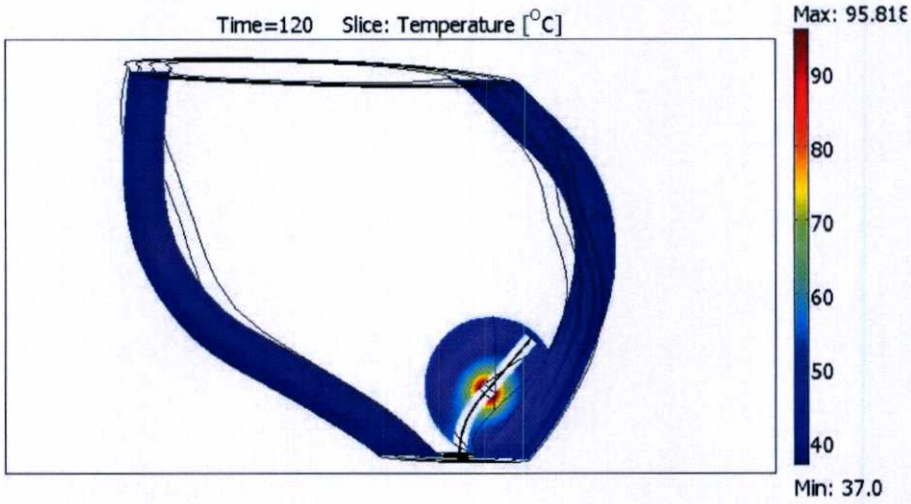
จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกระจายทางด้านอุณหภูมิในการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) โดยให้มีลักษณะโค้งงอเพื่อตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการทำลาย และผลที่ได้มีการกระจายอุณหภูมิเต็มทั้งก้อนเซลล์มะเร็ง และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการทำลายซึ่งมีค่าของอุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียสขึ้นไป มีขนาดคลอบคลุมได้เต็มทั้งก้อนเซลล์มะเร็ง

ตารางที่ 4.1 สรุปการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2

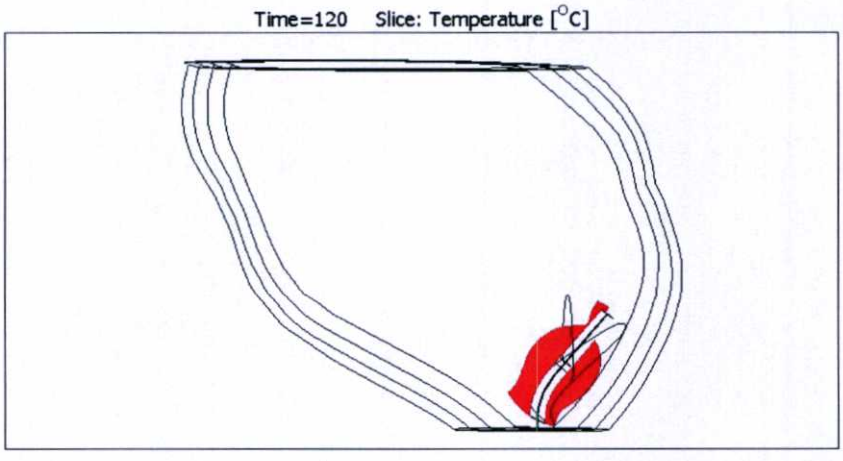
ลักษณะการวางสายอากาศ	พลังงาน [W]	เวลา [Sec]	ปริมาตรที่ทำลาย [cm^3]	ปริมาตรก้อนมะเร็ง [cm^2]	ร้อยละบริเวณที่ทำลายได้
ในเซลล์มะเร็งแบบตรง	10	60	1.29	1.57	81
วางติดกับเซลล์มะเร็ง	11	60	0.57	1.57	36
อยู่ในเซลล์มะเร็ง แบบโค้งงอ	11	60	1.57	1.57	100

4.3 ผลการทดลองที่ 3

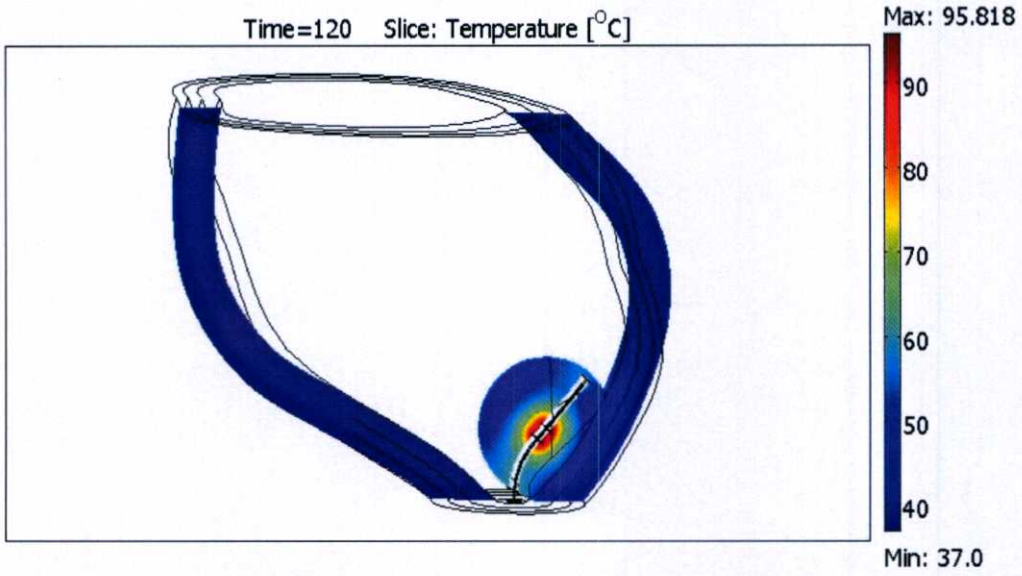
เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างในการกระจายตัวของอุณหภูมิ และแสดงบริเวณที่มีอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียสขึ้นไปซึ่งเป็นค่าที่สามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้ โดยเพิ่มขนาดของก้อนเซลล์มะเร็งเป็น 2 เซนติเมตร กำหนดเวลาที่ปล่อยพลังงานไมโครเวฟเท่ากับ 120 วินาที และควบคุมค่าของอุณหภูมิของผลการจำลองที่ได้ให้มีค่าสูงสุดไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้กับการวางสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ในลักษณะโค้งงอเพื่อตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการทำลาย โดยปรับขนาดของช่องเปิดให้มีความกว้างตั้งแต่ 1 ถึง 5 มิลลิเมตร



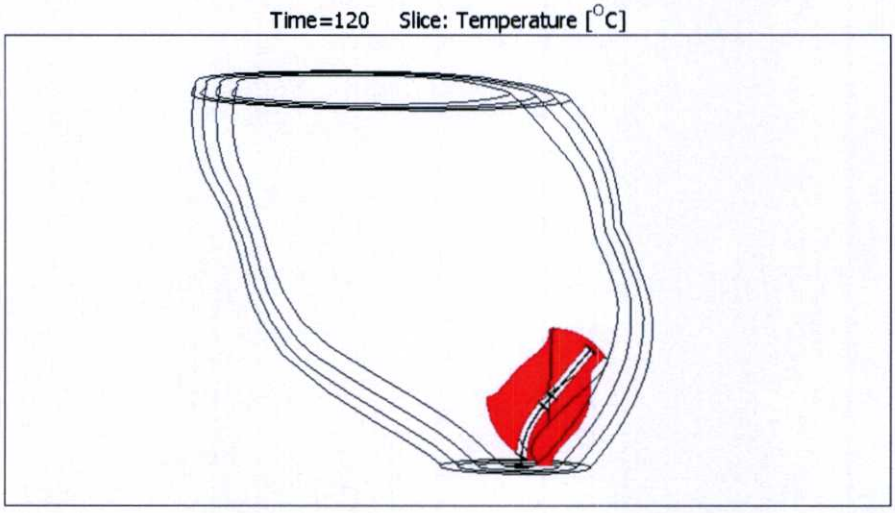
รูปที่ 4.11 แสดงการกระจายอุณหภูมิการวางของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.12 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 1 มิลลิเมตร

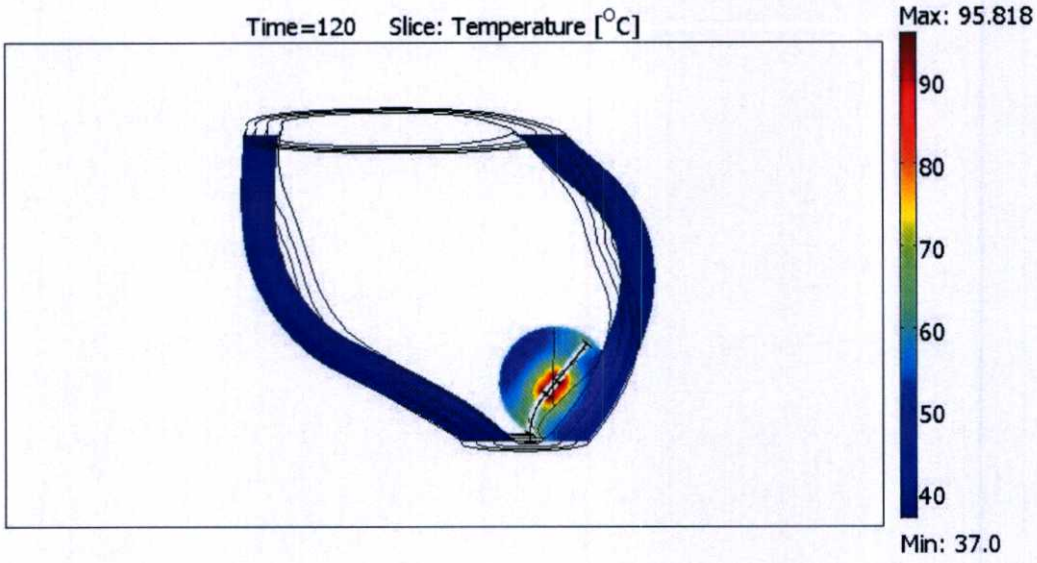


รูปที่ 4.13 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 2 มิลลิเมตร

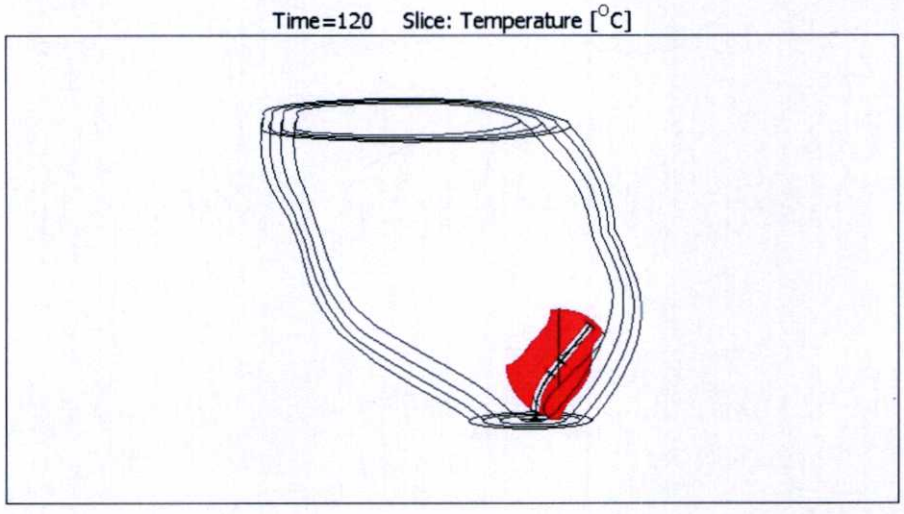


รูปที่ 4.14 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากกว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 2 มิลลิเมตร

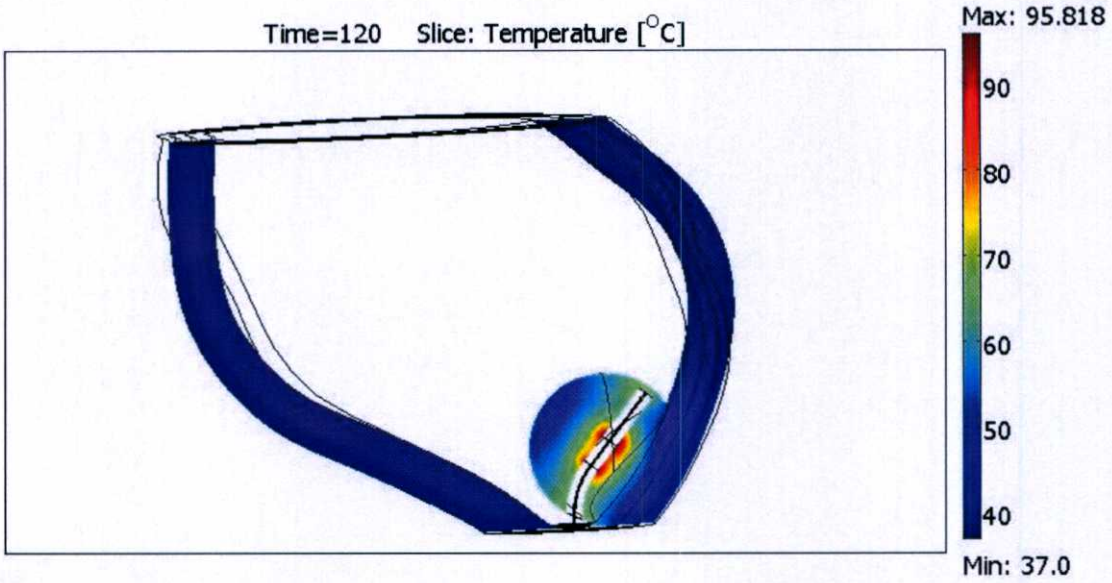
จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.13 เป็นการกระจายอุณหภูมิ ที่ได้จากสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot) ขนาด 1 และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่า ผลที่ได้จากการเปิดช่อง (Slot) ขนาด 2 มิลลิเมตร จะให้รูปแบบการกระจายตัวทางอุณหภูมิที่กว้างกว่าแบบ 1 มิลลิเมตร ส่วนรูปที่ 4.12 กับ 4.14 เป็นบริเวณที่อุณหภูมิมีค่ามากกว่า 50 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า ผลของการเปิดช่องขนาด (Slot) 1 มิลลิเมตร มีการกระจายอยู่ด้านล่างของสายอากาศเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการเปิดช่อง (Slot) ขนาด 2 มิลลิเมตร จะมีรูปแบบการกระจายทั้งด้านบนและด้านล่างของสายอากาศ



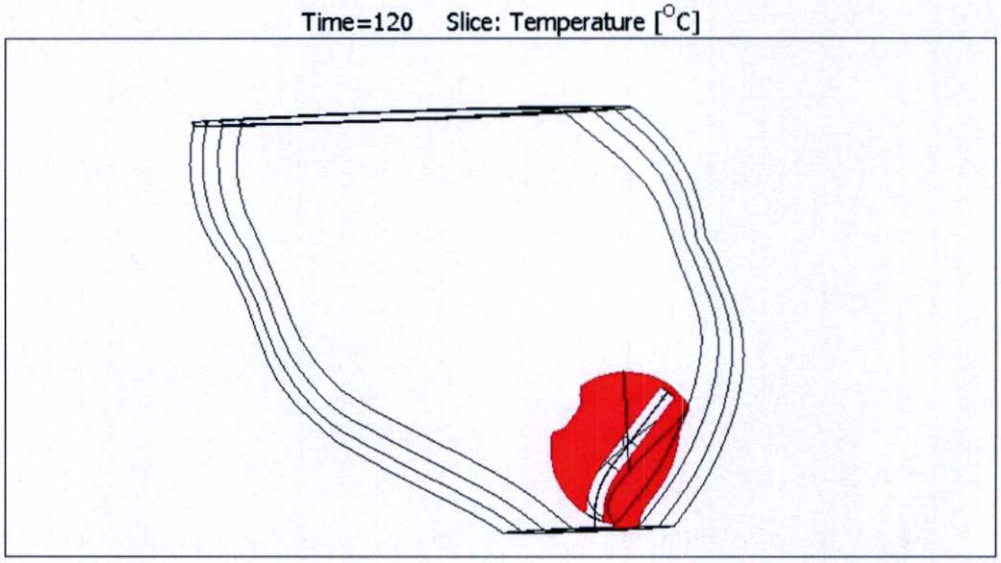
รูปที่ 4.15 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 3 มิลลิเมตร



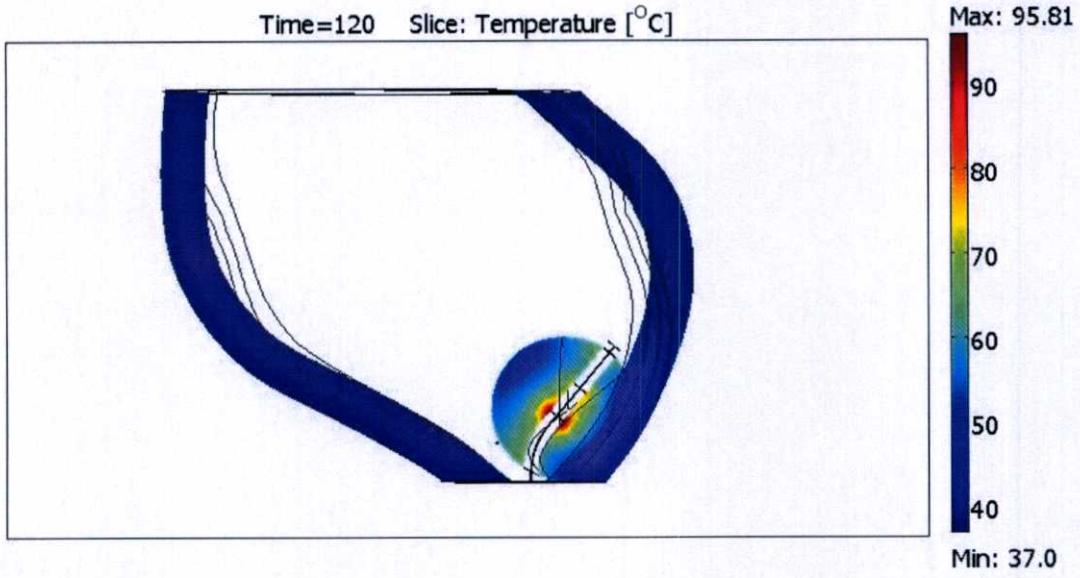
รูปที่ 4.16 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 3 มิลลิเมตร



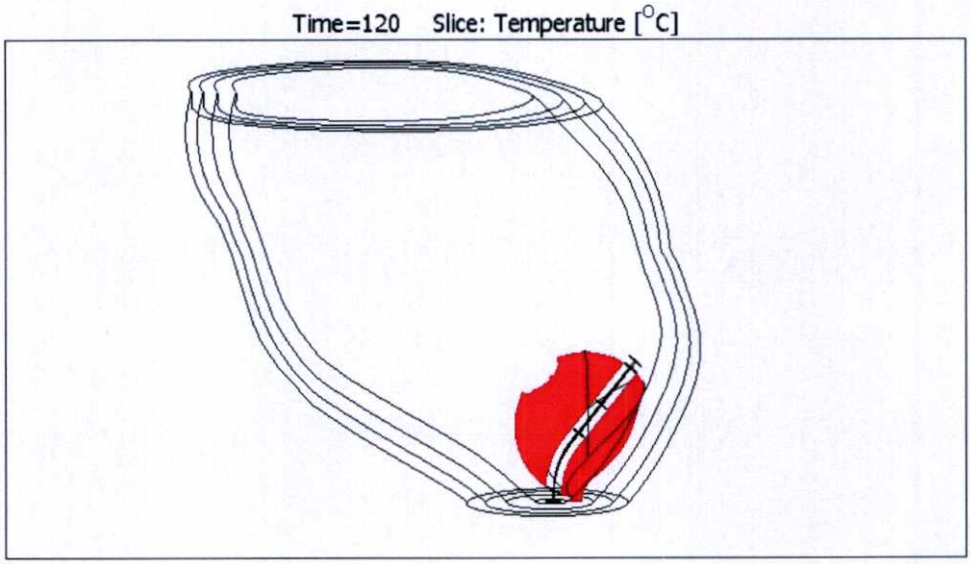
รูปที่ 4.17 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.18 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.19 แสดงการกระจายอุณหภูมิของสายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.20 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่มากว่า 50 องศาเซลเซียสของสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ขนาด 5 มิลลิเมตร

จากรูป 4.15 รูป 4.17 และรูป 4.19 เป็นการกระจายทางด้านอุณหภูมิ จากการเปิดช่อง(Slot) 3 ขนาด มิลลิเมตร การเปิดช่อง (Slot) ขนาด 4 มิลลิเมตร และ การเปิดช่อง(Slot) ขนาด 5 มิลลิเมตร โดยรูปแบบการกระจายของการเปิดช่อง (Slot) ขนาด 4 และ 5 มิลลิเมตร จะมีลักษณะที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่มีการกระจายของอุณหภูมิที่กว้างกว่า การเปิดช่อง(Slot)ขนาด 3 มิลลิเมตร ส่วนรูปที่ 4.16 รูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.20 เป็นบริเวณที่อุณหภูมิมีค่ามากกว่า 50 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าบริเวณที่ทำลายของการเปิดช่อง(Slot) ขนาด 4 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตรจะมีค่าเท่ากัน ส่วนการเปิดช่อง (Slot) ขนาด 3 มิลลิเมตรจะทำลายได้น้อยกว่า

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ 3

ขนาดของการเปิดช่องสายอากาศ (Slot)	พลังงาน [W]	เวลา [Sec]	ปริมาตรที่ทำลาย [cm^3]	ปริมาตรของก้อนมะเร็ง [cm^2]	ร้อยละของบริเวณที่ถูกทำลาย
Slot 1 mm	6	120	2.75	6.17	44
Slot 2 mm	6	120	4.07	6.17	65
Slot 3 mm	5	120	4.08	6.17	65
Slot 4 mm	5	120	5.12	6.17	83
Slot 5 mm	5	120	5.12	6.17	83

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สายอากาศแบบปลายเปิด(Open Tip) นั้นมีการกระจายอุณหภูมิที่กว้างกว่าสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna)และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สายอากาศแบบปลายเปิด(Open Tip) มีลักษณะการกระจายอุณหภูมิกว้างมาก ซึ่งเมื่อนำมาใช้กับลำไส้ใหญ่ส่วนปลายซึ่งมีผนังบาง อาจทำลายผนังส่วนดีที่ไม่เป็นมะเร็งไปด้วย ซึ่งเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อข้างเคียง ส่วนสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna) นั้นมีการกระจายอุณหภูมิน้อยกว่าสายอากาศแบบปลายเปิด(Open Tip) แต่ค่อนข้างเฉพาะจุดกว่าจึงสามารถนำมาทำลายเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ในระยะเริ่มต้นได้ดี จากการทดลองในกรณีนี้สรุปได้ว่าการใช้สายอากาศสายแบบเปิดช่อง (Slot Antenna)มีความเหมาะสมมากกว่าในการทำลายเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ ซึ่งนำมาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้

จากการทดลองในการทดลองที่ 1 นั้นทำให้ได้สายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna)เพื่อมาทำการทดลองที่ 2 จากผลการทดลองที่ 2 สรุปได้ว่าการรักษาเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย ควรที่จะทำการเสียบสายอากาศเข้าไปในตัวเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย ซึ่งจากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเสียบสายอากาศแบบเปิดช่อง (Slot Antenna)เข้าไปในมะเร็งลำไส้ใหญ่ส่วนปลายด้วยการโค้งเพื่อให้เหมาะสมกับการทำลาย

เนื่องจากการทดลองที่ 2 ทำให้ทราบว่าการวางสายอากาศ แบบเปิดช่อง (Slot Antenna) ให้อยู่ภายเซลล์มะเร็งในลักษณะโค้งงอเพื่อตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการทำลาย จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองที่ 3

จากการทดลองที่ 3 นั้น สรุปได้ว่าการใช้สายอากาศแบบเปิดช่อง(Slot Antenna) ขนาด 4 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ในก้อนเซลล์มะเร็งขนาด 2 เซนติเมตร จะมีบริเวณที่ทำลายเซลล์มะเร็งได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83 ของก้อนเซลล์มะเร็งทั้งหมด

ผลจากการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โมเดลสามมิติเสมือนจริงของลำไส้ใหญ่ ในการทดลองทั้ง 3 การทดลองที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้สายอากาศแบบเปิด

ช่อง (Slot Antenna) ที่มีขนาดเล็กและสามารถโค้งงอได้จึงมีความเหมาะเพื่อนำไปใช้ในการรักษาเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีข้อจับกัดในเรื่องความคดเคี้ยวของลำไส้

เนื่องลำไส้ใหญ่ส่วนปลายมีชั้นผนังลำไส้ที่แตกต่างกัน และค่าความแตกต่างของเซลล์มะเร็งกับเซลล์ดีซึ่งทำให้ค่าคุณสมบัติทางด้ายความร้อนกับคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า มีค่าที่แตกต่างกัน แต่ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ค่าค่าคุณสมบัติทางด้ายความร้อนกับคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า เท่ากันหมด เพราะยังไม่มีข้อมูล จึงเป็นงานวิจัยที่ต้องทำการพัฒนาต่อไป รวมทั้งการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับการทดลองจริง กับค่าการจำลอง เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Labonté,A. Blais, S. R. Legault, H. O. Ali, and L. Roy, "Monopole antennas for microwave catheter ablation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, pp. 1832–1840, Oct. 1996.

[2] K. saito, Y. Hayashi, H. Yoshimura, and K. Ito, " Heating characteristics of array applicator composed of two coaxial-slot antennas for microwave coagulation therapy," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, pp. 1800-1806, Nov 2000.

[3] P. Bernardi, M. Cavagnaro, J. C. Lin, S. Pisa, and E. Piuzzi, " Distribution of SAR and temperature elevation lnduced in a phantom by a microwave cardiac ablation catheter." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, pp. 1978-1986, Aug 2004

[4] K. saito, H. Yoshimura, K. Ito, Y. Aoyagi, and H. Horita, "Clinical trials of interstitial microwave hyperthermia by use of coaxial-slot antenna with two slots." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.,* vol. 52, pp. 1987-1991, Aug 2004.

[5] L. Christopher, P. F. Laeseke, D. W. van der Weide, and Jr. F. Paul, "Microwave ablation with a triaxial antenna : result in ex vivo bovine liver." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.,*vol.53,pp.215-220,Jan2005.

[6] D. Yang, J. M. Bertram, C. Converse, A. P. O'Rourke, J. G. Webster, S. C. Hagness, J. A. Will, and D. M. Mahvi, " A floating sleeve antenna yields localized hepatic microwave Ablation." *IEEE Trans. Biomedical Engineering.,* vol. 53, pp. 533-537, Mar 2006

[7] K. saito, A. Hiroe, S. Kikuchi, M. Takahashi, and K. Ito, "Estimation of Heating performances of a coaxial-slot antenna with endoscope for treatment of bile duct carcinoma." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.,* vol. 54, pp. 3443-3449, Aug

[8] บริษัทนวกิจประกันภัย(มหาชน).ปีที่ 9.นวสาร Q-MARK.ฉบับที่ 33 . มกราคม 2552 .กรุงเทพ

[9].Messmann, H. 2004. **Atlas of colonoscopy**. Stuttgart : Georg Thieme Verlag.

[10] Gordon, Philip H. 2007. **Principles and practice of surgery for the colon, rectum, and anus**. 3rd ed. New York : Informa Healthcare USA.

[11] โรงพยาบาลวัฒโนสถ ศูนย์การแพทย์โรงพยาบาลกรุงเทพ

[12] OsiriX **DICOM sample image sets**.[Online].Available : http://pubimage.hcuge.ch:8080/

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ- นามสกุล	นายอภิชน ชินธนสินธร
วัน เดือน ปีเกิด	16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2523
ที่อยู่	210 หมู่ที่ 2 ต.สามชุก อ. สามชุก จ.สุพรรณบุรี 72130
ประวัติการศึกษา	2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ. กรุงเทพฯ 2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุพรรณบุรี

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] Apichon Chintanasinton, Supan Tungjitkusolmun, Pattarapong Phasukkit "Estimation of Heating Performances of a Coaxial-Slot Antenna for Treatment of Colon Carcinoma" ECTICON 2007 ,May 9-12, 2007.

[2] Apichon Chintanasinton, Supan Tungjitkusolmun, Pattarapong Phasukkit "Finite-Element Analysis of Aepatic Multiple Array Antenna for Microwave Coagulation Therapy" ,ECTICON 2007 ,May 9-12, 2007.